

CAMBIO  
GLOBAL  
ESPAÑA  
2020/50

ENERGÍA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD

FEBRERO DE 2011



CAMBIO  
GLOBAL  
ESPAÑA  
2020/50

ENERGÍA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD

FEBRERO DE 2011

## **Cambio Global España 2020/50. Energía, economía y sociedad**

Si deseas colaborar con la difusión de este informe, puedes enviarlo en versión digital o enlazarlo desde tu web en

[www.conama10.es](http://www.conama10.es)

[www.ucm.es/info/fgu/pensamiento/cceim/index\\_cceim.php](http://www.ucm.es/info/fgu/pensamiento/cceim/index_cceim.php)

[www.cambioglobal.es](http://www.cambioglobal.es)

Este informe forma parte del Programa Cambio Global España 2020/50 del Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental

Se permite su reproducción, siempre que se cite la fuente.

Diseño y maquetación: de comunicación, S. L.

Impresión: Gráficas SUMMA, S. A.

Depósito legal: AS-657-2011

El papel utilizado para la impresión de este informe es Cyclus Offset 100% reciclado. Impreso con tintas de origen vegetal.

Este informe se acabó de imprimir en Asturias, en febrero de 2011

Editan:



Patrocina:



00

**Índice**

<b>1</b>	<b>CRÉDITOS</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>PRÓLOGO</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>INFORME</b>	<b>81</b>
	<b>1. Cambio Global 2020/2050. El papel de la energía</b>	<b>82</b>
	1.1. La base de partida: programa Cambio Global España 2020/50	82
	1.2. Consideraciones generales del informe	85
	1.3. Estructura del informe	89
	<b>2. La energía como vector del cambio global</b>	<b>90</b>
	2.1. Energía y vertebración social	90
	2.2. Energía y desarrollo económico	92
	2.3. Energía y medio ambiente	101
	<b>3. La crisis del modelo energético convencional</b>	<b>110</b>
	3.1. El modelo energético global	110
	3.2. El modelo energético español	117

<b>4. Soluciones desde la demanda</b>	<b>128</b>
4.1. Urbanismo sostenible	128
4.2. Edificación sostenible	135
4.3. Transporte sostenible	140
4.4. Demanda sostenible de electricidad	146
Anexo 4.1. Medidas de gestión de la demanda para una movilidad sostenible	153
<b>5. Soluciones desde la oferta</b>	<b>160</b>
5.1. Tecnologías de generación de energía térmica y eléctrica	160
5.2. Tecnologías de transporte	177
5.3. Comparativa de acceso, costes e impactos de las fuentes de generación	190
5.4. Reflexiones complementarias	190
<b>6. El escenario energético deseable</b>	<b>194</b>
6.1. Revisión de escenarios existentes	194
6.2. Una nueva propuesta: escenarios energéticos deseables 2020 y 2030 para un escenario responsable de reducción de emisiones en 2050	201
6.3. Conclusiones	213
Anexo 6.1. Tabla comparativa de escenarios	214
<b>7. Políticas para el cambio</b>	<b>216</b>
7.1. El papel de los agentes sociales: participación, educación e información para el cambio de decisiones hacia una economía baja en carbono	216
7.2. Políticas fiscales y regulación	224
7.3. Innovación tecnológica	232
7.4. El marco institucional	235
<b>8. Conclusiones</b>	<b>244</b>

<b>6</b>	<b>TRIBUNAS DE OPINIÓN</b>	<b>249</b>
	<b>¿La energía es delicia eterna?</b>	<b>250</b>
	Jorge Riechmann	
	<b>Cambio climático y energías renovables: no esperemos al futuro</b>	<b>253</b>
	José Luis García Ortega y Mar Asunción	
	<b>La energía fuente de empleo</b>	<b>256</b>
	Llorenç Serrano i Giménez e Isabel María Navarro Navarro	
	<b>La ciudad despilfarradora o la ciudad satisfactora. La necesidad de un plan para nuestras ciudades</b>	<b>259</b>
	Agustín Hernández Aja	
	<b>No podemos esperar</b>	<b>262</b>
	Carmen Becerril Martínez	
	<b>La buena regulación y el céntimo renovable</b>	<b>265</b>
	Gonzalo Sáenz de Miera	
	<b>Nuevo modelo energético y sector eléctrico</b>	<b>268</b>
	Luis Atienza Serna	
	<b>El cambio ya esta aquí</b>	<b>272</b>
	Javier García Brea	
	<b>Energía limpia: prioridad estratégica de sostenibilidad frente al cambio global</b>	<b>275</b>
	Luis M. Jiménez Herrero	

01

**Créditos**

### El contexto del informe

En 2008, la *Fundación General Universidad Complutense de Madrid (FGUCM)* y la Fundación CONAMA, presentan el primer **Informe Cambio Global España 2020's** en el marco de una iniciativa compartida entre ambas fundaciones a medio plazo que pretende proyectar en las sucesivas ediciones del Congreso Nacional del Medio Ambiente, cada dos años, una línea de trabajo continuado de reflexiones y propuestas realizadas por equipos de expertos independientes que, versando sobre visiones multitemáticas o sobre temas centrales, aborde el estado de la cuestión del fenómeno del Cambio Global en España, plantee escenarios en el horizonte de 2020-2050 e impulse el debate sobre el "qué hacer" hacia el futuro.

Esta iniciativa se inscribe en un amplio **programa de trabajo** que, bajo el epígrafe **Cambio Global España 2020/50**, está llevando a cabo la *Fundación General Universidad Complutense de Madrid*, con el patrocinio de la *Fundación Caja Madrid*. El objetivo del programa es impulsar un proceso continuado de información, anticipación y propuestas de acción sobre el *Cambio Global* en España con una visión de medio plazo, con el fin de alimentar un debate integral que se estimule y fortalezca desde la sociedad civil. Para el desarrollo del programa, la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid ha creado el *Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental (CCEIM)*, entre cuyos objetivos figura la creación de un sistema de conocimiento/divulgación compartido en red en torno al "Cambio Global en España con el horizonte 2020/50" para lo que se programa, entre otras actividades, un proceso de trabajo acumulativo con la realización de informes y convenciones sobre los campos y temas clave.

Uno de esos **temas clave**, de forma indiscutible, para el desarrollo de nuestra sociedad, es la **energía**, sobre el que trata este quinto informe. Para abordarlo se ha constituido un equipo multidisciplinar con el objetivo de plantear un escenario posible de transición hacia un modelo energético coherente con el cambio de época que estamos viviendo. Una propuesta que pretende promover desde la sociedad civil el debate necesario sobre el futuro energético del país, con el propósito de llegar a una estrategia energética ambiciosa y sostenible, con objetivos de medio y largo plazo. Este objetivo se instrumenta en torno a la realización de este informe, y a la difusión de esta propuesta en el décimo Congreso Nacional del Medio Ambiente (Madrid, del 22 al 26 de noviembre de 2010) como foro de referencia del sector ambiental en España.

**Informes publicados hasta la fecha.** Disponibles en: [http://www.ucm.es/info/fgu/pensamiento/cceim/index\\_cceim.php](http://www.ucm.es/info/fgu/pensamiento/cceim/index_cceim.php)

---

Cambio Global España 2020's. Informe 0. El reto es actuar (2008). Fundación General Universidad Complutense de Madrid / Fundación Conama.

---

Cambio Global España 2020/50. Programa Ciudades. Hacia un pacto de las ciudades españolas ante el cambio global (2009). CCEIM / Fundación Conama / OSE.

---

Cambio Global España 2020/50. Programa Transporte: La urgente necesidad de otras prioridades en los objetivos, planes e inversiones (2010). CCEIM / Fundación Fundicot.

---

Cambio Global España 2020/50. Programa Edificación (2010). CCEIM / GBCE / ASA.

---

## Autores

### DIRECCIÓN Y REDACCIÓN FINAL

---

#### **Joaquín Nieto.**

Presidente de honor de Sustainlabour; colaborador de ISTAS; asesor en sostenibilidad de los ayuntamientos de Vitoria-Gasteiz y de Rivas-Vaciamadrid; miembro del Think Tank Innovación sobre Energía del Club Español de la Energía y del Grupo de Trabajo sobre Políticas Energéticas Sostenibles, GTPES; patrono de la Fundación Renovables; experto en la redacción del informe Comercio Internacional y Cambio Climático del Comité Económico y Social Europeo.

#### **Pedro Linares.**

Profesor Propio Agregado del Departamento de Organización Industrial de la Universidad Pontificia Comillas, e investigador del Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) y de la Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad. Investigador Asociado en la Harvard Kennedy School y MIT-CEEPR. Director de Economics for Energy.

### RELACIÓN DE AUTORES Y MATERIAS EN LAS QUE HAN COLABORADO

---

#### ENERGÍA Y DESARROLLO ECONÓMICO

#### **María Mendiluce.**

Gerente de Energía y Cambio Climático del World Business Council for Sustainable Development.

#### **Carlos de Miguel.**

Profesor Titular en el Departamento de Economía de la Universidad de Vigo.

#### **Baltasar Manzano.**

Profesor Titular en el Departamento de Economía de la Universidad de Vigo.

#### ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

#### **Heikki Willstedt Mesa.**

Director de Políticas Energéticas. Asociación Empresarial Eólica.

#### ENERGÍA Y VERTEBRACIÓN SOCIAL

#### **Ana Belén Sánchez.**

Iniciativa Empleos Verdes de la Organización Internacional del Trabajo, OIT.

#### EL MODELO ENERGÉTICO GLOBAL

#### **Mariano Marzo.**

Catedrático de Recursos Energéticos en la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona.

### EL MODELO ENERGÉTICO ESPAÑOL

#### **Pedro Linares.**

Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Universidad Pontificia Comillas.

#### **Álvaro López Peña.**

Investigador. Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Universidad Pontificia Comillas.

#### **Ignacio Pérez Arriaga.**

Profesor Propio de la ETS Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas. Director de la Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad.

### URBANISMO SOSTENIBLE

#### **Salvador Rueda.**

Director de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.

### EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

#### **Albert Cuchí.**

Profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña y autor del informe Cambio Global España 2020/50-sector edificación.

### GESTIÓN DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD

#### **José Arrojo.**

Director de Tecnología e Innovación de Endesa.

### TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y ELÉCTRICA

#### **Antonio Valero Capilla.**

Catedrático de Energética -Máquinas y Motores Térmicos- de la Universidad de Zaragoza. Director del CIRCE.

#### **Alfonso Aranda Usón.**

Director de la División de Eficiencia Energética de CIRCE.

### TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE Y TRANSPORTE SOSTENIBLE

#### **Andrés Monzón.**

Catedrático del Departamento de Transportes de la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de la UPM. Director del Centro de Investigación del Transporte, TRANSyT.

#### **Francesc Robusté.**

Catedrático de Transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña. Presidente del Foro de la Ingeniería del Transporte de España. Director del Centre d'Innovació del Transport, CENIT.

## REVISIÓN DE ESCENARIOS EXISTENTES

**Juan Carlos Ciscar.**

Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS) del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea.

## ESCENARIOS ENERGÉTICOS DESEABLES 2020 Y 2030 PARA UN ESCENARIO RESPONSABLE DE REDUCCIÓN DE EMISIONES EN 2050

**Helena Cabal Cuesta.**

Investigadora titular. Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos. Ciemat.

**Yolanda Lechón Pérez.**

Investigadora titular. Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos. Ciemat.

**Domingo Jiménez Beltrán.**

Asesor del Observatorio de la Sostenibilidad en España. Vicepresidente de la Fundación Renovables. Fue el primer Director de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

## EL PAPEL DE LOS AGENTES SOCIALES

**Mercedes Pardo Buendía.**

Profesora Titular del Departamento Ciencia Política y Sociología. Universidad Carlos III de Madrid.

**Jordi Ortega.**

Universidad Carlos III de Madrid.

## POLÍTICAS FISCALES Y REGULACIÓN

**Xavier Labandeira Villot.**

Catedrático del Departamento de Economía Aplicada de la Universidad de Vigo. Experto del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de la ONU.

## INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

**Agustín Delgado Martín.**

Director de Innovación, Medio Ambiente y Calidad Corporativa de Iberdrola.

## EL MARCO INSTITUCIONAL

**Ignacio Pérez Arriaga.**

Profesor Propio de la ETS Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas. Director de la Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad.

El equipo de dirección y redacción agradece la revisión y colaboración de Jorge Ozcariz en este informe.

## Comité de dirección

### **Fernando Prats Palazuelo**

Arquitecto urbanista. Asesor del CCEIM de la Fundación Universidad Complutense de Madrid para el Programa Cambio Global España 2020/50. Socio de AUIA

### **Jorge Riechmann**

Escritor y profesor de filosofía moral en la Universidad Autónoma de Madrid. Asesor del Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental para el programa de energía.

### **Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo**

Físico y diplomado en sociología. Presidente de la Fundación Conama y del Colegio Oficial de Físicos.

### **Marta Seoane Dios**

Física. Directora del área técnica de la Fundación Conama y coordinadora de los grupos de trabajo sobre energía en el Congreso Nacional del Medio Ambiente.

### **Alicia Torrego Giralda**

Física. Gerente de la Fundación Conama y responsable de la organización del Congreso Nacional del Medio Ambiente.

02

**Presentación**

*Presentation*

#### Presentación

Cuando en 2008 publicamos el informe 0 de esta serie, *Cambio Global España 2020. El reto es actuar*, partíamos de la base de que el cambio global al que nos enfrentamos es una realidad constatada. Hay suficiente conocimiento científico y técnico que demuestra cómo nuestro modelo de desarrollo va generando una huella ecológica que sobrepasa con creces la biocapacidad del planeta, sobre un patrón que alimenta además, la desigualdad y la pobreza.

Cuestiones como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o el agotamiento de recursos forman ya parte habitual de la agenda de reuniones internacionales de líderes mundiales o de los grupos que plantean las estrategias de las grandes corporaciones. Parece claro que desde la Cumbre de la Tierra en 1992 a nuestros días ha habido un cambio, y es que ya se sabe y se acepta lo que está pasando, aunque aún quede mucho camino por andar para que se actúe en consecuencia y con la suficiente contundencia y urgencia.

Porque el tiempo es un factor clave. Los impactos sobre la biosfera se van agravando día a día, y a pesar de la concienciación, la realidad económica y social se mueve más rápidamente que la política. El desafío que nos plantea el cambio global exige respuestas más decididas, rápidas y coherentes a todos los niveles, especialmente a nivel político.

Cuando descendemos del nivel global al nivel local, el panorama es más que preocupante: parece que muchas de nuestras administraciones y empresas ven las cuestiones sociales y ambientales como graves amenazas a su desarrollo y no son capaces en la mayoría de los casos de planear la forma de cambiar su actividad para actuar en consonancia con los retos globales que afronta nuestra civilización, para convertir estos retos en una oportunidad de desarrollo. Aunque existe la capacidad para poder cambiar, estos agentes no se perciben así mismos como los que deben liderar el cambio. Y esto puede convertirse en un verdadero problema para el país.

Por esta razón, seguimos avanzando en el programa “Cambio Global España 2020/50” con la idea inicial de impulsar el debate sobre nuestro futuro desde reflexiones y propuestas de expertos independientes, y continuamos con el compromiso de proyectar en las sucesivas ediciones del Congreso Nacional del Medio Ambiente, cada dos años, un informe sobre el cambio global y sus cuestiones centrales, en este caso, la energía vista no sólo técnicamente, sino desde sus relaciones intrínsecas con la economía y el modelo de sociedad.

La energía está íntimamente unida a la forma actual de desarrollo, ajeno a los límites de la biosfera, y el actual modelo de producción y consumo es una de las principales causas del calentamiento del planeta, uno de los retos más importantes del cambio global al que estamos asistiendo.

La Unión Europea reconoce esta importancia incluyendo el cambio climático y la energía entre los cinco objetivos que marca su Estrategia 2020 para establecer el rumbo de desarrollo de Europa.

En España también es necesario establecer el rumbo, a medio y largo plazo de nuestro modelo energético como base del desarrollo de nuestro país. Y para ello, al igual que se está haciendo en Europa, hay que marcar objetivos cuantificables, ambiciosos y alcanzables.

Este informe pretende contribuir a este proceso a través de la propuesta de objetivos viables e ilusionantes, que den respuesta al reto energético creando capacidad de desarrollo y bienestar al país a la vez que propician un nuevo paradigma de respeto a los límites de carga de los ciclos vitales de la biosfera. Objetivos que implican una reducción del consumo de energía y la transición hacia una economía descarbonizada.

Estos objetivos se conectan con las propuestas que se plantean en los demás informes de Cambio Global España 2020/50 como retos para las ciudades y los sectores del transporte y de la edificación. Son visiones parciales que van complementándose y manteniendo una línea de coherencia y profundidad, compatible con otro modelo de desarrollo para España, que requiere no sólo instituciones con capacidad y voluntad de liderar el cambio, sino también de una sociedad civil activa, organizada y exigente.

La conclusión principal de este informe es que el cambio hacia un modelo energético sostenible no sólo es deseable, sino también posible.

Pero esto implica un debate energético serio y profundo que aún no se ha puesto en marcha, en el que deben participar todos los agentes implicados, no sólo empresas y partidos políticos. Ahora, más que nunca -como dice el lema del Conama 10 en el que se presenta este informe- las organizaciones sociales tenemos que estructurarnos y afrontar los desafíos del cambio.

Este trabajo pretende ser una aportación para fomentar este proceso, y por eso, hacemos desde aquí un llamamiento a cuantas personas y organizaciones puedan estar interesadas en colaborar y difundir este informe, para que ayuden a convertirlo en un instrumento que fortalezca el debate y el posicionamiento de la sociedad civil en un tema como la energía, que creemos que es y será determinante para el futuro del país.

Madrid, noviembre de 2010

**Ángel Martínez  
González-Tablas**

Director General  
Fundación General Universidad  
Complutense de Madrid

**Gonzalo  
Echagüe Méndez de Vigo**

Presidente  
Fundación CONAMA

#### Presentation

In 2008, when we published issue 0 of this series entitled *Cambio Global España 2020. El reto es actuar (Global change Spain 2020. Action is the challenge)* the underlying assumption was that the existence of global change is indisputable. The wealth of scientific and technical knowledge on the matter shows that our development model is not only generating an ecological footprint far in excess of the planet's biocapacity, but is based on a pattern that fuels inequality and poverty.

Issues such as climate change, the loss of biodiversity or the depletion of resources are routinely included on the agendas for international meetings attended by world leaders or strategy planners for large corporations. Clearly, what has changed since the 1992 Earth Summit is that today we are aware of and accept what is happening, although we are still a long way from taking the action needed, with the conviction and urgency warranted by the circumstances.

Time, after all, is a key factor. The impact on the biosphere is worsening day by day, and despite our awareness, economic and social realities evolve more dynamically than political decision-making. The challenge posed by global change calls for more conclusive, speedier and consistent answers in all dimensions, and particularly in the political domain.

When we lower our sights from the global to the local level, the scenario is disheartening: many governments and companies appear to view social and environmental issues as serious threats to their development. In most cases they seem to be unable to plan ways to re-steer their activity in accordance with the global challenges facing civilisation, or to turn those challenges into development opportunities. While the potential for change exists, these actors fail to see themselves as drivers of that change. And that may eventually proved to be a substantial problem for the country.

For this reason, we continue to further the "Global Change Spain 2020/50" Programme, in pursuit of the initial aim of encouraging debate on our future based on the ideas and proposals of independent experts. And we continue to be committed to reporting to each new edition of the biennial National Environment Congress on global change and its pivotal issues: in this case, energy viewed not only technically, but from the perspective of its intrinsic relationship to the economy and the social model.

Energy is closely related to development as understood today, oblivious to the biosphere and its limitations. Our present production and consumption model is one of the primary causes for global warming, which is in turn one of this generation's foremost environmental challenges.

The European Union, acknowledging the importance of this issue, has included climate change and energy as one of the objectives of its 2020 Strategy for charting the course of European development.

Spain also needs to chart the medium- and long-term course of its energy model as the mainstay of its development. To that end, like its European counterparts, the country must define quantifiable, ambitious and attainable objectives.

The present report aims to contribute to that process with a dual approach. Feasible and inspiring objectives are proposed to respond to the energy challenge by creating capacity for development and welfare. And a new paradigm is put forward that abides by the limits to the life cycle load that can be borne by the biosphere. Such objectives entail reducing energy consumption and making the transition to a decarbonised economy.

These aims are fully consistent with the proposals set out in the other Global Change Spain 2020/50 reports on the challenges facing cities and the transport and construction industries. These partial but complementary, consistent and in-depth visions are compatible with a new development model for Spain that calls not only for institutions with the capacity and determination to drive change, but also for an active, organised and demanding civil society.

The main conclusion reached in this report is that the change to a sustainable energy model is not only desirable, but possible.

That possibility, however, is subject to a serious, in-depth debate on energy that has yet to be initiated, in which all the stakeholders, not only companies and political parties, should participate. Now more than ever, to cite the Conama 10 slogan under which this report is submitted, social organisations need to structure their resources and rise to the challenges of change.

This paper aims to further that process. An appeal is therefore launched from this platform to all people or organisations interested in cooperating by disseminating this report. Such cooperation will enhance its effectiveness as a tool for intensifying debate and position-taking in society at large around a subject such as energy, which we believe is, and will continue to be, a determinant for the country's future.

Madrid, November 2010

**Ángel Martínez  
González-Tablas**

Director General  
Fundación General Universidad  
Complutense de Madrid

**Gonzalo  
Echagüe Méndez de Vigo**

Presidente  
Fundación CONAMA



03

**Prólogo**

del Comité Directivo

***Introduction***

*from the Steering Committee's*

### Prólogo

#### ENERGÍA Y CAMBIO GLOBAL - 10 IDEAS PARA EL DEBATE<sup>1</sup>

El Programa “Cambio Global España 2020/50”, parte de la idea de que, más allá de la grave recesión económica, afrontamos un auténtico cambio de época inducido por el desbordamiento de los límites biofísicos del planeta, la alteración de ciclos de la biosfera, con especial énfasis en la regulación del clima y el deterioro de los principales ecosistemas, y la crisis del modelo energético provocada por el final de la era del petróleo/gas abundante y barato<sup>2</sup>. Indudablemente, estos hechos afectarán a las dinámicas socioeconómicas de las sociedades.

Por ello, los diversos informes vinculados al programa han desarrollado sus contenidos tomando en consideración toda una serie de cuestiones básicas:

- Todo apunta a que el futuro será distinto de la mera proyección del pasado y que los “tiempos del cambio” serán más cortos de lo previsto, lo que requiere trabajar con “escenarios de cambio” que reconduzcan las lógicas actuales en plazos temporales que se miden en decenios, si no en lustros.
- No podemos dejar de reconocer que las tendencias de desbordamiento ecológico inducido por los seres humanos se producen por impulso de lógicas de crecimiento ilimitado e indiscriminado inherentes a un sistema socioeconómico muy poco ecoeficiente (en ciclo abierto recursos-residuos).
- Vamos a necesitar alumbrar nuevos paradigmas y lógicas sociales y económicas que nos permitan como apunta J. Riechmann, vivir bien con menos, sin exclusiones y sin desbordar los límites de la biosfera. Y ello precisa reformular las lógicas humanas con nuevos principios como la suficiencia, la coherencia (o biomímesis), la ecoeficiencia y la precaución, en un horizonte de justicia ecológica.
- En un deseable proceso de adaptación a la biocapacidad planetaria a través de itinerarios pactados de “contracción y convergencia desde la diferencia”, a las sociedades más ricas y con mayor huella ecológica nos toca reducir con mayor intensidad dicha huella<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Por parte del CCEIM: Fernando Prats, Yayo Herrero, Jorge Riechmann. Por parte de la Fundación Conama: Gonzalo Echagüe, Alicia Torrego, Marta Seoane.

<sup>2</sup> Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE) en 2007 el petróleo y el gas representaban alrededor el 55% de todo el abastecimiento de energía primaria en el mundo y, según el OSE, el 62,4% en España (2008).

<sup>3</sup> La Huella Ecológica ha de considerar su doble versión país/persona. En 2005 el Informe Planeta Vivo 2008 (WWF) apuntaba a EEUU y China como los generadores de las mayores HE con un 21% de la biocapacidad del planeta cada uno, pero China tuvo una HE/persona mucho más pequeña al ser su población cuatro veces mayor.

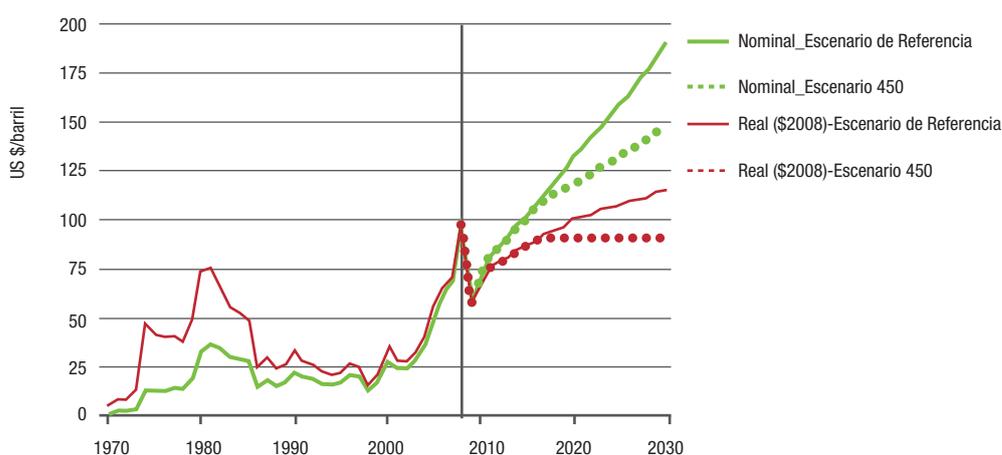
- La dimensión y “tiempos del cambio” nos obligan a desplegar escenarios con objetivos de reducción de múltiples impactos a 2020/30/50 que contemplen el ahorro inducido por la revisión de ciertos patrones de producción/distribución/consumo, multipliquen la ecoeficiencia<sup>4</sup> y apuesten por la “renovabilidad” de las fuentes energéticas y los sumideros de carbono.

### LA CUESTIÓN ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE LA ENCRUCIJADA

Nuestro interés por abordar esta cuestión se basa en la convicción de que la reformulación del modelo energético actual, basado en el consumo masivo de combustibles de origen fósil, se sitúa en el corazón del cambio de época.

En primer lugar, porque **la energía se configura como uno de los componentes estructurales del sistema humano dominante en el último ciclo histórico**, en el que se ha producido ese salto cualitativo en la alteración de los ciclos vitales de la biosfera; sin ella este mundo no sería posible. Efectivamente, la energía procedente del petróleo ha suministrado un combustible potente, abundante y barato y junto a una tecnociencia volcada en posibilitar el incremento exponencial de la transformación de los recursos naturales en productos y servicios de consumo social, ha permitido el asentamiento de una lógica económica basada en el crecimiento indiscriminado de dicho consumo y la acumulación ilimitada de beneficios privados. Todo ello, en una biosfera que parecía infinita en su capacidad de asimilar el crecimiento ilimitado de los correspondientes impactos.

#### Perspectiva de evolución del precio del petróleo. Fuente: AIE WEO 2008



<sup>4</sup> Es muy importante la distinción entre ahorro (reducción de la energía demandada por medidas orientadas a reducir el despilfarro y el sobreconsumo) y la eficiencia (reducción de la energía necesaria para producir un producto o servicio por mejoras técnicas). Y ambas son complementarias y necesarias para alcanzar un acoplamiento sistémico con la biosfera.

Pero también porque **más allá de las tendencias al agotamiento de los combustibles de origen fósil y la consiguiente subida de sus precios<sup>5</sup>, la energía incide de forma determinante en otras dos claves del cambio global provocado por la actividad humana en el planeta: la huella ecológica (HE) y el cambio climático (CC) de origen antropogénico** inducido por las emisiones de los correspondientes gases de efecto invernadero (GEI).

Efectivamente, a escala mundial, el consumo de combustibles fósiles ya era responsable en 2005 del 45% de una HE desbordada<sup>6</sup> y con relación al CC, en 2008, el 61% (80% en la UE) de los correspondientes GEI que lo inducían tenía su origen en el sector energético<sup>7</sup>.

A partir de tales consideraciones, el llamado “reto energético” no puede cifrarse en pretender alargar la vida de procesos que son insostenibles, sino en **contribuir al alumbramiento de nuevos paradigmas energéticos y socioeconómicos capaces de posibilitar el bienestar social respetando los límites de carga de los ciclos vitales de la biosfera. Y en esas claves, la reducción del consumo de energía, la equidad planetaria en su uso, la “descarbonización” y los “sumideros” de CO<sub>2</sub> han de constituir las bases del nuevo sistema energético.**

Por eso, parece necesario afrontar la crisis actual con nuevas visiones y diagnósticos sistémicos y, a partir de ahora, hablar en términos de bienestar debería requerir, más allá del PIB, considerar la evolución de otras variables como la salud de los ecosistemas vitales, el consumo energético, las emisiones de GEI o la situación de inclusión social y pobreza en el conjunto del planeta.

### **ALGUNAS IDEAS PARA UN DEBATE ENERGÉTICO NO REDUCCIONISTA**

Con ese marco de referencia, apuntamos algunas consideraciones que nos parecen sustanciales a la hora de abordar la cuestión de la energía en nuestro país.

1. El debate sobre la cuestión energética no puede plantearse sólo en términos intrasectoriales, sino de forma interrelacionada con el conjunto del sistema socioeconómico, la situación frágil y desbordada del planeta y la consideración de la justicia en el acceso a los recursos de toda la humanidad. Por lo tanto, la bondad de las soluciones energéticas habrá de contrastarse por su capacidad para ofrecer soluciones sinérgicas con alternativas sistémicas a la continua expansión de impactos globales sobre una biosfera finita.

2. Las estrategias tradicionales de “oferta” energética indiscriminada han alimentado durante las últimas décadas un crecimiento insostenible de la presión humana sobre la biosfera. Las lógicas convencionales que han gobernado el sector de la energía de “predecir

<sup>5</sup> Según un análisis comparativo de catorce pronósticos elaborados entre 2006 y 2008 (UKERC, 2009), el cenit del petróleo podría producirse entre las décadas 2020/30 y según la AIE el del gas podría hacerlo en torno a 2030/40. Y los precios reales del crudo (entendemos que sin imputar las interferencias de los mercados), según la AIE (WEO-2008) se situarían en el entorno de los 100 \$/b en 2010 -2015 para llegar a los 110 \$/b en 2020 y 120\$/b en 2030. Lógicamente los precios nominales serían bastante mayores 148\$/b y 206\$/b para 2020 y 2030 respectivamente).

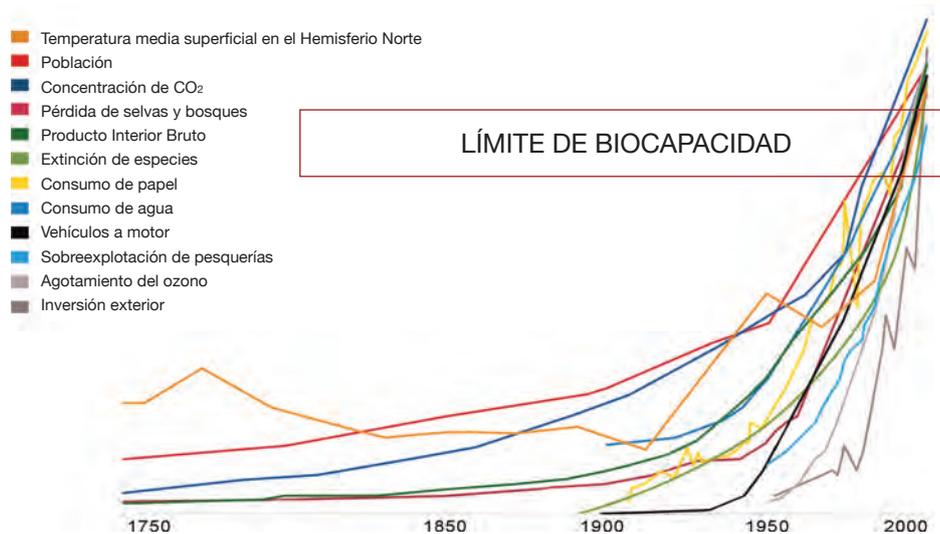
<sup>6</sup> Según el “Informe Planeta Vivo 2008” (WWF), la producción de energía a partir de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural representaba casi un 45% de la Huella Ecológica global.

<sup>7</sup> Según AIE WEO 2008 a nivel mundial y el Informe UE “Energy and environment report 2008”.

para ofrecer” han servido de sustento a procesos de crecimiento continuado e irracional de los impactos sobre los principales ciclos básicos de la biosfera. A escala mundial, la HE superó la biocapacidad terráquea<sup>8</sup> en los ochenta y, entre 1970 y 2007, el consumo de energía primaria se duplicó y las emisiones de CO<sub>2</sub>, principal componente de los GEI, crecieron en torno al 50%<sup>9</sup>.

3. Así, nos aproximamos al final de la era del petróleo/gas abundante y barato, habiendo alterado profundamente ciclos naturales de los que dependemos y proyectando un futuro insostenible para la especie humana. La HE desborda ya, con un factor de 1,3 la biocapacidad del planeta y en torno al 2030 harían falta dos planetas para recuperar la paridad<sup>10</sup>; la demanda de energía primaria, que alcanza ya los 12.000 Millones de Tep/año (2007) se incrementaría en un 40% en 2030<sup>11</sup>, situando los cenit del petróleo y del gas en torno a las décadas 2020-40<sup>12</sup>; y las tendencias actuales de emisiones de GEI nos conducirían a concentraciones de carbono y aumentos de temperatura entorno a los 6°C a final de siglo<sup>13</sup>. Un panorama inviable para la biodiversidad actual y para las condiciones de vida de nuestra propia especie.

**Crecimiento acelerado de los impactos de la civilización humana sobre el planeta. Fuente: Global Change and the Earth System:A Planet Under Pressure. W Steffen et al.(2004)**



<sup>8</sup> Ver el “Informe Planeta Vivo 2008” (WWF).

<sup>9</sup> Ver la información estadística de la AIE para consumo de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>.

<sup>10</sup> Ver el “Informe Planeta Vivo 2008” (WWF).

<sup>11</sup> Ver los escenarios de referencia de la AIE en WEO 2009.

<sup>12</sup> Ver la nota 2 a pie de página

<sup>13</sup> Según diversos escenarios y simulaciones realizados por NNUU y la AIE. En España, ver las nuevas proyecciones regionalizadas de la Agencia Estatal de Meteorología con estimaciones similares. En todo caso las perspectivas de la AIE (WEO-2008) apuntan a incrementos de los GEI globales del 35% en 2030 con relación a 2005 inducidos, principalmente (97%), por China, India y el Medio Oriente.

4. Sin embargo, los compromisos energéticos y climáticos adoptados hasta el momento para reconducir los procesos descritos se muestran claramente insuficientes. Sin duda que el “proceso de Kioto”, con todas sus enormes dificultades, representa un avance histórico para el proceso democrático de “contracción y convergencia” global con el que afrontar el CC. Sin embargo, el peso de las lógicas e intereses establecidos, junto a una simplista supeditación de estos temas a políticas relacionadas con la recesión económica, está dificultando abrir un nuevo ciclo histórico capaz de abordar estos temas. A pesar de ciertos avances parciales no vinculantes<sup>14</sup>, la Cumbre de Copenhague de 2010 ha generado una gran frustración mundial al no conseguir acuerdos claros sobre la contención del consumo energético y las emisiones de GEI en 2020/50.

5. Abordar el cambio con la escala y en los tiempos requeridos, exige asumir que afrontamos una nueva época determinada por la existencia de límites de biocapacidad global que es necesario respetar y en los que también habrá que incardinar el nuevo sistema energético. Esa asunción de la existencia de límites con los que hay que convivir es fundamental para abrir un nuevo ciclo histórico proactivo con los retos descritos y ya existe un conocimiento amplio de que, en términos generales (HE, energía, emisiones de GEI, etc.) es necesario haber cambiado de rumbo en torno a 2020, alcanzar cambios cualitativos hacia 2050 y poder culminar el siglo con una concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> por debajo de los 450 ppm (partes por millón) y unos incrementos de temperatura que no superen los 2°C; condiciones todas ellas necesarias para evitar finalmente una amplia crisis de los principales ciclos vitales de la biosfera<sup>15</sup>.

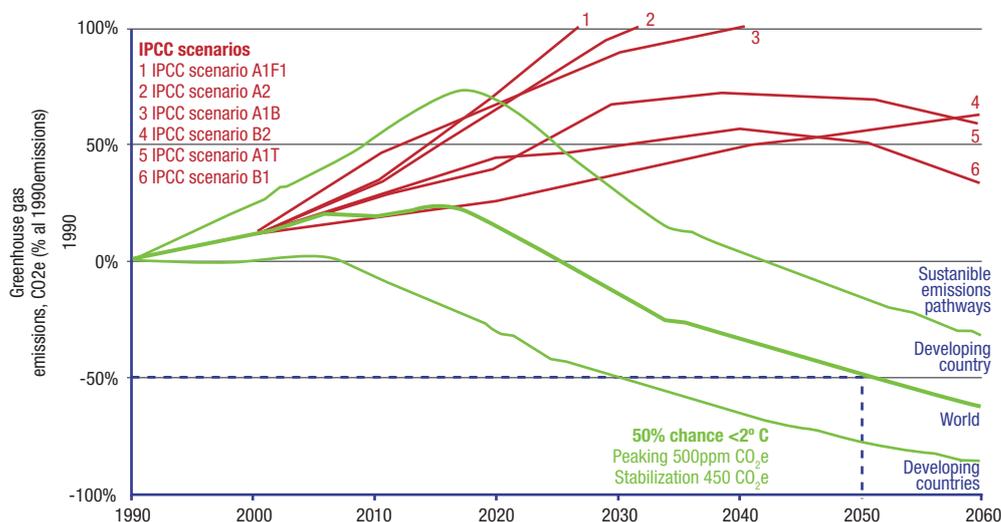
6. En el campo energético/climático, NNUU y la AIE ya han avanzado escenarios que permitirían afrontar con posibilidades de éxito el cambio de ciclo histórico, indicando que sería necesario alcanzar en 2050 reducciones globales del orden del 50% en las emisiones de los GEI con relación a 1990. Se trata de cambios extraordinariamente importantes que para los países más ricos y con mayor HE requieren decrecimientos de los GEI aún mayores - del 20%-30% en 2020 y del 80%-90% en 2050-. Si tenemos en cuenta que las tasas de retorno de las energías renovables son mucho menores que las del petróleo convencional, los cambios que necesitamos realizar sólo podrán ser alcanzados a través de nuevas lógicas socioeconómicas compatibles con significativos avances en la reducción del sobreconsumo, la eficiencia, la sustitución de los combustibles fósiles por renovables y mecanismos de distribución que aseguren el acceso equitativo a la energía a todas las personas del planeta.

7. España, debido a unos patrones de desarrollo muy poco sostenibles, afronta los retos descritos desde posiciones energéticas más difíciles y comprometidas que las de otros

<sup>14</sup> Aunque algunas fuentes estiman que las medidas no vinculantes adoptadas en la Cumbre podrían llegar a representar una reducción de las emisiones de GEI en torno al 15% en 2020 con relación a 1990, con una previsible subida de las temperaturas entre 3º y 4º al final del siglo, lo cierto es que, por ahora, no existen estimaciones oficiales. En todo caso el proceso parece imparable y en el verano de 2010 se han producido iniciativas interesantes en EEUU (instauración de sistemas de regulación de emisión por empresas) y en China (cierre de más de dos mil fabricas por su deficiente comportamiento energético/climático).

<sup>15</sup> Estos objetivos se recogen de escenarios que están siendo realizados, entre otros, por NNUU y la AIE y tienen amplia aceptación como referencia en los foros mundiales. Existen propuestas de científicos y movimientos sociales y ecologistas que argumentan la necesidad de plantear objetivos aún más ambiciosos que consigan reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a 350ppm ([www.350.org](http://www.350.org)). La media anual de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en 2009 fue de 387.35ppm (observatorio de Mauna Loa de la estadounidense National Oceanic and Atmospheric Administration –NOAA-).

Gráfico escenarios GEI 2050. Fuente: Naciones Unidas 2007



miembros de la Unión Europea. Las especificidades del modelo de desarrollo español situó su HE en 5,7 Ha/hab (2005), con una participación del carbono del 60% y un factor (de insostenibilidad) HE/Biocapacidad = 4<sup>16</sup>, el doble del de la UE-25 y el triple del mundial en ese año<sup>17</sup>. Con un “mix” energético muy dependiente de los hidrocarburos (72% de la energía primaria en 2008), altas tasas de importación (en torno al 80% en 2008) y una intensidad energética (energía consumida por unidad de PIB) todavía superior a la de la UE, el país presenta una dependencia excesiva y una especialización económica muy vinculada a sectores de alto consumo energético, como el transporte, la construcción (además, dispersa) o el turismo masivo de bajos ingresos<sup>18</sup> y carencias estratégicas en educación y desarrollo tecnológico (muy especialmente en el campo de la sostenibilidad).

8. A pesar del esfuerzo realizado en los últimos años, las medidas energéticas y climáticas adoptadas hasta el momento en España, también resultan claramente insuficientes. El consumo de energía primaria en el país ha crecido un 56,6% (2,9% anual) y las emisiones de GEI un 44% entre 1990 – 2008<sup>19</sup>, siendo cierto, sin embargo, que desde 2005 (año de

<sup>16</sup> Se han utilizado las informaciones del “Informe Planeta Vivo 2008” (WWF) para su comparación con otros países, aunque existen otras estimaciones más favorables para España (HE de 6,4 H/habcap, Biocapacidad de 2,6 y un factor de 2,45) realizadas por el Ministerio de Medio Ambiente, “Análisis preliminar de la HE en España en España” (julio 2007), para esas mismas fechas.

<sup>17</sup> Ver el “Informe Planeta Vivo 2008” (WWF).

<sup>18</sup> Ver estos datos en este informe sobre Energía o en “Escenarios Energéticos en España” realizado por diversas universidades españolas para UGT.

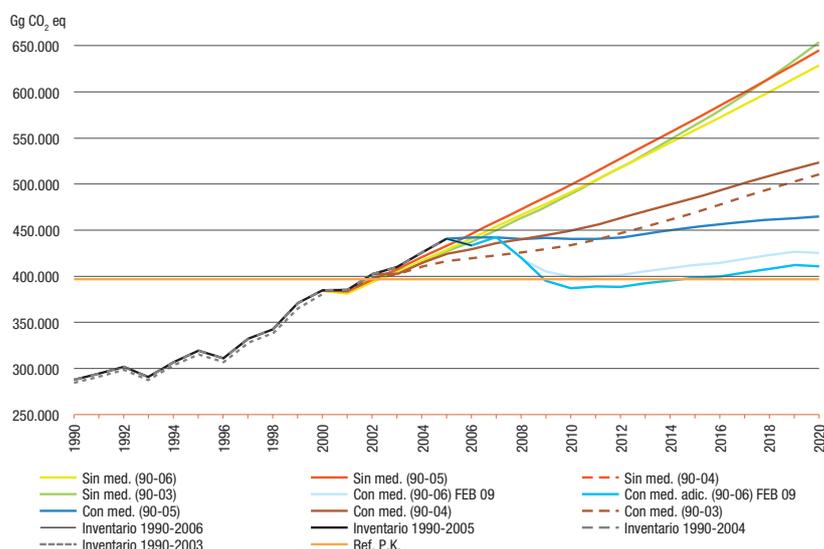
<sup>19</sup> Ver Informe 2009 del Observatorio de Sostenibilidad Español (OSE)

<sup>20</sup> Los últimos datos de CCOO para 2009 apuntan a una reducción del 0,1% entre 2000 – 2009.

<sup>21</sup> Según uno de los trabajos más recientes (Escenario Urbano 2009 – 2020), elaborado por el Gobierno de España, aumentaría la energía primaria en un 4,5% en dicho período con incrementos de las fuentes renovables de un 130%.

<sup>22</sup> A su vez, los derechos de emisión concedidos para 2009 a las empresas españolas fueron sobreestimados, lo que se ha traducido en negocios con las ventas de capacidades no utilizadas y descrédito del correspondiente sistema regulador.

**Evolución de las emisiones y previsiones de emisión de CO<sub>2</sub>, equivalente en España, en el período 1990-2020 según distintos momentos del tiempo y Escenarios previstos. Fuente: MARM (2009).**



máximos), el consumo, la intensidad y las emisiones han iniciado un ciclo de decrecimiento<sup>20</sup> por razones diversas (medidas, incidencia de la crisis, renovables, etc.) aún pendientes de diseccionar. En todo caso, el país ha puesto en marcha y enmendado demasiados planes de forma dispersa y poco sistémica sobre el tema<sup>21</sup> (y con excesiva recurrencia a la compra de derechos de emisión<sup>22</sup> mediante mecanismo de flexibilidad) y tiene todavía mucho camino que recorrer para reposicionarse adecuadamente y para cumplir con solvencia los correspondientes escenarios planteados por la UE y NNUU para 2020/30/50.

9. Es imprescindible concretar un Pacto y una auténtica Estrategia/país coherente con los escenarios de cambio energético y climático que se están diseñando a medio y largo plazo en los foros europeos e internacionales. Necesitamos superar la dispersión/improvisación y establecer con carácter central un gran debate que culmine en esa Estrategia y ese Pacto (político, social y empresarial) en el que se interrelacionen con nitidez las políticas energéticas y climáticas del país a 2020/30/50. Y en esa Estrategia, que habría de realizarse con técnicas de “backcasting” (estableciendo a priori los “objetivos de cambio necesarios” para, a partir de

<sup>23</sup> Todos estos sectores son importantes y están siendo abordados por los Informes del CCEIM, pero conviene llamar la atención sobre la necesidad de afrontar el cambio en un sector transporte/movilidad urbana que ya succiona un tercio de la energía consumida y una cuarta parte de los GEI mundiales.

<sup>24</sup> A destacar la penetración creciente del vector eléctrico que, según se explica en este, puede pasar del 25% actual al 75% en 2050 con desarrollos tecnológicos y penetraciones en el sector del transporte muy importantes.

<sup>25</sup> Es difícil creer en estrategias/país de sostenibilidad que no incorporen líneas de cambio energético muy ambiciosas.

<sup>26</sup> El ahorro y la eficiencia siguen considerándose los principales vectores de acción en las estrategias internacionales, llegando a suponer el 50% de la reducción de los GEI para 2030.

<sup>27</sup> También hay que trabajar sobre las oportunidades que ofrecen las “redes inteligentes” y los avances en técnicas de acumulación energética.

los mismos, identificar las hojas de ruta que permiten alcanzarlos), habrá que incorporar con fuerza, además de los sectores ya regulados, a los difusos (55% de los GEI), muy especialmente, el transporte, el territorio y las ciudades, la edificación o el turismo<sup>23</sup>.

10. Y en el marco de esa Estrategia Concertada, España tiene que aspirar a reformular su modelo económico y a reducir la demanda de energía, resolver el consumo eléctrico<sup>24</sup> al 100% con sistemas renovables y decrecer, en torno al 80% - 90%, sus emisiones de GEI en 2050. Con una visión estratégica ambiciosa y coherente, el país debería de apostar en serio por el cambio de modelo socioeconómico<sup>25</sup> y alcanzar esos escenarios combatiendo el despilfarro y caminando hacia una cultura de la suficiencia (patrones de consumo, urbanización, transporte, edificación, etc)<sup>26</sup>, multiplicando la ecoeficiencia (especialmente la de carácter pasivo), impulsando a tope las energías renovables<sup>27</sup> para limitar/sustituir al máximo los combustibles fósiles y nucleares y multiplicando (o al menos no destruyendo) la capacidad natural de los sumideros del carbono. Así una nueva “consideración de los límites” se está planteando ya con fuerza desde la sociedad civil -Institutos universitarios, fundaciones, movimientos sociales– y en esa dirección ya están empezando a surgir en el país proyectos de aplicación concreta en varias ciudades innovadoras, como es el caso de Playa de Palma, Vaciamadrid, etc.

## **CAMBIO ENERGÉTICO Y DE ÉPOCA**

El concepto de “crisis” sólo significa que, en un momento dado, las lógicas convencionales ya no sirven para resolver los retos del devenir social; y las crisis suelen generar una gran incertidumbre, precisamente porque las interpretaciones y recetas al uso ni explican ni resuelven las contradicciones de ese momento. Pero las crisis, que pueden devenir en retroceso histórico, también ofrecen posibilidades de abrir nuevas épocas y oportunidades.

Disponemos de información para pensar que afrontamos una crisis global porque los fundamentos en que se ha asentado el ciclo histórico que ahora se cierra parece que no pueden tener continuidad tal y como se han formulado y aplicado en el pasado. Efectivamente, más allá de la grave crisis de legitimidad que emerge en torno a la actual recesión económica, todo apunta a que los pilares energéticos, tecnológicos, económicos y ecológicos, que fueron alumbrados para un crecimiento indiscriminado de los ciclos de producción y consumo están generando gravísimas contradicciones sistémicas que ya se manifiestan con fuerza a través de lo que llamamos el “cambio global”.

Existe conciencia de que las lógicas convencionales vigentes durante los últimos siglos se pueden tratar de mantener a costa de forzar aún más dichas contradicciones y los

<sup>28</sup> A más desbordamiento de los límites, más riesgos. Las promesas tecnológicas de sobrepasar esos límites suelen minusvalorar que ello exige afrontar riesgos no controlados y cada día mayores, con inversiones descomunales que no podrán orientarse en direcciones más sostenibles. A eso le llaman “Energía Límite” (A. Robinson en La Vanguardia 2-08-2010) y los fallos de BP en el golfo de México perforando con sistemas “seguros” a grandes profundidades o los recientes problemas alemanes con sus depósitos de residuos nucleares de “máxima seguridad” no son sino algunas muestras de ello. Con relación a los biocombustibles, el debate sigue abierto y el Comisario Europeo de Energía, G Oettinguer, anunciaba (El País 14 agosto de 2010) nuevas medidas relacionadas con la trazabilidad e inspección del ciclo de vida de los biocombustibles para garantizar su sostenibilidad.

riesgos que conllevan<sup>28</sup>; pero también de que es posible alumbrar nuevos paradigmas y establecer hojas de ruta y tiempos de transición en un nuevo proceso de creatividad social; porque será difícil convertir los retos en oportunidades sin la capacidad de proyectar esas nuevas visiones de otro futuro en el que sea posible vivir respetando los límites de la Biosfera. El reto no es obtener cuanto más energía mejor y de donde sea, sino centrarse en la satisfacción racional de las necesidades de todas las personas y, para ello, planificar un abastecimiento energético compatible con el funcionamiento de los sistemas naturales.

La cuestión energética se sitúa en el centro de la elaboración y aplicación de esos nuevos paradigmas y a través de procesos que no pueden sino estar llenos de contradicciones, afortunadamente se empiezan a vislumbrar los objetivos y tiempos por los que transitar con la ventaja de que, por su carácter transversal, todo avance en este campo habría de repercutir en cambios del máximo interés en el conjunto del sistema social.

**Agosto 2010**



### Introduction

#### ENERGY AND GLOBAL CHANGE – 10 IDEAS FOR DEBATE<sup>1</sup>

Spain's "Global Change 2020/50" Programme rests on the evidence that, more than a severe economic recession, we are facing a veritable change of era. This change has been induced by the strain on the planet's biophysical limits, the alteration of biosphere cycles, particularly in connection with climate regulation and ecosystem deterioration, and the energy model crisis, driven by the end of the age of cheap and abundant oil/gas<sup>2</sup>. Socio-economic dynamics will indisputably be affected by these circumstances in all societies.

Consequently, the programme-related reports have been drafted on the grounds of a series of basic issues, as listed below.

- All the data at hand indicate that the future will not be a mere projection of the past and that the "pace of change" will be faster than expected. As a result, "change scenarios" will be needed that reformulate present forecasts in terms of five-year, rather than ten-year, periods.
- We cannot ignore the fact that the growing tendency for humanity to overstep ecological bounds is driven by the premise of limitless and indiscriminate growth inherent in a scantily eco-efficient socio-economic system (with an open resource-waste cycle).
- We are going to need to generate new paradigms and social and economic premises to live well with less, as J. Riechmann advocates, without exclusions and without breaching the bounds of the biosphere. And that necessitates a reformulation of human premises with new principles such as sufficiency, consistency (or biomimesis), eco-efficiency and precaution, in a context of ecological justice.
- The "contraction and convergence" pathways covenanted to attain the highly desirable adaptation to planetary biocapacity will involve a more intense effort on the part of the wealthiest societies, which will be called upon to reduce their outsized ecological footprint<sup>3</sup>.
- The dimension and pace of change required the design of scenarios whose objectives include the reduction of a host of impacts in 2020/30/50. Such aims should, in turn, envisage savings induced by the revision of certain production/distribution/consumption

<sup>1</sup> For CCEIM (Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental: Complutense University Centre for Environmental Studies and Information): Fernando Prats, Yayo Herrero, Jorge Riechmann. For Fundación Conama: Gonzalo Echagüe, Alicia Torrego, Marta Seoane.

<sup>2</sup> According to the International Energy Agency (IEA), in 2007 oil and gas accounted for around 55% of the total world-wide supply of primary energy and according to the Spanish Sustainability Watchdog (Observatorio de Sostenibilidad en España, OSE), for 62.4% in Spain (2008).

<sup>3</sup> The ecological footprint has a dual perspective, country/person. The 2008 Living Planet Report (WWF) identified the USA and China as the countries with the largest EFs in 2005, with 21% of the planet's biocapacity each. But China's EF/person was much smaller because its population is four times larger.

patterns, enhance eco-efficiency<sup>4</sup> and advocate energy resource “renewability” and carbon sinks.

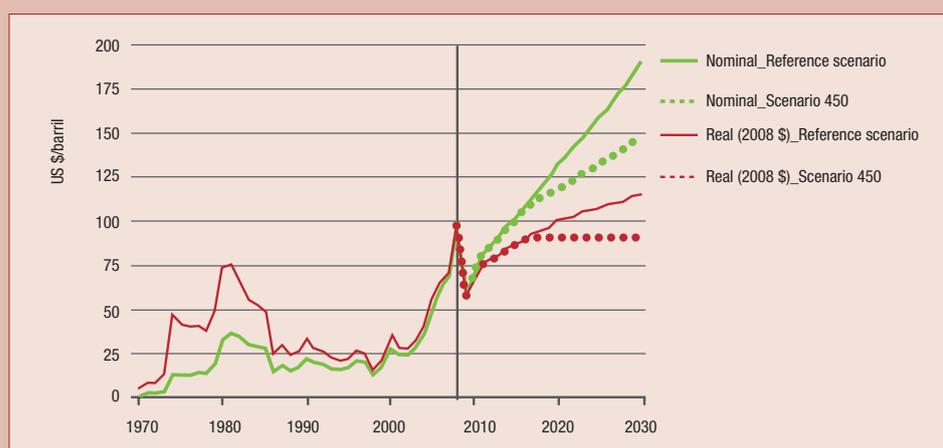
### ENERGY, AT THE HUB OF THE ISSUE

Our interest in addressing this question is based on the conviction that a reformulation of the present energy model, with its mass consumption of fossil fuels, stands at the heart of the change of era.

This is so firstly because **energy is one of the structural components of the predominant system in recent human history, characterised by a qualitative leap in the alteration of vital biosphere cycles**, without which our present world would be unthinkable. Indeed, oil has constituted a powerful, abundant and inexpensive fuel. In conjunction with a techno-scientific mindset geared to furthering the transformation of natural resources into products and services for social consumption, it has given rise to economic logic based on the indiscriminate growth of such consumption and the limitless accumulation of private benefits. All this has arisen in a biosphere that appeared to be infinitely capable of assimilating the relentless rise of the resulting impacts.

Secondly, **in addition to the ever nearer depletion of fossil fuels and the concomitant increase in prices<sup>5</sup>, energy has a determinant impact on two other keys to global**

Oil price projections. Source: AIE WEO 2008.



<sup>4</sup> Savings (reduction of energy demands through measures geared to eliminating waste and over-consumption) must be clearly distinguished from efficiency (reduction of the amount of energy needed to manufacture a product or render a service with improved technology). The two concepts are complementary and necessary to attain systemic harmony with the biosphere.

<sup>5</sup> According to a comparative analysis of fourteen predictions formulated from 2006 to 2008 (UKERC, 2009), oil production may peak in the 2020s or 2030s, while according to the IEA, gas output may rise to its highest in around 2030/40. And the real prices of crude oil (i.e., net of market interference), according to the IEA (WEO-2008), will reach around \$100/b in 2010 – 2015, \$110/b in 2020 and \$120/b in 2030. Logically, the nominal prices will be much higher: \$148/b and \$206/b in 2020 and 2030, respectively.

**change driven by human activity: the species' ecological footprint (EF) and climate change (CC)**, induced by greenhouse gas (GHG) emissions. World-wide, fossil fuel consumption was responsible in 2005 for 45% of an outsized EF<sup>6</sup>, while in 2008, 61% (80% in the EU) of the respective GHGs were emitted by the energy industry<sup>7</sup>.

On the grounds of such considerations, the response to the so-called "energy challenge" cannot be based on an attempt to prolong the life of unsustainable processes, but rather **must contribute to creating new energy and socio-economic paradigms able to deliver social welfare while respecting the limits to the burden on vital biosphere cycles. In line with these key considerations, reduced energy consumption, "de-carbonisation" and CO<sub>2</sub> "sinks" should constitute the foundations of the new energy system.**

The present crisis would, then, appear to have to be confronted with new visions and systemic diagnoses. From now on, more than just GDP, the discourse on welfare should address the evolution of other variables such as the health of vital ecosystems, energy consumption, greenhouse gas emissions and a planet-wide view of social inclusion and poverty.

### **IDEAS FOR A NON-REDUCTIONIST ENERGY DEBATE**

Against this backdrop, the considerations regarded to be crucial to any discussion of the energy issue in Spain are set out below.

1. The debate around the energy issue cannot be broached solely in intraindustrial terms. Rather, it must address the socio-economic system as a whole, bearing in mind the planet's fragile and strained health and the acknowledgement that justice for all of humanity is the primary criterion for resource accessibility. Consequently, the effectiveness of energy solutions must be compared on the grounds of their ability to generate synergies with alternatives to the continuous expansion of global impacts on a finite biosphere.

2. In recent years, traditional strategies involving indiscriminate energy "supply" have fed the unsustainable growth of human pressure on the biosphere. The conventional "predict to supply" logic by which the energy industry has been governed has underpinned ongoing and irrational growth of the impact on basic biosphere cycles. The world-wide EF exceeded the Earth's biocapacity<sup>8</sup> in the nineteen eighties and from 1970 to 2007, primary energy consumption doubled while CO<sub>2</sub> emissions, the main component of GHGs, rose by around 50%<sup>9</sup>.

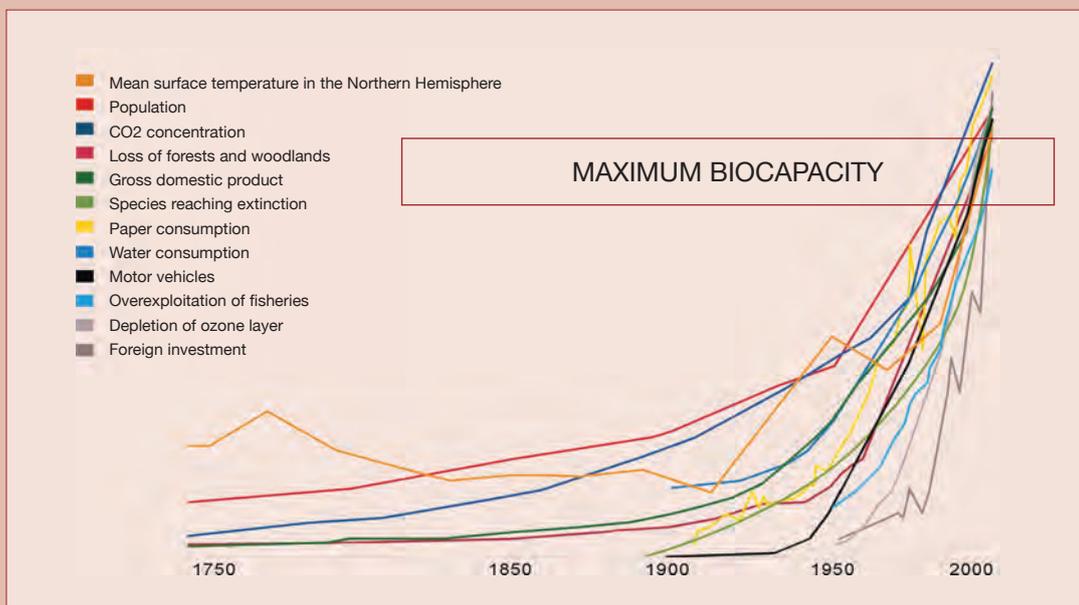
<sup>6</sup> According to the 2008 Living Planet Report (WWF), fossil fuel-fired (coal, oil, natural gas) energy production accounted for nearly 45% of the global ecological footprint.

<sup>7</sup> According to the IEA WEO 2008 world-wide and the EU's Energy and environment report 2008.

<sup>8</sup> See the 2008 Living Planet Report (WWF).

<sup>9</sup> See IEA statistical information on the consumption of primary energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions.

**Accelerated growth of the impact of civilisation on the planet. Source: Global Change and The Earth System: A Planet Under Pressure. W. Steffen et al. (2004)**



3. We are reaching the end of the era of cheap and abundant oil/gas, after having profoundly altered the natural cycles on which we depend and projected an unsustainable future for our species. At a factor of 1.3, the EF has already outpaced the planet's biocapacity and if allowed to continue to grow at this rate, by around 2030 we would need two planets to reach par<sup>10</sup>. The demand for primary energy, which is already at 12 000 million Tep/year (2007), would rise by 40% by 2030<sup>11</sup>, placing peak oil and gas in the twenty years between 2020 and 2040<sup>12</sup>. The present GHG emission trends would lead to carbon concentrations and temperature increases of around 6 °C by the end of the century<sup>13</sup>. This scenario is incompatible with today's biodiversity and the conditions required for the survival of our own species.

4. Nonetheless, the energy and climate commitments adopted to date to re-steer the processes described are clearly insufficient. The "Kyoto process", despite the enormity of its difficulties, constitutes a historical step forward in the global democratic "contraction and convergence" approach to the CC challenge. Nonetheless, the weight of established logic and interests, together with the simplistic subordination of these issues to policies to

<sup>10</sup> See the 2008 Living Planet Report (WWF).

<sup>11</sup> See the IEA's reference scenarios in WEO 2009.

<sup>12</sup> See footnote 2.

<sup>13</sup> According to UN and IEA scenarios and simulations. For Spain, see the National Meteorology Agency's (Agencia Estatal de Meteorología) new regionalised projections, which provide similar estimates. IEA predictions (WEO-2008) indicate 35% rises in global GHG in 2030 over the 2005 figure, attributed primarily (97%) to China, India and the Middle East.

combat the economic recession, are hindering the advent of a new historic cycle able to address these questions. Despite certain partial, non-binding advances<sup>14</sup>, the 2010 Copenhagen Summit generated world-wide frustration in its failure to achieve clear agreement on the containment of energy consumption and GHG emissions in 2020/50.

5. Broaching change on the scale and with the timing required calls for acknowledging that we are facing a new era in which the limits to global biocapacity must be acknowledged and respected and a new energy design must be integrated. This acknowledgement of the existence of bounds within which we must live is essential to opening up a new historic cycle that proactively confronts the challenges described. It is now widely accepted (EF, energy, GHG emissions) that we must change direction by around 2020, attain qualitative change by 2050 and end the century with atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations of under 450 ppm (parts per million) and a temperature rise of no more than 2° C. All these conditions are imperative to ultimately avoiding a widespread crisis in the biosphere's vital cycles<sup>15</sup>.

6. In the area of energy and climate, the UN and the IEAs have put forward scenarios that would enable humanity to confront the change in its historic cycle with some likelihood of success. These scenarios call for world-wide reductions of GHG emissions on the order of 50% of the 1990 rate by 2050. These are extraordinarily important changes that in the wealthiest countries with the largest EF call for especially steep declines in GHGs: from 20-30% by 2020 and 80-90% by 2050. Given that the rates of return for renewable energy are much lower than for conventional oil, the changes that have to be made can only be attained under a new socio-economic logic and significant progress in efficiency, the reduction of over-consumption, the replacement of fossil with renewable fuels and distribution mechanisms that ensure equitable access to energy by the planet's entire population.

7. Spain, due to scantily sustainable development patterns, faces these challenges from a more complex and compromised energy position than other European Union members. The specifics of the Spanish development model placed its EF at 5.7 Ha/person in 2005, with a carbon contribution of 60%. Moreover, the country's unsustainability (EF/biocapacity) factor, at 4<sup>16</sup>, was twice the EU-25 figure and three times the world-wide index recorded in that year<sup>17</sup>. With an energy mix highly dependent upon hydrocarbons (72% of primary energy in 2008), high import rates (around 80% in 2008) and an energy intensity rate (energy consumed per GDP unit) obstinately higher than the EU average, the country's economy is characterised by an over-dependence on and specialisation in energy-intensive industries such as transport, (sprawling)

<sup>14</sup> While some sources estimate that the non-binding measures adopted in the summit could lead to a 15% reduction in GHG emissions in 2020 compared to 1990, with a foreseeable 3- to 4-degree rise in temperatures by the end of the century, no official estimates have yet been forthcoming. The process, in any event, would appear to be gaining momentum. Promising initiatives came to light in the USA (institution of systems for regulating emissions by private enterprise) and China (closure of over two thousand factories for poor energy/climate performance) in the summer of 2010.

<sup>15</sup> These objectives are extracted from scenarios under development at the UN and the IEA, among others, and are widely accepted as a reference in international forums. Moreover, scientists and social and ecological movements have put forward proposals calling for even more ambitious objectives that would lower CO<sub>2</sub> concentration to 350 ppm ([www.350.org](http://www.350.org)). The yearly mean CO<sub>2</sub> concentration in 2009 was 387.35 ppm (according to the US National Oceanic and Atmospheric Administration's - NOAA's - Mauna Loa Observatory).

<sup>16</sup> The information in the 2008 Living Planet Report (WWF) was used for comparison with other countries, although other estimates for those same dates more favourable to Spain can be found (EF of 6.4 ha per capita, biocapacity 2.6 and an unsustainability index of 2.45), published in the Spanish Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs' Análisis preliminar de la HE en España (July 2007).

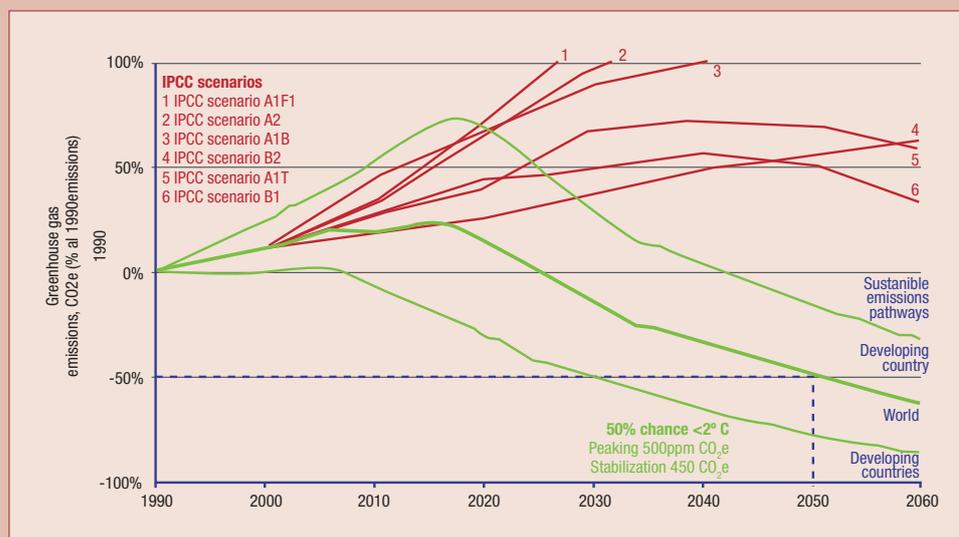
<sup>17</sup> See the 2008 Living Planet Report (WWF).

construction and low revenue<sup>18</sup> mass tourism. This situation is aggravated by strategic shortfalls in education and technological development (particularly in the area of sustainability).

8. Despite the efforts made in recent years, the energy and climate measures adopted to date in Spain are also clearly insufficient. From 1990 to 2008 <sup>19</sup>, the country's primary energy consumption grew by 56.6% (2.9% yearly) and its GHG emissions by 44%. That notwithstanding, after 2005 (the peak year), consumption, intensity and emissions began to decline<sup>20</sup> for a number of reasons (policy measures, impact of the crisis and renewables to name a few) that have yet to be thoroughly analysed. Policy has, however, been overly disperse and scanty systematic, implementing and amending too many plans on the subject<sup>21</sup> (and resorting too frequently to the purchase of emission rights<sup>22</sup> under the flexibility mechanism). The country still has a long way to go to suitably reposition its statistics and attain the solvency needed to conform to the scenarios for 2020/30/50 envisaged by the EU and the UN.

9. A nation-wide pact and a genuine country strategy consistent with the medium term energy and climate change scenarios designed in European and international fora are imperative. We need to surmount this disperse/improvised approach and establish a comprehensive nationwide debate that culminates in such a strategy and such a (political and social) pact (adhered to as well by the business community), clearly inter-relating the

**GHG scenarios 2050. Source: United Nations 2007.**



<sup>18</sup> See these data in this report on energy or in Escenarios Energéticos en España, authored by several universities for UGT.

<sup>19</sup> See the Spanish Sustainability Watchdog's (OSE) 2009 report.

<sup>20</sup> The latest data published by the Spanish trade union Comisiones Obreras suggest a reduction of 0.1% in 2000 - 2009.

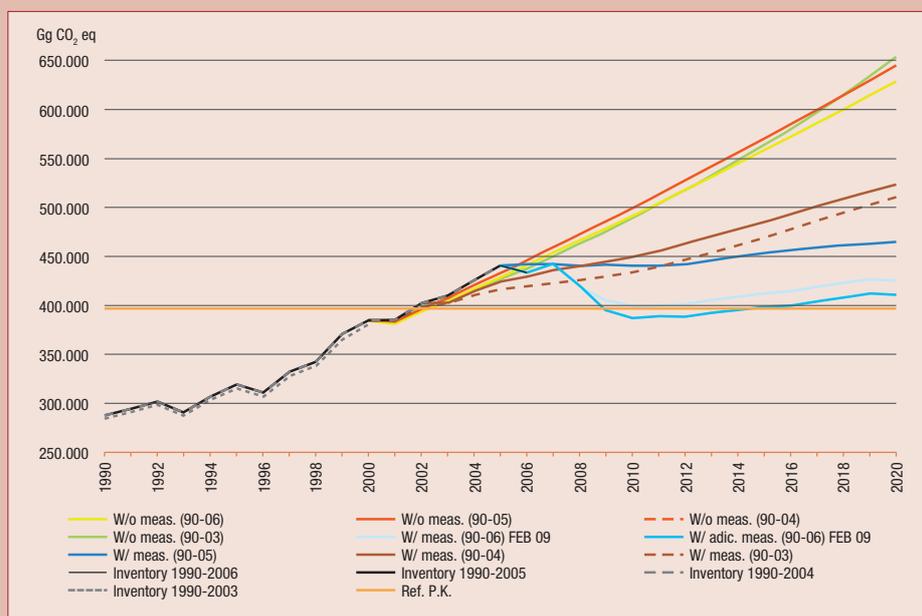
<sup>21</sup> Pursuant to one of the most recent reports (Escenario Urbano 2009 – 2020) released by the Spanish Government, primary energy would rise by 4.5% in that period, with 130% increases in renewable energy.

<sup>22</sup> The emission rights granted to Spanish companies in 2009, in turn, were overestimated. This translated into the highly profitable sale of unused capacity and the loss of credibility for the respective regulating system.

country’s energy and climate policies with our sights on the 2020/30/50 horizon. Furthermore, that strategy, which would have to be defined by backcasting, should first establish the “necessary objectives of change” and identify the road maps for their attainment, to subsequently and resolutely include not only the industries presently regulated, but also the other “diffuse” economic activities that account for 55% of GHG: in particular transport, land use and cities, building and tourism<sup>23</sup>.

10. In the framework of this consensus strategy, Spain must aspire to reformulate its economic model and reduce its energy demand, meet 100% of its electric power demand<sup>24</sup> with renewables and lower its GHG emissions by around 80 to 90% by 2050. With an ambitious and consistent strategic vision, the country should make an earnest commitment to change its socio-economic model<sup>25</sup> and reach those objectives by combating waste and moving toward a culture of sufficiency (consumption patterns, town planning, transport and building)<sup>26</sup>. It needs to multiply (especially its passive) eco-efficiency, staunchly support renewable energies<sup>27</sup> to limit/replace fossil and nuclear fuel, and enhance (or at least not destroy) the natural capacity of carbon sinks. A powerful initiative to “rethink the limits” is

**Spanish energy and climate scenarios. Equivalent CO2 emissions and emission projections in Spain, 1990-2020, by different time periods and scenarios Source: MARM (2009).**



<sup>23</sup> All these industries are important and are being addressed in CCEIM reports. But particular attention should be drawn to the need to introduce change in urban transport/mobility, which accounts for one third of the energy consumed and one fourth of world-wide GHGs.

<sup>24</sup> Of particular note is the growing penetration of electric power which, as explained hereunder, may move from the present 25% to 75% in 2050 thanks to technological developments, and substantial penetration in the transport industry.

<sup>25</sup> National sustainability strategies that fail to include ambitious change in the outlook on energy are scantily credible.

<sup>26</sup> Savings and efficiency continue to be regarded as the primary areas of action in international strategies, accounting for 50% of the GHG reduction in 2030.

<sup>27</sup> Work should also be pursued around “intelligent grids” and advances in techniques for storing energy.

emerging in civil society (university institutes, foundations, grassroots movements) and projects for specific applications are beginning to appear in a number of innovative cities such as Playa de Palma or Vaciamadrid.

### **ENERGY CHANGE, CHANGE OF ERA**

“Crisis” means merely that, at any given time, conventional logic is unable to provide answers to social challenges. Crises, moreover, tend to generate considerable uncertainty because the usual interpretations and solutions neither explain nor undo current contradictions. But while crises may induce historic backsliding, they also afford the opportunity to move into a new era with fresh alternatives.

The information at hand confirms that we are facing a global crisis because the fundamentals on which the historic cycle now drawing to a close was based appear to be no longer applicable, at least in their past formulation and interpretation. Above and beyond the severe crisis of legitimacy arising around the present economic recession, the evidence indicates that the energy, technological, economic and ecological mainstays that were erected to sustain the indiscriminate growth of production and consumption cycles are generating serious systemic contradictions whose symptoms can be unmistakably identified in what is known as “global change”.

Public opinion is aware that it may be possible to attempt to maintain the conventional logic in place over the last few centuries by straining its inherent contradictions and risks even farther<sup>23</sup>. It is also aware, however, that new paradigms can be designed, new road maps charted and new transition times established in a renewed burst of social creativity. The transformation of challenges into opportunities is contingent upon our ability to project visions of another future, where life can go on within the limits of the biosphere. The challenge is not to obtain as much energy as possible from whatsoever resource, but to focus on rationally meeting everyone's needs. This will call for planning energy supply in ways compatible with the behaviour of natural systems.

The energy issue stands at the hub of the formulation and application of these new paradigms. Albeit with processes understandably rife with contradictions, certain objectives and their respective timing have fortunately begun to appear on the horizon. Thanks to the ability of such initiatives to cut crosswise through society, any progress in this field will induce change of the highest interest for the social system.

**August 2010**

<sup>23</sup> The farther limits are overstepped, the greater are the risks. The technological promises of crossing those limits tend to underestimate the difficulty involved in confronting uncontrolled and increasingly greater risks, with immense investments that cannot be re-steered in more sustainable directions. This is known as “peak energy” (A. Robinson in La Vanguardia 2-08-2010). BP's errors in the Gulf of Mexico, drilling with “safe” systems at enormous depths, or Germany's recent problems with its “maximum safety” nuclear waste deposits are prime examples. The debate around biofuels is ongoing. European Energy Commissioner G. Oettinguer has announced (El País 14 August 2010) new biofuel traceability and life cycle inspection measures to guarantee sustainability.



04

**Resumen**

Ejecutivo

***Executive***

*Summary*

## RESUMEN EJECUTIVO

Como respuesta al cambio global al que asistimos, se plantea la evolución a una economía baja en carbono, lo que requiere transformar profundamente el actual modelo energético y buena parte del conjunto del modelo productivo y de consumo

Más allá de la grave crisis económica, el mundo asiste a un cambio global, a un auténtico cambio de ciclo histórico inducido por la alteración de los ciclos vitales de la biosfera y provocado por la presión humana sobre los recursos naturales, que desborda los límites biofísicos del planeta. Es también el final de la era del petróleo abundante y barato y el inicio de una profunda crisis del modelo energético, que demanda soluciones.

La convergencia de diversas crisis globales -financiera y económica, climática, energética y ambiental- requiere considerar sus interacciones y buscar salidas de conjunto que en lo posible respondan simultáneamente a todas ellas. Las propuestas de Naciones Unidas, en torno a cuestiones como el cambio climático, los ecosistemas, los Objetivos del Milenio para combatir la pobreza, los empleos verdes, y sus iniciativas a favor de un 'Green New Deal' o Nuevo Acuerdo Verde para salir de la crisis, ofrecen una coherencia en las respuestas a las diversas crisis, no sólo para relacionar soluciones compatibles en esferas como la biodiversidad, el clima, la economía, la energía y el empleo, sino también para encontrar simultáneamente soluciones

válidas tanto para los países industrializados, como para los "emergentes" y los menos desarrollados.

### **1. LA ENERGÍA COMO VECTOR DEL CAMBIO GLOBAL**

La cuestión energética está tan íntimamente relacionada con la crisis climática y ambiental que se sitúa en el centro de los problemas y de sus posibles soluciones; teniendo en cuenta que, en nuestras sociedades dependientes del petróleo, la energía es una parte muy importante de la huella ecológica y es responsable del 80% de las emisiones<sup>1</sup> de CO<sub>2</sub>. El IPCC, organismo científico de Naciones Unidas sobre cambio climático, ha señalado que a partir de un calentamiento global superior a 2°C con respecto a los niveles preindustriales, las consecuencias del cambio climático serán desastrosas e imprevisibles. Para evitar que el aumento de la temperatura media del planeta sea superior recomienda que la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se establezca en un nivel inferior a las 450 partes por millón de CO<sub>2</sub> equivalente. Señala también que para evitar una concentración superior a las

<sup>1</sup> Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, 2007. GT III Mitigación. Causas del Cambio. Emisiones GEI de larga permanencia.

mencionadas 450 ppm los países desarrollados deberían reducir sus emisiones entre un 80 y un 95% para 2050 en relación a 1990 <sup>2</sup>. Es decir que, para evitar el desastre climático, habrá que ir a una economía baja en carbono, cuyos productos y servicios reduzcan considerablemente las emisiones. Lo que requiere transformar profundamente el actual modelo energético y buena

parte del conjunto del modelo productivo y de consumo.

Una economía baja en carbono será también una economía con menor consumo de energía primaria. Ello exige un cambio profundo en las formas de transformar y consumir la energía. Además, el cambio de modelo energético se convierte en un vector principal de las nuevas lógicas de producción y consumo en las

<sup>2</sup> 4º Informe de Evaluación del IPCC, 2007 <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter13.pdf>

**Figura 1. Rango<sup>a</sup> de diferencias entre emisiones en 1990 y emisiones permitidas en 2020/2050 para varios niveles de concentración de gases de efecto invernadero para los países del grupo Anexo I y resto de países o grupo no Anexo I.**

Escenario	Región	2020	2050
A-450 ppm C02-eq <sup>b</sup>	Países Anexo I	-25% a -40%	-80% a -95%
	Resto países	Desviación significativa respecto a la línea-base en América Latina, Oriente Medio, Asia Oriental y Asia Central	Desviación significativa respecto a la línea-base en todas las regiones
B-550 ppm C02-eq	Países Anexo I	-10% a -30%	-40% a -90%
	Resto países	Desviación respecto a la línea-base en América Latina, Oriente Medio y Asia Oriental	Desviación respecto a la línea-base en la mayoría de las regiones, especialmente en América Latina y Oriente Medio
C-650 ppm C02-eq	Países Anexo I	0% a -25%	-30% a -80%
	Resto países	Dentro de la línea-base	Desviación respecto a la línea-base en América Latina, Oriente Medio y Asia Oriental

**Notas:**

<sup>a</sup> El rango agregado se basa en múltiples aproximaciones de aportación a las emisiones entre las distintas regiones del mundo (contracción y convergencia, multietapas, objetivos de intensidad, entre otros). Cada enfoque tiene diferentes hipótesis sobre la vía, los esfuerzos específicos de cada país y otras variables. Los casos extremos en los que países se comprometen a reducir el total de emisiones no están incluidos. Los rangos que aquí se presentan no entran en la viabilidad política, ni reflejan las variaciones de costes.

<sup>b</sup> Sólo los estudios con vistas a la estabilización en 450 ppm de C02-eq asumen una desviación al alza (temporal) en alrededor de 50 ppm (Ver Den Elzen y Meinshausen, 2006).

No se trata de conseguir más energía, sino de cubrir racionalmente las necesidades de todas las personas y el desarrollo económico con menos energía y planificar un sistema energético compatible con el funcionamiento de los ecosistemas

Los procesos de transformación y uso de la energía también tienen relación con la estructura social o con la calidad del empleo

que habrán de cambiar no sólo los procesos de transformación de energía primaria y energía eléctrica, sino también los procesos de consumo, afectando radicalmente a sectores como la edificación, la industria y el transporte.

El papel central que desempeña la energía en nuestro desarrollo económico, ambiental o social hace que las decisiones que se adoptan en esta materia tengan consecuencias muy relevantes sobre los hogares, las empresas o la balanza comercial; sobre el clima global y la contaminación; sobre la estructura social, el empleo o la pobreza. De forma que una reflexión sobre el modelo energético implica analizar sus conexiones con el desarrollo económico, el empleo, el medio ambiente o la estructura social.

Así, es importante recordar que la relación entre energía y crecimiento económico ha sido históricamente muy estrecha: el crecimiento económico lleva a un mayor consumo energético y, precisa de un mayor volumen de energía. Bajo el modelo de desarrollo actual, la disponibilidad de energía puede condicionar el crecimiento económico futuro; y a su vez el mismo crecimiento amenaza la sostenibilidad energética y ambiental.

El acceso a la energía es esencial para el bienestar humano, ya que si no alcanza un nivel mínimo limita severamente las posibilidades de desarrollo y las condiciones de vida. Sin embargo, a partir de cierto umbral, más energía no implica necesariamente más desarrollo, y menos aún más bienestar. En este como en otros casos, más no es mejor, y menos puede ser más. No se trata de conseguir más y más energía, sino de cubrir racionalmente las necesidades de todas las personas y el desarrollo económico con menos energía y planificar un sistema energético compatible con el funcionamiento de los ecosistemas.

Se debe tener en cuenta que el consumo de energía produce distintos impactos sociales y ambientales, siendo los principales el cambio climático, los daños a la salud humana y los impactos generalizados sobre los ecosistemas.

Finalmente, los procesos de transformación y uso de la energía también tienen relación con la estructura social o con la calidad del empleo. La distribución irregular de los recursos, la diferente estructura de financiación y organización necesaria para utilizar distintas fuentes energéticas, o el distinto tipo de empleo que

sostienen, hacen que las decisiones sobre modelo energético afecten a la configuración social, y vengán afectadas por ella.

## **2. LA CRISIS DEL MODELO ENERGÉTICO CONVENCIONAL**

Es en este complejo entorno donde se revelan las múltiples facetas de la insostenibilidad del modelo energético global y español.

### **A nivel global**

La Agencia Internacional de la Energía muestra un escenario tendencial de referencia (eso que muchas veces se denomina "Business As Usual", abreviando BAU) en el que prevé que la demanda mundial de energía primaria aumente un 40% durante el período 2007-2030. Los combustibles fósiles constituirían el 80% del mix global de energías primarias, con el petróleo como combustible fósil más usado.

Para satisfacer semejante crecimiento de la demanda y al mismo tiempo compensar el declive de la extracción, la industria petrolera tendría que desarrollar de aquí a 2030 nuevas capacidades extractivas a gran escala. ¿Podrá hacerlo? Desde la

década de los ochenta, los nuevos descubrimientos no bastan para reemplazar las reservas de petróleo consumidas; los costes de exploración y extracción están aumentando como consecuencia de que cada vez se trabaja en regiones más remotas, en ambientes más extremos y se perfora a mayor profundidad; la extracción mundial de petróleo convencional en los campos actualmente en explotación está experimentando un declive promedio del 6,7% anual; y la relación entre la energía obtenida mediante la extracción de petróleo y la energía consumida por este mismo proceso está declinando de forma muy rápida, lo que significa que cada nuevo barril de reservas añadido tiene un contenido energético neto inferior.

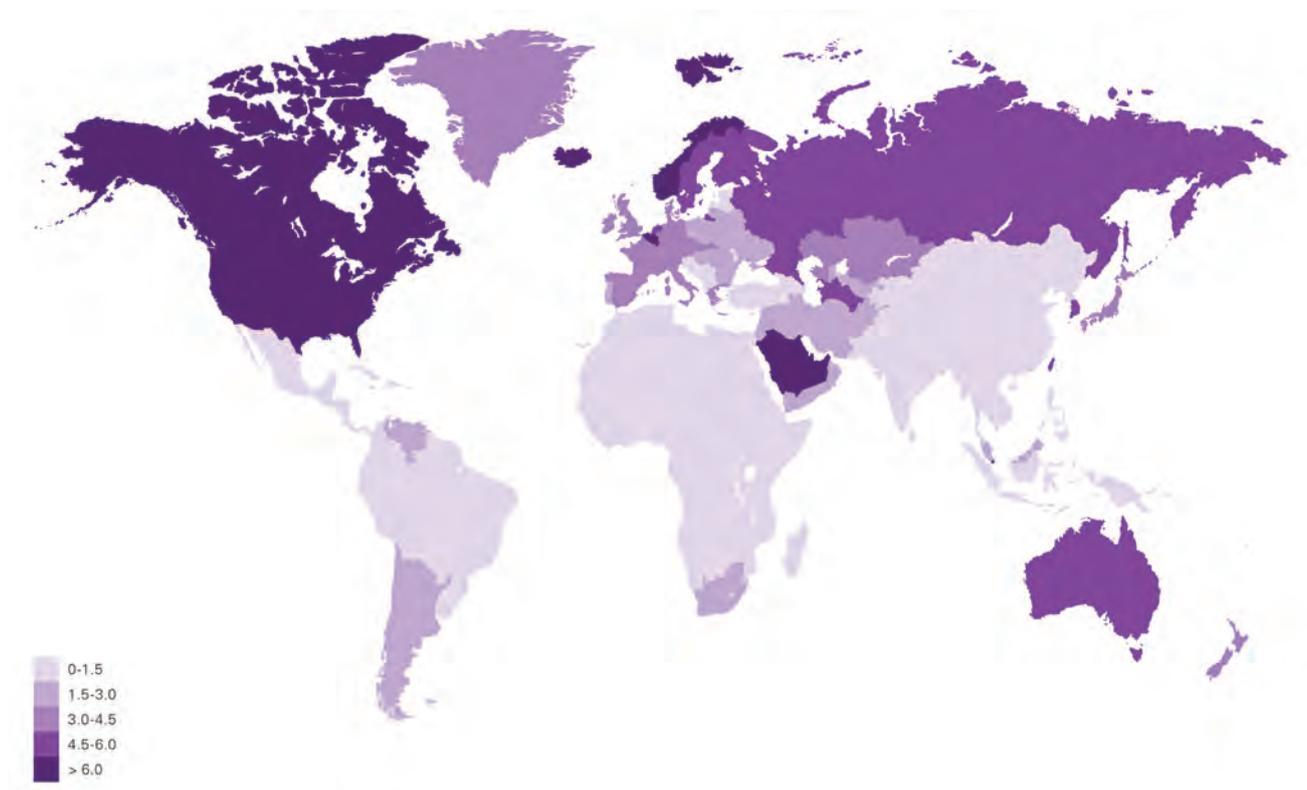
Asimismo, la Agencia Internacional de la Energía apunta que la cobertura de esa demanda mundial tendencial requeriría, entre 2008 y 2030, unas inversiones acumuladas de 26 billones de dólares: en promedio, una cifra equivalente a una inversión anual del 1,4% del PIB global. La caída de las inversiones inducida por la crisis financiera y económica podría tener serias consecuencias sobre la capacidad de abastecimiento energético y sobre los precios de los combustibles fósiles.

Por otra parte, el aumento de la demanda llevaría consigo un aumento significativo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que conduciría a largo plazo a una concentración de GEI (gases de efecto invernadero) en la atmósfera superior a 1.000 partes por millón (ppm) equivalentes de CO<sub>2</sub>. A partir de la concentración de CO<sub>2</sub> que se desprende del citado escenario, los modelos predicen una elevación media de la temperatura mundial de hasta 6°C. Esto provocaría, casi con total seguridad, un severo cambio climático de consecuencias catastróficas,

con daños irreparables al planeta y sus habitantes.

Finalmente, y desde el punto de vista social, el modelo energético es profundamente injusto. Globalmente, 1.600 millones de personas no tienen acceso a fuentes de energía modernas, 2.000 millones no tienen acceso a electricidad ni a servicios que ésta abastece (iluminación, refrigeración, telecomunicaciones y otros usos, todos ellos básicos para superar los escandalosos niveles de pobreza actuales), y se calcula que unos 2.400

Figura 2. Consumo de energía per capita (Fuente: BP, 2008).



millones dependen de la biomasa tradicional para cocinar y calentarse.

Además, hay diferencias muy significativas en el panorama energético mundial, con una situación de sobreconsumo en unos países y de falta de acceso en otros. Estados Unidos, que cuenta con un 5% de la población mundial pero utiliza el 25% de la energía mundial, consume 11,4 kW por persona; Japón y Alemania consumen prácticamente unos 6 kW por persona; mientras que en la India el un consumo medio de energía por persona es de 0,7 kW y en Bangladesh de 0,2 kW.

El Proyecto del Milenio de Naciones Unidas ha insistido en la estrecha relación entre el desarrollo humano y el acceso a servicios energéticos modernos, que permiten reducir la pobreza, mejorar la salud y las oportunidades de educación de los niños y promover la igualdad de género. Algunos de los derechos humanos básicos son imposibles de conseguir sin un acceso adecuado a servicios energéticos modernos, del que carece un 20% de la población mundial.

El reparto del esfuerzo en la reducción de emisiones no puede ser el mismo para todos los países ya que la responsabilidad histórica y

actual en el aumento de la concentración de gases de invernadero en la atmósfera no es la misma y las capacidades para la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus consecuencias tampoco es equivalente. De ahí la importancia del principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas” en la agenda climática. Dicho principio demanda soluciones en la línea conceptual de “contracción y convergencia”: contracción en el consumo de recursos energéticos y en emisiones por parte de los países desarrollados y expansión temporal por parte de los países en desarrollo hasta confluir en un punto sostenible.

### **En España**

El modelo energético español presenta rasgos de insostenibilidad muy similares a las del modelo energético global: crecimiento desbocado de la demanda y de las emisiones de CO<sub>2</sub> que sólo la reciente crisis ha sido capaz de mitigar, y dependencia muy elevada de los combustibles fósiles. La intensidad energética española<sup>3</sup> ha mantenido una tendencia creciente, contraria a la de la UE-15. Aunque parece confirmarse la muy reciente

A partir de la concentración de CO<sub>2</sub> que se desprende del escenario tendencial, los modelos predicen una elevación media de la temperatura mundial de hasta 6°C. Esto provocaría, casi con total seguridad, un severo cambio climático de profundas consecuencias

<sup>3</sup> Se entiende por intensidad energética de un país la relación entre su consumo de energía y su PIB. A mayor intensidad energética, menos eficiencia y viceversa.

Estas conclusiones invitan a reflexionar sobre el modelo económico español que ha estado basado en sectores que conducen a la insostenibilidad del modelo energético

tendencia decreciente iniciada en 2005, el ritmo de mejora es inferior al observado en promedio en la UE-15.

Algo semejante ocurre con la intensidad de CO<sub>2</sub>. Tanto el consumo de energía per cápita (140 GJ/hab) como las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita (9,6 t CO<sub>2</sub>/hab), que partían de unos niveles inferiores a la media europea, se están aproximando rápidamente a este nivel.

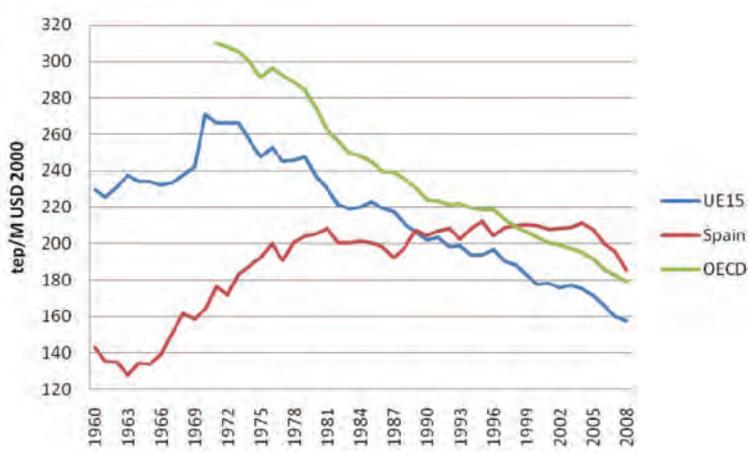
De los sectores demandantes, el transporte y el sector "usos diversos" (residencial, terciario y primario) merecen una atención especial. La movilidad de viajeros y de mercancías ha experimentado durante muchos años un crecimiento que solamente la crisis económica parece haber sido capaz de detener, con el transporte por carretera

ocupando un primerísimo puesto entre los distintos modos: 89% y 83% del total de viajeros y mercancías, respectivamente. El sistemático crecimiento del transporte por carretera (y la falta de alternativas) constituye una de las principales amenazas a la sostenibilidad económica y ambiental del sistema energético español.

La economía española ha concentrado sus actividades en subsectores de menor valor añadido -productos siderúrgicos, cemento y ladrillo- asociados a la construcción. Incluso en actividades menos intensivas en energía, como es el sector de servicios, la actividad se concentra en aquellas ramas -hostelería y el comercio- que necesitan relativamente más energía.

Estas conclusiones invitan a reflexionar sobre el modelo económico español que ha estado basado en sectores que conducen a la insostenibilidad del modelo energético. La construcción y el turismo de bajo coste han proporcionado crecimiento económico espectacular, pero con fuertes demandas de energía. Mientras, las economías más avanzadas en la UE15 se han especializado en actividades de mayor valor añadido, logrando reducir su intensidad energética y sus emisiones.

**Figura 3. Evolución de la intensidad energética. (Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2009).**



Por tanto, parece imprescindible un cambio de modelo energético: más basado en el ahorro y la eficiencia energética, más respetuoso ambientalmente, y más justo a nivel social. ¿Es posible este cambio?

### 3. SOLUCIONES PARA EL CAMBIO DE MODELO

En primer lugar, es preciso reconocer que el cambio de modelo es posible. Por ejemplo, a nivel global, la misma Agencia Internacional de la Energía presenta un modelo alternativo, llamado "escenario 450"<sup>4</sup>, en el que se plantea una transformación radical del sistema energético, para conseguir una importante reducción de las emisiones de GEI. La figura 4 presenta, además, de qué forma se puede lograr semejante esfuerzo de reducción de emisiones dentro del sector energético. En dicha propuesta, las distintas tecnologías eléctricas tienen un papel destacado, en torno a la quinta parte del total. Sin embargo, es importante destacar que más de la mitad de la reducción se debe a mejoras en la eficiencia y ahorro energético en los usos finales. Estas medidas incluyen actuaciones en edificios, industria y transporte, con cortos

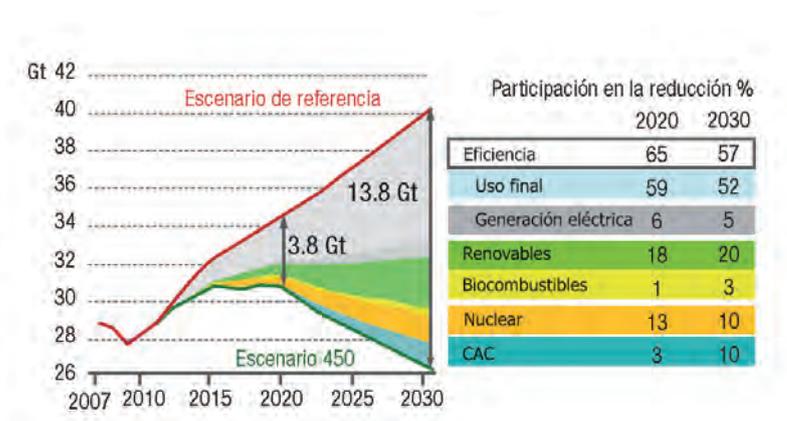
periodos pay-back e incluso costes negativos de reducción.

De igual forma, en España, el ahorro y la eficiencia energética -posiblemente por su olvido histórico o porque al reducir el consumo merman los beneficios monetarios del sector- presentan un elevado potencial, y así existen numerosas posibilidades de reducción del consumo energético -y de los impactos ambientales asociados- desde el urbanismo, la edificación, el transporte, o la demanda de electricidad.

La necesidad de respetar los límites biofísicos del planeta, pero también la rentabilidad económica y social, hace que el énfasis de las soluciones para el cambio de modelo deba situarse en la reducción del consumo, tanto en términos absolutos (ahorro) como

<sup>4</sup> En referencia a 450 partes por millón, límite máximo de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para evitar un cambio climático catastrófico.

**Figura 4. Emisiones de CO2 relacionadas con la energía en los dos escenarios de la AIE. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2009.**



En el ámbito urbanístico el necesario aumento de la eficiencia energética ha de plantearse desde la rehabilitación de los barrios, de la ciudad existente, y desde una gestión de los espacios construidos orientada a las necesidades de los ciudadanos

relativos (eficiencia). En este informe se presentan muchas posibilidades tecnológicas o de cambios de comportamiento en todos estos sectores, que podrían reducir desde hoy el consumo de energía en España el 22% para 2030.

### **Edificación**

En el sector de la edificación la optimización de la radiación solar, el aislamiento térmico, el control de la ventilación y el intercambio de calor pueden permitir reducir la demanda energética para climatización a valores residuales, próximos a los 10-15 kWh/m<sup>2</sup>. Tras el necesario ajuste de la demanda, la eficiencia en la captación, transformación, transporte y aportación de energía a los espacios que deben acondicionarse es el factor que debe asegurarse para obtener buenos comportamientos energéticos en la edificación.

Aumentar el porcentaje de la energía que va a satisfacer las necesidades del usuario, respecto a la cantidad total de energía que entra en el sistema, es el objetivo de la eficiencia en las instalaciones. La adecuación y el rendimiento de equipos transformadores de energía -como calderas, climatizadores, etc.-, de

sistemas de transporte de energía, y de difusores -radiadores, ventiladores, etc.- para servir la demanda, son factores que determinan la eficiencia en las instalaciones de climatización.

En definitiva, hoy podemos aspirar a vislumbrar una fuerte descarbonización de un sector de la edificación reconfigurado en torno a la idea de la rehabilitación bioclimática del tejido edificado de nuestras ciudades.

### **Urbanismo**

En el ámbito urbanístico el necesario aumento de la eficiencia energética -y por ende la reducción de las emisiones debidas a la edificación- ha de plantearse desde la rehabilitación de los barrios, de la ciudad existente, y desde una gestión de los espacios construidos orientada a las necesidades de los ciudadanos. Unos usuarios cuyo convencimiento y apoyo en el cambio hacia una sociedad con un metabolismo bajo en carbono resulta el factor más determinante.

La tendencia actual de modelo de ciudad difusa crea urbanización (suburbios) pero no ciudad. En la medida que crece la ciudad difusa lo hace

el consumo de recursos. Abandonar el modelo actual de ciudad difusa y el marco institucional que la ha apoyado parece más que razonable.

El modelo urbano que podría revertir el proceso insostenible del actual es el modelo de la ciudad mediterránea, compacta en su estructura y compleja en su organización, eficiente en el consumo de recursos y estable socialmente. Este modelo compacto se puede articular en nuevas células urbanas para la funcionalidad del sistema, que trasciendan a la decimonónica manzana y respondan mejor a los objetivos de movilidad y acceso -ir de un punto a otro de la ciudad de la manera más eficiente posible- a la vez que liberen entre el 60 y el 70% del espacio público hoy sometido a una invasiva motorización. La nueva célula urbana propuesta (equivalente a una supermanzana) permitiría articular un nuevo modelo de movilidad basado en los modos de transporte alternativo y tener acceso a las actividades y equipamientos básicos de proximidad sin usar el coche.

Esta nueva concepción del urbanismo debe aplicarse fundamentalmente para regenerar la ciudad consolidada, ya que sólo

gestionando de una forma eficiente los tejidos urbanos actuales y rehabilitando el sobredimensionado parque de edificios existente a gran escala, se puede dar una respuesta adecuada al reto energético que se plantea.

Sobre esta línea de trabajo, ya existen estudios y propuestas desarrolladas, entre otros dos informes de esta misma serie de Cambio Global España 2020/50 <sup>5</sup>, que apuntan a cómo avanzar hacia la transformación de nuestras urbes en ciudades bajas en carbono.

## Transporte

En el sector del transporte, más allá de la reducción de demanda de movilidad que plantea la transformación hacia un urbanismo sostenible, también se ofrecen soluciones para la disminuir la demanda energética: reducción del parque de vehículos, haciendo innecesario el ser propietario de un vehículo para atender las necesidades de desplazamiento; reducción del número de viajes, convirtiendo viajes unipropósito en viajes multipropósito, o evitando, en general, los viajes innecesarios; reducción del número de vehículos-km mediante el aumento de la ocupación de los distintos medios de transporte, o la reducción de

<sup>5</sup> Infomes Cambio Global España 2020/50. Programa Ciudades (2009) editado por el Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental (CCEIM), Fundación Conama y OSE y Sector Edificación (2010) editado por el CCEIM, GBCE y ASA.

las distancias entre origen y destino; aplanamiento de las horas punta para evitar la congestión del tráfico en determinadas franjas horarias; equilibrio entre la utilización del vehículo privado y el transporte público, favoreciendo una transferencia hacia el transporte público; y promoción de modos de transporte no contaminantes (modos *soft*: viajes en bicicleta y a pie que facilitan, además de beneficios ambientales, una mejora de la calidad de vida de las ciudades y un urbanismo de proximidad, enriquecedor para las relaciones ciudadanas).

En el informe se apunta la posibilidad de reducciones en el consumo de energía final del orden del 60% en 2030 con respecto al año 2008.

### **Sector energético**

En el sector energético, muy especialmente el eléctrico, ofrece también muchas oportunidades de mejora tanto desde la demanda como desde el lado de la oferta.

Del lado de la demanda el uso más racional de electricidad, presenta muchas oportunidades de reducción del consumo energético; la gestión eficiente de la demanda de electricidad, la iluminación de bajo consumo, los

electrodomésticos eficientes, las tecnologías avanzadas para climatización, y los sistemas de almacenamiento y gestión de la energía permitirán reducir en gran medida el consumo.

Ahora bien, la reducción del consumo no será suficiente para lograr un modelo sostenible. Será necesario también actuar sobre las tecnologías de transformación de la energía, tanto de calor y de electricidad como para el transporte. Tienen especial importancia aquí las tecnologías de generación de electricidad, por su participación cada vez mayor en el sistema.

Del lado de la oferta, las energías renovables son las que ofrecen hoy mayores ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad ya que los combustibles fósiles y la energía nuclear no parecen sostenibles. Las propuestas de "captura y secuestro" de carbono están en fase de demostración y habrá que esperar unos años para analizar las posibilidades de generalización o no de la tecnología (no sólo en función de su competitividad, sino tras una consideración cuidadosa de las muchas incertidumbres aún por resolver en cuanto a la capacidad y seguridad de los almacenamientos).

En cuanto a la energía nuclear, además de los elevados costes de inversión con largos períodos

de amortización que generan grandes incertidumbres sobre su viabilidad financiera, las cuestiones –no resueltas– que focalizan hoy las polémicas sobre el futuro de la tecnología nuclear de fisión son el agotamiento de las reservas de uranio, los riesgos de proliferación nuclear y la producción de residuos radiactivos. Así pues, hoy es la generalización del uso de las energías renovables, desplazando progresivamente a las convencionales, lo que puede permitir avanzar hacia una generación sostenible. Si bien algunas de ellas todavía presentan unos costes elevados, otras como la energía eólica atravesaron ya el umbral de la competitividad con las tecnologías convencionales. La cogeneración también puede tener una aportación significativa, por su mayor eficiencia.

En lo que se refiere al sector del transporte, existe todavía un muy importante potencial de mejora. Si todas las mejoras en eficiencia fueran utilizadas para recortar el consumo de combustible en vez de potenciar las prestaciones, se estima que el uso de combustible se podría reducir hasta un 26% en 2035. La adopción agresiva de tecnologías híbridas (enchufables o no) podría resultar en una reducción del 40% del consumo de

combustible en el coche. En cuanto a los nuevos motores, fabricantes y políticos parecen coincidir en centrarse en vehículos eléctricos y vehículos con pilas de combustible de hidrógeno (de hecho, estos últimos son también vehículos eléctricos, aunque con hidrógeno como combustible almacenable en vez de baterías, que luego es convertido en electricidad en la pila de combustible).

Todas las alternativas de oferta y demanda analizadas en el informe se han combinado para construir unos escenarios energéticos deseables para 2020 y 2030, que deberían permitir alcanzar un modelo energético sostenible en el medio plazo. Sin duda el cambio necesario es posible. Pero optar por el mismo debe ir acompañado por una adecuada gestión de la transición entre la situación actual y el modelo futuro.

#### **4. EL ESCENARIO ENERGÉTICO DESEABLE PARA ESPAÑA**

La transición para lograr los objetivos deseados requiere una metodología ‘backcasting’ o retrospectiva, situando primero el escenario deseable dentro de lo posible y a partir de ahí diseñar las medidas necesarias para alcanzarlo.

La generalización del uso de las energías renovables, desplazando progresivamente a las convencionales, es lo que puede permitir avanzar hacia una generación sostenible

Se han construido dos escenarios: un escenario base, en el que se incluyen sólo las políticas energéticas y medioambientales actuales y un escenario deseable, más avanzado, con el objetivo fundamental de reducir las emisiones de GEI en 2050 en un 80% sobre el nivel de emisiones en 1990

Diversos escenarios apuntan hacia el 100% de generación eléctrica de fuentes renovables para 2050 <sup>6</sup> en un contexto de mayor electrificación de la sociedad. También está establecido el entorno del escenario 2020 por el llamado Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático. Para alcanzar los objetivos a 2050 a partir de los alcanzados en 2020 queda por establecer el escenario 2030, sobre el que se espera un interesante debate a lo largo de los próximos años. La propuesta que aquí avanzamos (Cambio Global España 2020/2030... 2050: energía, economía, sociedad) pretende fomentar este debate pendiente en la sociedad española.

Para la realización de este ejercicio<sup>7</sup> se han construido dos escenarios: un escenario base en el que se incluyen sólo las políticas energéticas y medioambientales actuales y un escenario deseable, más avanzado, con el objetivo fundamental de reducir las emisiones de GEI en 2050 en un 80% sobre el nivel de emisiones en 1990 (reducción mínima establecida por la comunidad científica para mantener la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera por debajo de 450 partes por millón y el incremento global de temperatura por debajo de los 2°C).

Se trata de un escenario de reducción de emisiones muy exigente, que a partir de 2030 tendría que ser acometido con tecnologías más avanzadas que las actualmente disponibles. Aunque se considera la aparición futura de soluciones tecnológicas novedosas, se desconoce el alcance de aplicación de 2030 a 2050; por ello sólo se presentan resultados detallados hasta el año 2030. Se trata de mostrar la composición del sistema energético que sería necesaria en el año 2030 para poder acometer los objetivos previstos para 2050. Conforme vayan apareciendo novedades tecnológicas aplicables cabrá actualizar y proyectar en el tiempo este ejercicio de modelización.

Estos escenarios no pretenden predecir el futuro, sino establecer una respuesta posible del sistema energético futuro, sometido a restricciones ambientales, con las tecnologías y los recursos disponibles.

### **Escenario base**

El escenario base incluye los objetivos de penetración de energías renovables marcados por la Unión Europea para 2020, donde un 20% del consumo energético final ha de ser con fuentes renovables y

<sup>6</sup> Es el caso del Informe de la Fundación Ideas 2009 'Un nuevo modelo energético para España. Recomendaciones para un futuro sostenible'; así como del Informe Greenpeace 2007 'Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica'.

<sup>7</sup> Para este trabajo se ha utilizado la herramienta TIMES-Spain, un modelo energético de la familia de modelos MARKAL-TIMES desarrollados dentro del programa ETSAP (Energy Technology System Analysis Programme) de la Agencia Internacional de la Energía.

las emisiones de CO<sub>2</sub> deberían ser un 20% inferiores a las emisiones de 1990. Para ello se ha considerado la existencia del mercado de emisiones de CO<sub>2</sub> para los sectores que participan en el mismo, y para los sectores que no se integran en este mercado (sectores difusos) se han limitado las emisiones de acuerdo a las indicaciones de la Decisión sobre el reparto del esfuerzo de reducción, es decir, un 10% de reducción sobre las emisiones de 2005 en el año 2020. Estos mismos límites se han mantenido en todo el horizonte de modelización. En cuanto a las mejoras en la eficiencia energética para 2030, se ha considerado que el consumo energético en el sector residencial y de servicios disminuye un 22% respecto del año 2000.

La eficiencia del sector transporte se ha considerado que mejora en un 10% respecto de la existente en 2009; y en consonancia con los planes en preparación del Gobierno para la introducción del coche eléctrico, se ha supuesto que en 2020 el parque de automóviles contará con un millón de estos vehículos. En lo que a energía nuclear se refiere, se ha considerado la no instalación de nuevas capacidades y la extinción de las plantas actuales al final de su vida útil,

de modo que a partir de 2028 no hay generación eléctrica de origen nuclear.

### **Escenario deseable**

En el escenario deseable se han contemplado los mismos supuestos que en el escenario base, añadiéndose medidas adicionales y mayores restricciones, en particular las referidas a las emisiones de CO<sub>2</sub> que deberán reducirse respecto a sus niveles en 1990, un 30% para 2020 y un 50% para 2030 (ello permitiría alcanzar el 80% de reducción en 2050).

En el sector residencial y de servicios. Adicionalmente a las mejoras de eficiencia del escenario base, el escenario deseable ha supuesto que cada año hasta 2050 medio millón de viviendas son rehabilitadas para conseguir un ahorro energético del 50% sobre el consumo de 2009 y que todas las nuevas viviendas construidas tienen una demanda energética un 80% inferior a la actual. Todo ello supondría un ahorro de la demanda energética global en el sector residencial y de servicios de un 46% en 2050 respecto a 2009<sup>8</sup>.

En el sector del transporte se ha considerado un aumento de la eficiencia en 2020 de un 22% respecto de la existente

<sup>8</sup> Los datos de partida 2008 y 2009 que aparecen en los siguientes gráficos como MICyT para 2008 y como Anexo para 2009, son respectivamente los ofrecidos por el Ministerio de Industria Comercio y Turismo sobre 2008 y los contemplados sobre 2009 en la 'Propuesta del Gobierno para Acuerdo política para la recuperación del crecimiento económico y la creación de empleo' en el llamado Pacto de Zurbano.

en el año 2000. Además, se ha supuesto una apuesta decidida por el vehículo eléctrico para el transporte de pasajeros con 2,5 millones de vehículos en 2020, 5 millones de vehículos eléctricos en 2030 y 15 millones de vehículos eléctricos en 2050. Se ha considerado asimismo que el transporte de mercancías experimenta un cambio modal radical hacia el transporte ferroviario. De esta forma, en 2020 un 10% de la demanda de transporte total de mercancías se transfiere de

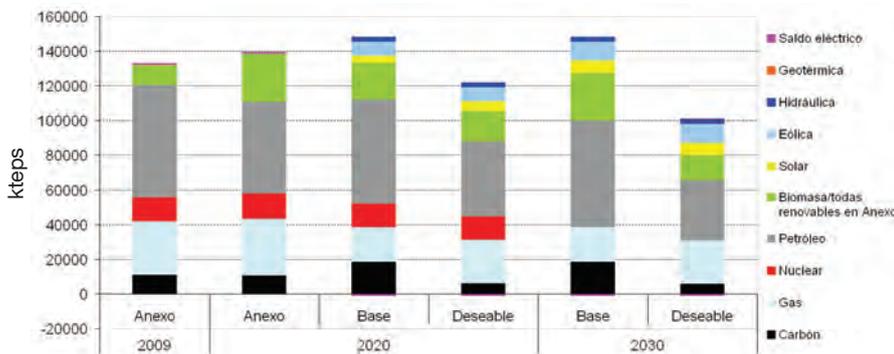
transporte por carretera a transporte en tren, en 2030 un 30% y en 2050 un 70%.

Bajo todos estos supuestos, en el escenario deseable, el consumo de energía primaria en el año 2030 se reduce en un 23% respecto del consumo del año 2009 y procede de fuentes renovables en un 45%. La energía nuclear desaparece del escenario energético en 2030. El carbón y el gas ven reducida su participación y el uso del petróleo se reduce desde un 49% en 2009 hasta un 34% en 2030.

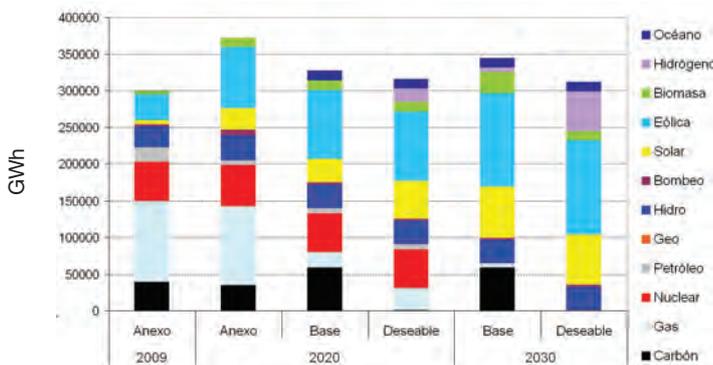
La propuesta de escenario deseable permite reducir el consumo de energía final en 2030 en un 15% respecto al año 2009, mientras que la tendencia que muestra el escenario base nos conduciría a un aumento de un 14% para 2030. Las medidas de eficiencia adoptadas en los distintos sectores y el uso de las tecnologías más eficientes en el escenario deseable permiten ahorrar en el año 2030 alrededor de 30.000 kteps respecto del escenario base, lo que supone un 25% del consumo energético final total del escenario base en ese año.

La electricidad aumenta su participación en el sistema energético desde un 20% en 2008 hasta un 27% en 2030 en el escenario deseable. Los

**Figura 5. Consumo de energía primaria.**



**Figura 6. Producción de electricidad.**



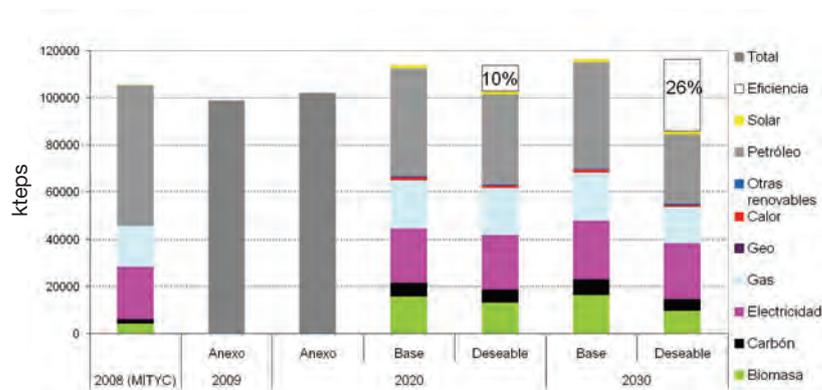
resultados obtenidos para el sector eléctrico muestran un rápido crecimiento de las fuentes renovables, que ya en 2020 suponen más de un 70% de la electricidad total en el escenario deseable y que en 2030 suponen un 100%.

En cuanto a la distribución del consumo de energía final por sectores, el sector del transporte pasa de contribuir en un 38% en el año 2008, a un 18% en 2030 en el escenario deseable. Esta reducción se consigue con la introducción de vehículos más eficientes, el cambio en los patrones de conducción y el cambio modal en el transporte. La participación de la electricidad se ve incrementada debido a la introducción del vehículo eléctrico y el mayor peso del tren -en general electrificado- en el transporte de mercancías. El uso de petróleo en 2030 se reduce a la mitad en este escenario con respecto al escenario base. Los sectores residencial, servicios y agrícola disminuyen también su contribución en 2030 al consumo energético final.

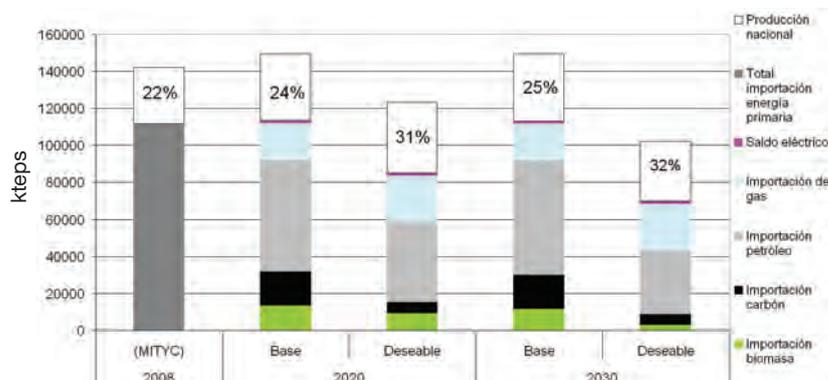
La dependencia energética en el escenario deseable disminuye considerablemente, debido al ahorro y al cambio de fuentes energéticas. Por un lado aumenta el autoabastecimiento, que pasa desde un 17% en 2008

(considerando que la energía nuclear no es autóctona dada la dependencia tecnológica y que el combustible es importado) hasta un 32% en 2030. Por otro, disminuye el consumo de energía primaria en un 22%. Considerando ambos procesos, la importación de energía primaria descende de manera muy importante a lo largo del periodo de modelización, llegando a ser en 2030 un 40% inferior a la de 2008 y dejando de importar unas 42.000 ktep.

**Figura 7. Consumo de energía final.**



**Figura 8. Importación de energía primaria y grado de autoabastecimiento.**

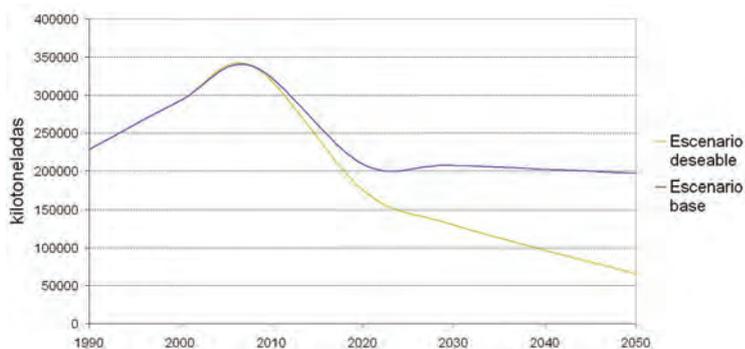


La evolución de las emisiones energéticas de CO<sub>2</sub> sigue una pauta descendiente resultante de las restricciones impuestas al sistema, para alcanzar el 80% de reducción en 2050 para lo cual, en el escenario deseable las emisiones se reducirían un 30% en 2020 y un 50% en 2030, siempre respecto a 1990, para alcanzar un recorte del 80%-90% en 2050.

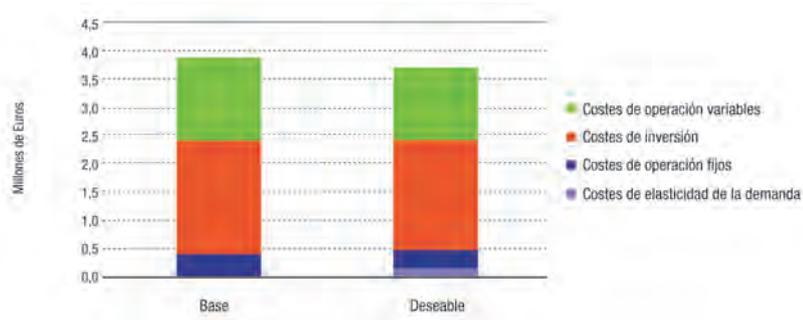
Por último, en lo que se refiere a la viabilidad económica del escenario propuesto, los resultados muestran que, gracias fundamentalmente al

ahorro de energía, los costes totales de aprovisionamiento energético del sistema se reducen en el escenario deseable respecto al caso base, debido en gran parte al descenso en los costes de operación variables (un 11% inferiores en el escenario deseable) por la reducción en el consumo de combustibles fósiles. Los demás costes en el escenario deseable, de inversión y de operación fijos, también se ven reducidos -ambos en un 6%- con respecto del escenario base. En el caso de las inversiones, éstas tenderán a bajar conforme las nuevas tecnologías, con más presencia en el escenario deseable, se van haciendo maduras y las economías de escala mejoran.

**Figura 9. Emisiones de CO<sub>2</sub>.**



**Figura 10. Costes totales del sistema hasta el año 2030.**



## 5. CÓMO ALCANZAR EL ESCENARIO DESEABLE: LAS POLÍTICAS PARA EL CAMBIO

Una vez identificados los escenarios deseables, el dónde queremos llegar, hay que definir cómo hacerlo: cuáles deben ser los papeles de los distintos agentes sociales, cuáles las políticas fiscales, tecnológicas, o de otro tipo, necesarias para pasar del insostenible modelo actual al escenario deseable futuro en el que queremos situarnos. A continuación se apuntan algunas de las políticas necesarias para hacer posible la transición.

En las sociedades democráticas, la sociedad civil constituye una de las claves del cambio social, ya que, para que dicho cambio sea posible, se requiere de una base social suficiente que los apoye y demande a los gobiernos que los promuevan. Las organizaciones sociales -como entidades de intermediación entre los individuos, la sociedad y las instituciones- expresan los intereses de la sociedad civil, influyen decisivamente en la cultura de una sociedad y en sus comportamientos y desempeñan un importante papel en los cambios sociales. Así, es necesario lograr, mediante políticas educativas, informativas y participativas, una implicación de la sociedad civil en la percepción de los problemas y de las soluciones existentes, según el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas. La perspectiva de una transición justa con participación comprometida de la sociedad civil facilitará los cambios necesarios en el comportamiento social.

A la vez que se avanza en la percepción social sobre la necesidad del cambio de modelo energético, hay que diseñar políticas que incentiven en la dirección adecuada este cambio. Fundamentalmente, es necesario que los precios de la energía recojan todos los

costes de su uso, para que los consumidores y las empresas puedan alinear sus intereses con los de la sociedad. En esta línea hay dos elementos que parecen esenciales. Por una parte, la reformulación de una estratégica energética concertada que establezca adecuadamente los objetivos integrales que se persiguen, las ventajas e inconvenientes de los mismos, y las políticas necesarias para alcanzarlo. Por otra parte, también resulta especialmente recomendable, y más en estos momentos, una reforma fiscal verde, que permita desincentivar las fuentes energéticas no deseadas mediante señales de precio, pero que a la vez no suponga necesariamente un aumento de la carga fiscal, al reducir otras cargas que pueden ser incluso distorsionantes, como las asociadas al mercado de trabajo.

Desgraciadamente, y por muchas razones, las señales de precio o la planificación no serán suficientes. Por una parte es necesario tener en cuenta la realidad de los mercados y la política; por otra, hace falta un desarrollo tecnológico aún elevado para las energías renovables, que les permitan competir en igualdad de condiciones. Por ello hacen falta, además de las políticas citadas, otras que se encarguen de lograr este

Es imprescindible lograr un marco regulatorio consensuado y estable a largo plazo, que dé confianza a los inversores y consumidores, agentes fundamentales del cambio

La conclusión principal del informe es que la transición hacia un modelo energético sostenible no sólo es deseable, sino también posible

Es imprescindible un gran debate sobre el futuro energético del país que permita alcanzar un amplio acuerdo institucional, político y social en torno a una estrategia energética ambiciosa y sostenible con objetivos de medio y largo plazo

desarrollo, bien apoyando las actividades de investigación y desarrollo para las tecnologías menos maduras, con fondos públicos o creando un entorno favorable a la innovación y la iniciativa privada; o creando economías de escala para las que están ya en fase pre-competitiva.

Finalmente, es imprescindible imbricar todas estas políticas y sus interacciones en un marco institucional adecuado, tanto a nivel nacional como internacional. Las implicaciones de las políticas energéticas sobre unas economías cada vez más interconectadas hacen necesario un esfuerzo global de coordinación y armonización de políticas energéticas y ambientales. Por otra parte, es imprescindible lograr un marco regulatorio consensuado y estable a largo plazo, que dé confianza a los inversores y consumidores, agentes fundamentales del cambio. Finalmente, es urgente un esfuerzo redoblado a nivel internacional que permita el acceso a fuentes avanzadas de energía a toda la población mundial, como factor clave para su desarrollo.

### 6. CONCLUSIONES

La convergencia de diversas crisis globales -financiera y económica, climática,

energética y ambiental- requiere considerar sus interacciones y buscar salidas de conjunto que respondan simultáneamente a todas ellas. Este informe pretende dar una respuesta desde el punto de vista del sector energético, un sector que se convierte en vector principal del cambio hacia una economía más sostenible, por sus importantísimas conexiones con la economía, con el medio ambiente y con la configuración de la sociedad.

La conclusión principal del informe es que la transición hacia un modelo energético sostenible no sólo es deseable, sino también posible. El reto central a resolver no pasa por tratar de conseguir más energía, sino por consumir menos cubriendo racionalmente las necesidades energéticas a través de un sistema más eficiente, basado en las energías renovables y compatible con el funcionamiento de los ecosistemas.

El escenario deseable que se plantea en este informe es viable técnica y económicamente, además de ser sostenible ambientalmente. Es un escenario que permite reducir en gran medida las emisiones de CO<sub>2</sub> y la dependencia energética de España, a la vez que reduce los costes de

suministro con respecto al escenario tradicional. Pero a la vez es un escenario comprometido y ambicioso, que no se puede lograr simplemente con buenas intenciones o recurriendo a prácticas y actitudes pasadas.

Antes bien, es necesario un cambio radical en la forma en que se transforma y consume la energía. Resulta imprescindible potenciar el ahorro energético, combatiendo el despilfarro en todos los sectores, con un énfasis especial en el urbanismo, la edificación y el transporte, en los que debe cambiar el paradigma consumista y desarrollista hacia uno basado en la suficiencia; y también es necesario abandonar progresivamente los combustibles fósiles y la energía nuclear y sustituirlos por energías renovables.

Pero este cambio no vendrá por sí mismo, sino que sólo podrá obtenerse como resultado de un conjunto coherente de políticas públicas e iniciativas privadas, consensuadas a largo plazo por todas las fuerzas políticas en un proceso que debe originarse y mantenerse desde la sociedad civil. Es imprescindible un gran debate sobre el futuro energético del país que permita alcanzar un amplio acuerdo institucional,

político y social en torno a una estrategia energética ambiciosa y sostenible con objetivos de medio y largo plazo, cuestión de importancia decisiva para nuestro futuro.

Este informe pretende ser una primera aportación a este proceso. El objetivo ha sido tratar de reunir buena parte de las voces expertas en materia de energía y sostenibilidad en España, con el convencimiento de que la riqueza y la fuerza que proporciona esta unión de capacidades -que no mera yuxtaposición- compensa de sobra las pequeñas discrepancias conceptuales o estilísticas que se puedan identificar. Porque sólo a través del debate plural, transparente, honesto y bien informado será posible alcanzar el tan necesario consenso en materia energética que necesita España para seguir avanzando en el bienestar de sus ciudadanos sin comprometer los límites que impone nuestro finito y vulnerable planeta.

## EXECUTIVE SUMMARY

The answer to the global change is a move to a low-carbon economy in which emissions from products and services would be considerably reduced

Beyond a severe economic crisis, the world is experiencing global change. This veritable turn in the historic cycle is induced by the alteration of life cycles in the biosphere and driven by human pressure on natural resources and unbearable strain on the planet's biophysical limitations. This century is also witnessing the end of cheap and abundant oil and the beginning of a profound crisis in the energy model, for which solutions must be found.

Because a number of global crises -financial and economic, climatic, energetic and environment- have converged, consideration must be given to their interactions and solutions sought that address all of them at once. The United Nations proposals for issues such as climate change, the ecosystems, the millennium objectives to combat poverty and green jobs, along with its initiatives in favour of a "Green New Deal" to surmount the crisis, constitute a consistent response to these convergent crises. Not only are they designed to interrelate compatible arrangements in domains such as biodiversity, climate, economy, energy and employment, but also to simultaneously deliver solutions that are valid for industrialised, emerging and less developed countries.

### **1. ENERGY AS A VECTOR FOR GLOBAL CHANGE**

The energy issue is so closely linked to the climate and environmental crisis that it is at the heart of these problems and their possible solutions, considering that energy is a very important part of the ecological footprint and is responsible for 80% of CO<sub>2</sub> emissions<sup>1</sup> in our oil-dependent societies. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a United Nations scientific body for the assessment of climate change, has indicated that global warming of 2°C over pre-industrial levels would entail disastrous and unforeseeable climate-induced consequences. To prevent the planet's average temperature from rising any further, it recommends that the atmospheric concentration of greenhouse gases should be stabilized at below 450 parts per million (ppm) equivalent CO<sub>2</sub>. It also states that developed countries should reduce emissions in 2050 by 80 to 95% below 1990 levels<sup>2</sup> to avoid surpassing the aforementioned concentration.

In other words, what is needed to avert climatic disaster, is a move to a low-carbon economy in which emissions from products and services would be considerably reduced. This

<sup>1</sup> IPCC Fourth Assessment Report, 2007. WG III. Mitigation. Causes of Change. Long-lived GHGs.

<sup>2</sup> IPCC Fourth Assessment Report, 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter13.pdf>

would require a profound transformation of the current energy model and a significant revamping of the production and consumption model.

A low-carbon economy would also use less primary energy, which would entail a radical change in how energy is transformed and consumed. Furthermore, the modified energy model would be key to achieving the new production and consumption paradigms in which not only the processes

through which primary and electrical energy are transformed but also consumption processes would have to be changed, severely affecting the construction, industry and transport sectors, to name a few.

The pivotal role that energy plays in economic, environmental and social development means that any decisions made in this realm will have a very significant impact on homes, companies

**Figure 1. The range of the difference between emissions in 1990 and emission allowances in 2020/50 for various GHG concentration levels for Annex I<sup>a</sup> countries as a group.**

Scenario category	Region	2020	2050
A-450 ppm C02-eq <sup>b</sup>	Annex I	-25% to -40%	-80% to -95%
	Non-Annex I	Substantial deviation from baseline in Latin America, Middle East, East Asia and Centrally-Planned Asia	Substantial deviation from baseline in all regions
B-550 ppm C02-eq	Annex I	-10% to -30%	-40% to -90%
	Non-Annex I	Deviation from baseline in Latin America, Middle East, East Asia	Deviation from baseline in most regions, especially in Latin America and Middle East
C-650 ppm C02-eq	Annex I	0% to -25%	-30% to -80%
	Non-Annex I	Baseline	Deviation from baseline in Latin America and Middle East, East Asia

**Notes:**

<sup>a</sup> The aggregate range is based on multiple approaches to apportion emissions between regions (contraction and convergence, multistage, Triptych and intensity targets, among others). Each approach makes different assumptions about the pathway, specific national efforts and other variables. Additional extreme cases –in which Annex I undertakes all reductions– are not included. The ranges presented here do not imply political feasibility, nor do the results reflect cost variances.

<sup>b</sup> Only the studies aiming at stabilization at 450 ppm C02-eq assume a (temporary) overshoot of about 50 ppm (See Den Elzen and Meinshausen, 2006).

Source: IPCC Fourth Assessment Report, 2007.

It is not a question of obtaining more and more energy, but rather of rationally meeting the needs of mankind and of economic development with less energy, while planning an energy system compatible with ecosystem function

The processes through which energy is transformed and used are related to the social structure and the quality of employment

and the trade balance, global climate and pollution, and social structure, employment and poverty. Therefore, any reflection on the energy model must involve an analysis of how it is connected to these spheres.

Energy and economic growth have historically been very closely linked: economic growth leads to increased energy consumption and a need for more energy. Under the present development model, the availability of energy may condition future economic growth, while this very growth in turn threatens the sustainability of both energy and the environment.

Access to energy is essential for human welfare, because if minimum levels are not reached, the possibilities for development are severely curtailed and living conditions seriously affected. However, after a certain threshold, more energy does not necessarily imply more development, nor much less increased welfare. In this case, as in many others, more is not better, and less may be more. It is not a question of obtaining more and more energy, but rather of rationally meeting the needs of mankind and of economic development with less energy, while planning an energy system compatible with ecosystem function.

The varied social and environmental repercussions caused by energy consumption, most notably climate change, adverse effects on human health and a widespread impact on ecosystems, must be taken into account.

Lastly, the processes through which energy is transformed and used are related to the social structure and the quality of employment. Because of the irregular distribution of resources, the financing and organisational structure required for the use of certain energy sources and the different types of employment they support, any decisions involving the energy model also affect the social fabric and are, in turn, affected by it.

## **2. THE CONVENTIONAL ENERGY MODEL CRISIS**

This complex environment makes the many unsustainable facets of the global and Spanish energy models the more visible.

### **On a global level**

The International Energy Agency's reference scenario (often known as "business as usual", or BAU) predicts that world primary energy demand

will increase by 40% from 2007 to 2030. Fossil fuels would comprise 80% of the global primary energy mix, with oil being the most widely used of these fuels.

To meet this growth in demand while making up for the aforementioned decline, the oil industry would have to develop its drilling capabilities on a large scale by 2030. Can this be done? Since the 1980s, new discoveries have not been sufficient to replenish oil reserves, while the costs of prospecting and drilling are rising because of the need to work in increasingly remote areas, more extreme environments and at greater depths. Worldwide conventional oil yields from currently producing fields are declining by 6.7% a year on average, and the ratio between the energy obtained by drilling for oil and the energy used by this same process is rapidly decreasing, which means that the net energy content of each new additional barrel of reserves is smaller.

Furthermore, the International Energy Agency indicates that cumulative investments of 26 billion dollars would be needed to meet this “business-as-usual” worldwide demand from 2008 to 2030: in other words, an average figure equivalent to an annual investment of 1.4% of the global GDP. The drop in

investments caused by the financial and economic crisis could have serious consequences on energy supply capacity and on fossil fuel prices.

In addition, the increase in demand would entail a significant increase in CO<sub>2</sub> emissions, which in the long term would result in a GHG (greenhouse gas) concentration of 1,000 ppm equivalent CO<sub>2</sub> in the upper atmosphere. Based on the CO<sub>2</sub> concentration arising from the aforementioned scenario, the models predict that the world temperature will rise as much as 6°C on average. This would almost certainly trigger severe climate change whose consequences would be catastrophic, causing irreparable damage to the planet and its inhabitants.

Lastly, the energy model is grossly unfair from a social standpoint. One point six billion people worldwide have no access to modern energy sources, while electricity and the services it supplies (lighting, refrigeration, telecommunications and so forth, all essential to overcoming today’s shocking poverty levels) are unavailable to a further two billion. It is estimated that two point four billion rely on traditional biomass for cooking and heating.

Based on the CO<sub>2</sub> concentration arising from the baseline scenario, the models predict that the world temperature will rise as much as 6°C on average. This would almost certainly trigger severe climate change with deep consequences

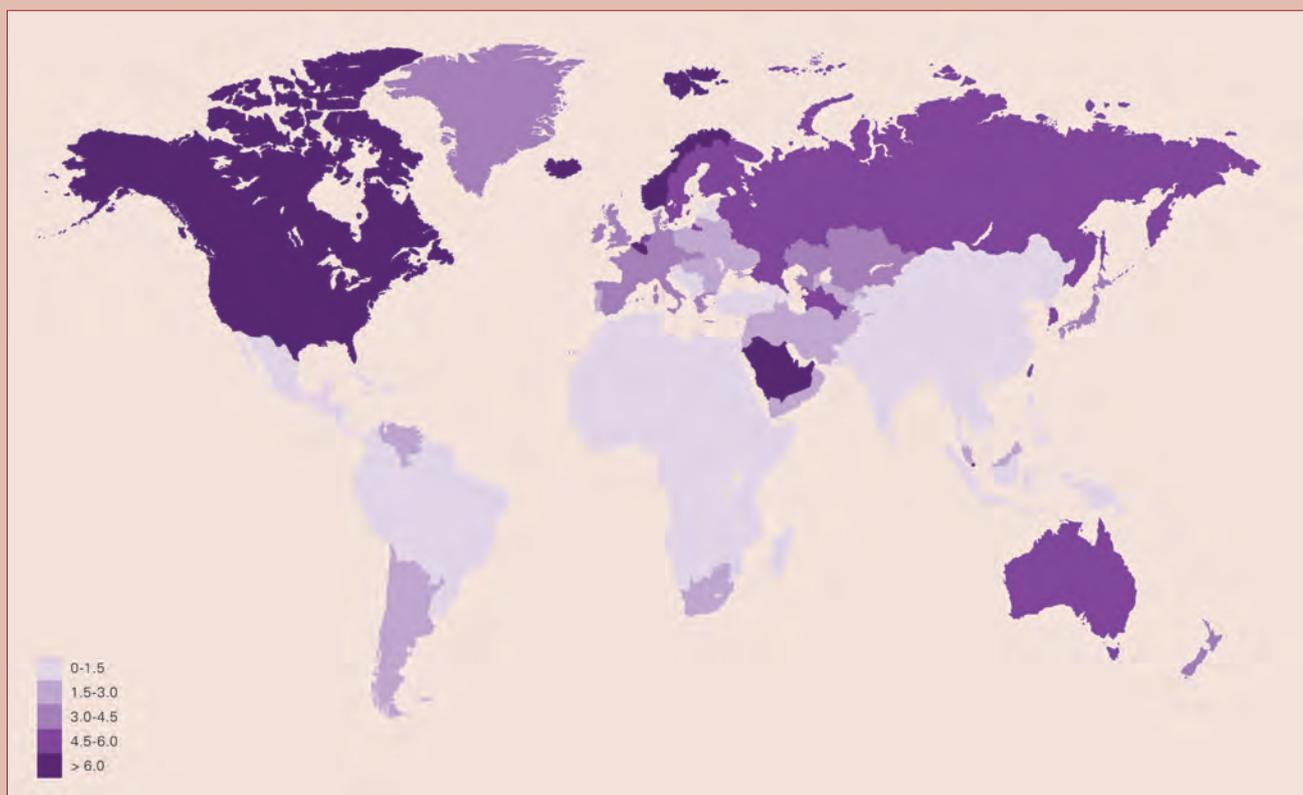
The world energy panorama also exhibits significant imbalances, with excess consumption in some countries and a lack of access in others. The United States, with 5% of the world's population, uses 25% of its energy, or 11.4 kW per capita. Japan and Germany use nearly 6 kW per person, while the average per capita energy consumption in India is 0.7 kW and 0.2 kW in Bangladesh.

The United Nations Millennium Project has emphasized the close relationship between human development and

access to modern energy services, which make it possible to reduce poverty, improve children's health and educational opportunities and promote gender equality. Certain basic human rights are impossible to achieve if these services are not available, and 20% of the world's population is in this situation.

Every country cannot be expected to make the same effort to reduce emissions, because their past and present responsibility for the increase in the atmospheric concentration of greenhouse

**Figure 2. Per capita energy consumption (BP, 2008).**



gases is not the same, nor is their ability to mitigate climate change and adapt to its consequences. This is why the principle of “common but differentiated responsibilities” is important in the climate agenda. This principle requires solutions along the conceptual lines of “Contraction and Convergence”: a reduction in the consumption of energy resources and in emissions by developed countries, and a temporary increase by developing countries until they converge at a sustainable level.

### Spain

The Spanish energy model shows signs of unsustainability very similar to those in the global model: unchecked growth in demand and in CO<sub>2</sub> emissions that only the recent crisis has been able to slow down, and a very high dependence on fossil fuels. Spain’s energy intensity<sup>3</sup> has shown a growth trend overall, unlike the EU-15. Although the recent downturn, which began in 2005, seems likely to continue, the rate of improvement is less than the EU-15 average.

The CO<sub>2</sub> intensity situation is similar. Both per capita energy consumption (140 GJ/person) and per capita CO<sub>2</sub> emissions (9.6 t CO<sub>2</sub>/person), whose

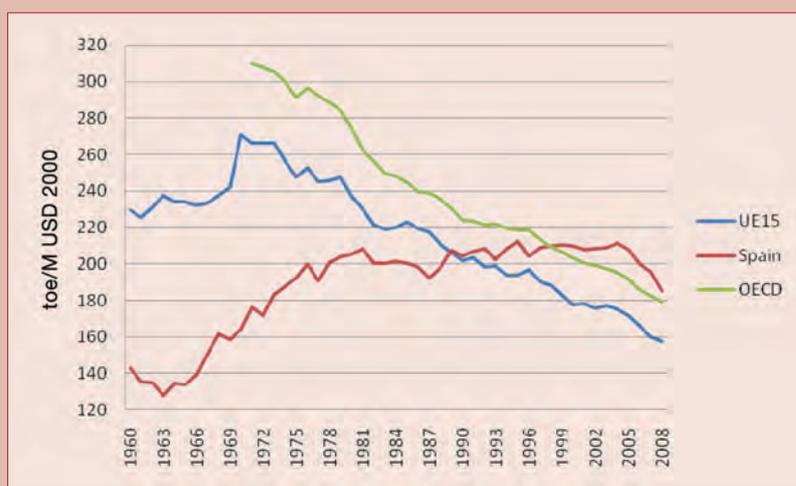
starting figures were lower than the European average, are quickly approaching that level.

Among the demand sectors, transport and “miscellaneous uses” (residential, tertiary and primary) merit special attention. The mobility of travellers and goods has been growing for many years, and only the economic crisis seems to have been able to stop this trend. Road transport leads all other forms by a wide margin, accounting for 89 and 83% of all travellers and goods, respectively. The systematic growth of road transport (and the lack of alternatives) is one of the main threats to the economic and environmental sustainability of the Spanish energy system.

The Spanish economy has revolved around construction-related sub-industries with low

<sup>3</sup> A country’s energy intensity is the ratio between its energy consumption and its GDP. The greater the energy intensity, the lower is efficiency, and vice-versa.

**Figure 3. Energy intensity evolution. (IEA, 2009).**



added value: iron and steel products, cement and bricks. Even in less energy-intensive sectors, such as services, most of the activity is concentrated in the branches that need relatively more energy (hotel and food service industry and retail).

These facts indicate that the Spanish economic model has been based on industries that lead to the unsustainability of the energy system. Construction and low-cost tourism have provided spectacular economic growth, but subject to heavy energy demand. Meanwhile, the most advanced economies among the EU-15 have specialised in high-added-value activities, and have thus been able to reduce their energy intensity and their emissions.

Therefore, it appears that a change to a more environmentally friendly and

socially just energy model, one in which energy savings and efficiency play a key role, is essential. Is this change possible?

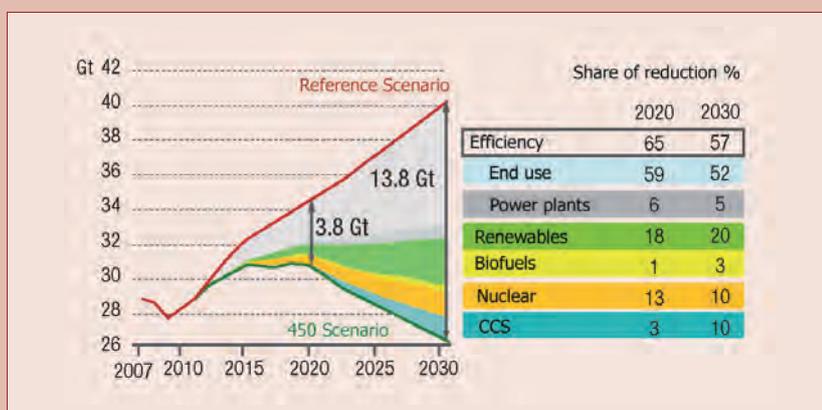
### 3. SOLUTIONS FOR A NEW MODEL

The first step is to acknowledge that a change in the energy model is feasible. For example, on a global level, the International Energy Agency itself has developed an alternative model known as the "450 Scenario"<sup>4</sup>, which proposes a radical transformation of the energy system, to get a relevant reduction of GEI emissions. The figure 4 -below- shows how this reduction in emissions can be achieved in the energy sector. In this proposal, the different technologies for producing electricity play a key role, accounting for around a fifth of the total. However, over half of the reduction is due to improvements in energy efficiency and savings in end uses. These measures include investments to improve efficiency in buildings, industry and transport, with short pay-back periods and even negative net abatement costs.

Similarly, Spain has a high potential for energy savings and improved efficiency,

<sup>4</sup> This refers to 450 parts per million, the maximum atmospheric concentration of greenhouse gases possible if catastrophic climate change is to be avoided.

**Figure 4. Energy-related CO2 emissions in the IEA's two scenarios (IEA, 2009).**



possibly because of the historic neglect of these aims or because reduced consumption cuts into industry profit. Numerous possibilities can be identified for reducing energy consumption, and with it the associated environmental impacts, through actions relating to urban planning, building, transport and electricity demand.

The need to respect the earth's biophysical limitations as well as economic and social profitability means that the solutions aimed at changing the energy model must focus on reducing consumption, both in absolute and relative terms (savings and efficiency, respectively). This report presents many possibilities relating to technology and behavioural changes in all of these sectors, which could reduce energy consumption in Spain by 22% from today's levels by 2030.

### **Building industry**

In the building industry, the optimisation of solar radiation, thermal insulation, ventilation control and heat exchange can generate a reduction in energy demand for HVAC to residual values, close to 10-15 kWh/m<sup>2</sup>. Once the necessary adjustments in demand are made, efficiency in collecting,

transforming, transporting and providing energy to the spaces that need to be improved must be ensured to achieve good energy performance in buildings.

Increasing the percentage of energy applied to meet user needs, in relation to the total amount of energy entering the system, is the aim of energy-efficient installations. The suitability and performance of energy transforming equipment (boilers, HVAC units, etc.), energy transport systems, and delivery equipment (radiators, fans, etc.) intended to meet demand are factors that determine the efficiency of HVAC installations.

In short, it is now possible to imagine the significant decarbonisation of the building industry, once it has been revamped to focus on the bioclimatic improvement of the existing building stock in our cities.

### **Urban planning**

In the sphere of urban planning, the necessary increase in energy efficiency, and, therefore, the reduction of construction-induced emissions must be addressed through the rehabilitation of neighbourhoods and cities as they currently exist, and

These facts indicate that the Spanish economic model has been based on industries that lead to the unsustainability of the energy system

In the sphere of urban planning, the necessary increase in energy efficiency must be addressed through the rehabilitation of neighbourhoods and cities as they currently exist, and through the management of developed areas with an eye to meeting the needs of the public

through the management of developed areas with an eye to meeting the needs of the public. The most decisive factor for success is the conviction of citizens and their support of a move toward a low-carbon society.

The current trend toward a “diffuse” city model creates urban development (suburbs) but not cities. As cities spread, the consumption of resources increases. It seems more than reasonable, then, to abandon the current model and the institutional framework that has supported it.

The conventional Mediterranean city, compact in structure and complex in organisation, efficient in the use of resources and socially stable, constitutes an urban model that could reverse the unsustainable process of the current pattern. This compact model can take the form of new urban cells to improve system functionality, which out-perform the nineteenth-century city block and afford better mobility and access -going from one place to another in the city as efficiently as possible- while freeing up 60 to 70% of the public spaces now used by motor vehicles. These proposed urban cells (equivalent to a “superblock”) would lay the ground for a new mobility model based on alternative modes of transport,

providing access to activities, and basic neighbourhood services with no need to use a car.

This new concept in urban planning must primarily be used to regenerate established cities, as the energy challenge posed can only be adequately met through the efficient management of the current urban fabric and the large-scale refurbishment of the bloated existing building stock.

Studies and proposals have already been developed regarding this course of action, including two reports in this “Spain’s Global Change 2020/50” series<sup>5</sup>, which suggest how to achieve the transformation of today’s metropolises into low-carbon cities.

### **Transport**

In the transport industry, the move toward sustainable urban planning includes not only a reduction in the demand for mobility, but also solutions aimed at decreasing energy demand: reducing the number of vehicles, making it unnecessary to own one to get around; cutting back on the number of trips by promoting multi-destination trips instead of those for a single purpose, or generally avoiding

<sup>5</sup> Spain’s Global Change 2020/50 reports. “Programa Ciudades” [Cities Programme] (2009) published by Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental (CCEIM), Fundación Conama and OSE, and “Sector Edificación” [Building Industry] (2010) published by CCEIM, GBCE and ASA.

unnecessary travel; reducing the number of vehicle kilometres by increasing the occupancy rate of the different means of transport, or shortening the distances from origin to destination; flattening rush-hour peaks to prevent traffic jams at certain times of the day; achieving a balance between the use of private vehicles and public transport, encouraging a shift toward the latter; and advocating non-polluting modes of transport ("soft" modes such as biking and walking, which not only afford environmental benefits but improve the quality of life of cities and promote neighbourhood urban planning, which fosters relationships among the residents).

The report indicates that reductions in final energy consumption on the order of 60% are possible by 2030, compared to 2008.

## **Energy**

The energy industry, in particular the electricity sector, is also ripe with opportunities for improvement on both the supply and demand sides.

On the demand side, there are many ways to significantly reduce energy consumption through a more rational use of electricity, including efficient

management of electricity demand, energy-saving lighting, energy-efficient appliances, advanced HVAC technologies and systems to store and manage energy.

However, a sustainable model cannot be achieved by reducing consumption alone. It will also be necessary to take action in the area of energy transformation technologies, both for heating and electricity and for transport. Electricity generation technologies are particularly important, as they account for an increasingly large share of the system.

On the supply side, renewable energies now afford the greatest advantages from a sustainability standpoint, as fossil fuels and nuclear energy do not seem to be sustainable. Carbon capture and storage proposals are in the trial stage, and it will be necessary to wait a few years to see whether this technology can be brought into general use (not only based on its competitiveness, but also a careful consideration of the many uncertainties yet to be resolved regarding storage capacity and safety). With regard to nuclear energy, the unresolved issues at the core of the present controversies regarding the future of nuclear fission technology are the depletion of uranium reserves, the risks of nuclear proliferation and the

Progress toward sustainable generation now depends on bringing renewable energies into widespread use, gradually replacing conventional sources of power

production of radioactive waste, in addition to the high investment costs with long pay-back periods, which cast serious doubt on its financial viability. Thus, progress toward sustainable generation now depends on bringing renewable energies into widespread use, gradually replacing conventional sources of power. While the costs of some of these alternatives are still high, others, such as wind energy, have already crossed the threshold of competitiveness with conventional technologies. Cogeneration can also contribute significantly because of its greater efficiency.

There is still a lot of room for improvement in the transport industry. If all actions aimed at increasing efficiency were applied to reducing fuel consumption instead of boosting performance, it is estimated that fuel use could be cut by up to 26% by 2035. The aggressive implementation of hybrid technologies (plug-in or otherwise) could yield a 40% reduction in fuel use in cars. With regard to the new types of motors, manufacturers and politicians alike seem to agree that the focus should be on electric and hydrogen fuel-cell vehicles (in fact, the latter are also electric vehicles, although with hydrogen as a storable fuel instead of batteries, which is

later converted into electricity in the fuel cell).

All of the supply and demand alternatives analysed in the report have been combined to create some desirable energy scenarios for 2020 and 2030, which should make it possible to attain a sustainable energy model in the medium term. The necessary change is undoubtedly possible; however, in order to achieve it, the transition from the current situation to the future model must be properly managed.

#### **4. THE DESIRABLE ENERGY SCENARIO FOR SPAIN**

This transition toward the results pursued requires a methodology known as “backcasting”, in which a desired and attainable scenario is envisioned and the steps necessary to arrive at it are then designed.

A variety of scenarios point toward a 100% switch to electricity generation from renewable sources by 2050<sup>6</sup> within a context of increasing the share of electrical energy used by society. The environment for the 2020 scenario is also established by the European energy and climate change package. The 2030 scenario must still be established in order to achieve

<sup>6</sup>This is the case of the 2009 report from Fundación Ideas entitled ‘Un nuevo modelo energético para España. Recomendaciones para un futuro sostenible’ [A new energy model for Spain. Recommendations for a sustainable future], as well as the 2007 Greenpeace report ‘Renovables 100 % . Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica’ [100 % renewable energy. A renewable electricity system for peninsular Spain, and its economic feasibility].

the objectives for 2050 after the 2020 goals have been met. This is expected to be the subject of an interesting debate in coming years. The aim of the proposal contained herein (Spain's Global Change 2020/2030... 2050: Energy, Economy and Society) is to foster this discussion in Spanish society.

To undertake this exercise<sup>7</sup>, two scenarios were developed: a baseline scenario in which only current energy and environmental policies are included, and a more advanced desirable scenario, whose primary aim is to reduce greenhouse gas emissions by 80% of 1990 levels by 2050 (the minimum reduction established by the scientific community to ensure that the atmospheric concentration of GHGs remains below 450 parts per million and the global temperature increases by less than 2°C).

The emission reductions in this scenario are very ambitious, and after 2030, more advanced technologies than the ones currently available will have to be used. Even though new technological solutions have been assumed for the future, the scope of their application from 2030 to 2050 is unknown; therefore, detailed results are only presented until 2030. The aim was to show the makeup of the energy system that

would be necessary in 2030 in order to be able to undertake the achievement of the objectives planned for 2050. As new technologies applicable to this field appear, this model can be updated and projected over time.

These scenarios are not designed to predict the future, but to establish how the future energy system may react when it is subjected to environmental restrictions, with the available technologies and resources.

### **Baseline scenario**

The baseline scenario includes the renewable energy penetration objectives set by the European Union for 2020, in which 20% of final energy consumption must be from renewable sources, and CO<sub>2</sub> emissions must be 20% lower than the 1990 level. To this end, the CO<sub>2</sub> emissions market was taken into consideration for the industries that participate in it; for those that do not form part of this market (the "diffuse" sectors), emissions were limited in accordance with the indications of the Effort Sharing Decision, in other words, a 10% reduction by 2020 compared to 2005 levels. These limits were maintained over the entire modelling horizon. With regard to improvements in energy

<sup>7</sup> The TIMES-Spain energy model, one of the MARKAL-TIMES models developed as part of the International Energy Agency's ETSAP programme (Energy Technology System Analysis Programme), was used for this paper

Two scenarios have been developed: a baseline scenario in which only current energy and environmental policies are included, and a more advanced desirable scenario, whose primary aim is to reduce greenhouse gas emissions by 80% of 1990 levels by 2050

efficiency for 2030, it was assumed that energy consumption in the residential and services sector would decrease by 22% compared to 2000. Efficiency in the transport industry was assumed to improve by 10% compared to the 2009 level; and in accordance with the plans the Government is currently developing for the introduction of electric cars, it was assumed that there would be a total of one million of these vehicles in 2020. In the nuclear energy sector, it was assumed that no new capacity would be added and that existing plants would be shut down at the end of their operating lives, so that there would be no nuclear electricity generation as of 2028.

### **Desiderable scenario**

In the desirable scenario, the same assumptions were used as in the baseline scenario, while additional measures and greater restrictions were included, in particular those regarding CO<sub>2</sub> emissions; these must be reduced by 30% by 2020 and 50% by 2030, compared to 1990 levels (this would make an 80% reduction possible by 2050).

In addition to the improvements in efficiency provided for in the baseline

scenario, the desirable scenario in the residential and services sector included the assumption that half a million dwellings would be refurbished every year until 2050 to save 50% of the energy consumed in 2009, and that the energy demand of all new housing would be 80% lower than current levels. All of these measures taken together would result in savings of 46% in overall energy demand in the residential and services sector in 2050 compared to 2009<sup>8</sup>.

In the transport industry, efficiency was assumed to increase by 22% in 2020 compared to the 2000 level. Furthermore, a significant trend toward electric passenger vehicles was assumed, with 2.5 million of these vehicles in 2020, 5 million in 2030 and 15 million in 2050. It was also assumed that the transport of goods would experience a radical modal shift to rail transport. Thus, 10% of the total goods transport demand would be transferred from road to rail in 2020, 30% in 2030 and 70% in 2050.

Under all these assumptions, primary energy consumption in 2030 in the desirable scenario would be reduced by 23% compared to 2009, and 45% of this energy would come from renewable sources. Nuclear energy vanishes from the energy scene in 2030. Coal and gas account for smaller shares

<sup>8</sup>The initial 2008 and 2009 data shown in the following charts as MIT&T for 2008 and as Annex for 2009 are, respectively, the figures provided by the Ministry of Industry, Tourism and Trade for 2008 and those assumed for 2009 in the Government's "Proposal for a political agreement for the recovery in economic growth and the creation of employment" in the Zubano Pact.

of the total, and oil use declines from 49% in 2009 to 34% in 2030.

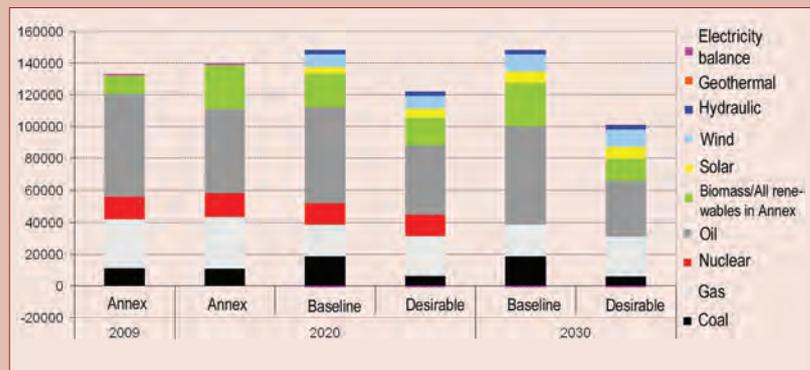
The proposed desirable scenario would make it possible to reduce final energy consumption by 15% in 2030 compared to 2009, while the trend shown in the baseline scenario would lead to an increase of 14% by 2030. The efficiency measures adopted in the different industries and the use of more efficient technologies in the desirable scenario would result in savings of around 30,000 ktoe in 2030 compared to the baseline scenario, which represents 25% of the total final energy consumption in the latter scenario in the same year.

In the desirable scenario, electricity's share of the energy system would increase from 20% in 2008 to 27% in 2030. The results found for the electricity sector show the rapid growth of renewable sources, which by 2020 would already account for over 70% of all electricity in the desirable scenario, rising to 100% in 2030.

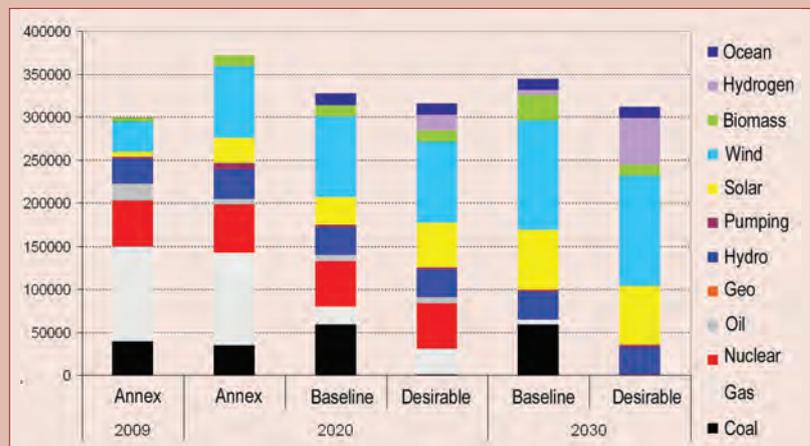
With regard to the breakdown of final energy consumption by industry, the transport sector would move from a 38% share in 2008 to 18% in 2030 in the desirable scenario. This reduction is achieved through the introduction of more efficient vehicles, the change in driving patterns and the modal

change in transport. The share represented by electricity would increase because of the introduction of electric vehicles and the expanded role of railways (usually electrified) in goods transport. Oil use in 2030 in the desirable scenario would drop to half of the level in the baseline scenario. The residential, services and farming sectors would also account for a smaller share of final energy consumption in 2030.

**Figure 5. Primary energy consumption**



**Figure 6. Electricity production**



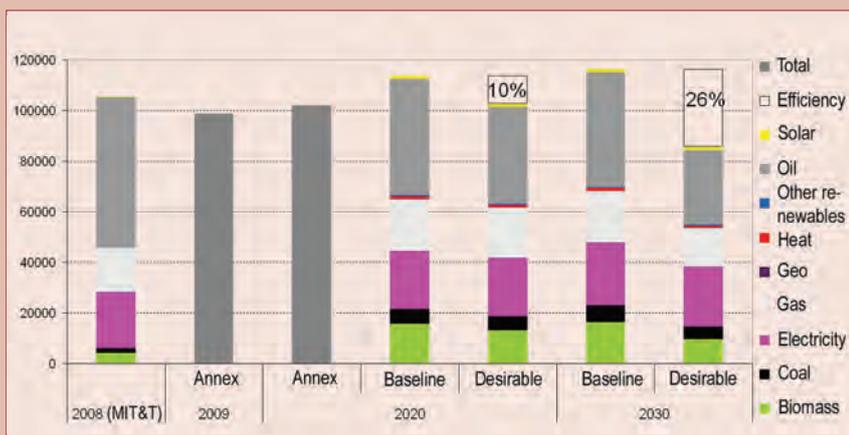
Energy dependence in the desirable scenario would decrease considerably, due to the energy savings and the switch to other sources. Self-sufficiency would increase, rising from 17% in 2008 (nuclear energy is not considered an indigenous source because of technological dependence and the use of imported fuel) to 32% in 2030, while primary energy

consumption would decrease by 22%. Through the combined effect of these two processes, primary energy imports would drop very significantly throughout the model period and by 2030 would be 40% lower than in 2008, a reduction of 42,000 ktoe.

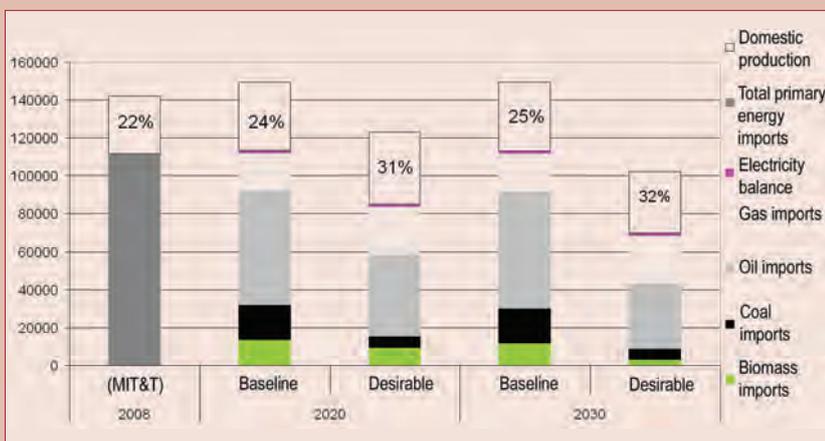
CO<sub>2</sub> energy emissions show a downward trend as a result of the new limitations on the system, reaching an 80% reduction in 2050; to achieve this figure, emissions would decrease by 30% in 2020 and 50% in 2030 in the desirable scenario, always in comparison to 1990, to get a reduction of 80%-90% by 2050.

Lastly, with regard to the economic viability of the proposed scenario, the results show that total energy supply costs for the system are lower in the desirable scenario than in the baseline case, mainly due to energy savings and to the decrease in variable operating costs (11% lower in the desirable scenario) because of the reduction in fossil fuel consumption. Other costs in the desirable scenario, namely, investment and fixed operating costs, are also lower than in the baseline scenario (6% each). Investments would tend to decrease as new technologies, which play a greater role in the desirable scenario, gradually mature and economies of scale improve.

**Figure 7. Final energy consumption.**



**Figure 8. Primary energy imports and level of self-sufficiency.**



**5. HOW TO ACHIEVE THE DESIRABLE SCENARIO: THE POLICIES NEEDED FOR CHANGE**

Once the desirable scenarios, i.e., the sought-after end results, have been identified, it is necessary to define how they are to be achieved, including the roles of the various social actors and the tax, technological and other policies needed to move from the unsustainable existing model to the desirable system of the future. Some of the policies essential to a successful transition are outlined below.

In democracies, civil society is one of the keys to social change, as a sufficient social base must support this change and demand that governments implement it. In their capacity as intermediaries among individuals, society and institutions, social organisations express the interests of civil society, have a decisive influence on a society’s culture and its behaviours and play an important role in social change. Therefore, it is necessary to ensure that civil society is aware of the existing problems and solutions through educational, informative and participative policies, under the principle of common but differentiated

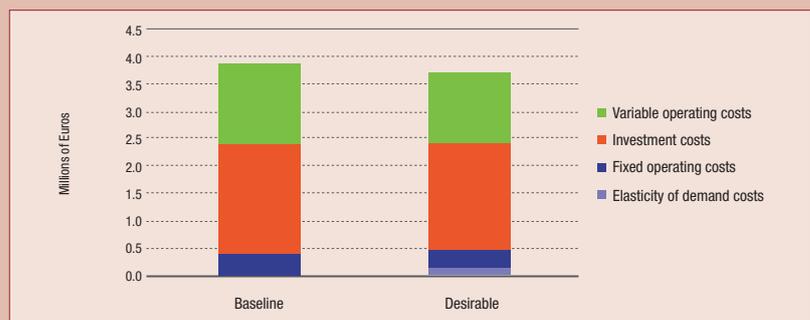
responsibilities. The prospect of a just transition with the committed participation of civil society would facilitate the changes that must take place in social behaviour.

Simultaneously with the campaign to increase social awareness of the need for a new energy model, policies that encourage a change in the right direction must also be designed. In particular, energy prices must include all of the costs involved in its use, to ensure that

**Figure 9. CO2 emissions.**



**Figure 10. Total system costs until 2030.**



A long-term, consensus-based regulatory framework is necessary to afford stability to investors and consumers alike, the key agents for change

The main conclusion of this report is that the transition to a sustainable energy model is not only desirable but also possible

consumers and businesses align their interests with those of society. This would entail a two-fold plan. One action would be the formulation of an agreed-upon energy strategy that would adequately establish the comprehensive aims being pursued, their advantages and disadvantages and the policies needed to achieve them. The other especially advisable measure, and more so at this time, is a green tax reform that would discourage the use of undesirable energy sources through price signals, but would not necessarily involve an increase in the tax burden because of the reduction of other taxes that may even be distorting, such as the ones associated with the labour market.

Unfortunately, price signals and planning alone will not be enough, for a variety of reasons. Account must be taken of the reality of markets and politics, and a higher level of technological development is needed in renewable energies so they can compete on equal terms. Therefore, in addition to the ones mentioned earlier, other policies would be needed to help achieve this development, whether by supporting R&D activities for less mature technologies through public funding or the creation of a favourable

environment for innovation and private initiative, or by creating economies of scale for those that are already at a pre-competitive stage.

Lastly, it is essential to integrate all of these policies and their interactions in the appropriate institutional framework on both a national and international level. The impact of energy and environmental policies on today's increasingly interconnected economies means that a global effort is necessary to coordinate and harmonise these policies. Furthermore, a long-term, consensus-based regulatory framework is necessary to afford stability to investors and consumers alike, the key agents for change. Lastly, it is urgent that efforts be redoubled on an international level to ensure that everyone in the world has access to advanced energy sources as a factor essential to their development.

## 6. CONCLUSIONS

With the convergence of a number of global crises -financial and economic, climatic, energetic and environment-, consideration must be given to their interactions and solutions sought that address all of them

at once. This report proposes solutions from the perspective of the energy sector, an industry that will be key to achieving the change to a more sustainable economy because of its close links with not only the economy itself, but also with the environment and the very fabric of society.

The main conclusion of this report is that the transition to a sustainable energy model is not only desirable but also possible. The fundamental challenge is not to try to find more energy, but to consume less by rationally meeting energy needs through a more efficient system based on renewable energies that is compatible with ecosystem function.

The desirable scenario described in this report is technically and economically feasible as well as environmentally sustainable. With this scenario, it would be possible to greatly reduce Spain's CO<sub>2</sub> emissions and energy dependence while lowering supply costs compared to the traditional situation. It is also ambitious and complex, with objectives that cannot be attained through good intentions alone, or by resorting to past practices and attitudes.

First and foremost, a radical change in the way energy is

transformed and consumed is necessary. Energy savings must be greatly increased and a war on waste waged in all industries, with special emphasis on urban planning, building and transport, in which the consumption- and development-based paradigm must be discarded in favour of one based on sufficiency. Fossil fuels and nuclear energy must also be gradually phased out and replaced by renewable alternatives.

This change will not come about on its own. It will only be achieved through a coherent set of public policies and private initiatives, agreed upon for the long term by all political forces in a process that must start and remain rooted in civil society. Spain's energy future must be widely discussed so that a broad institutional, political and social agreement can be reached on establishing an ambitious, sustainable energy strategy with medium- and long-term objectives. The importance of this issue for Spain's future cannot be overstated.

This report is intended as an initial contribution to this process. The aim was to bring together a good many of the experts on energy matters and sustainability in Spain, in the conviction that the strength and capabilities

Spain's energy future must be widely discussed so that a broad institutional, political and social agreement can be reached on establishing an ambitious, sustainable energy strategy with medium- and long-term objectives

gained through this combination (and not merely juxtaposition) of skills more than makes up for any minor conceptual or stylistic discrepancies that may come to light. Only through pluralistic, transparent, honest and well-informed debate will it be possible to achieve the consensus on the subject of energy that Spain needs to continue to move forward in advancing the welfare of its citizens without compromising the limitations of our finite and vulnerable planet.

05

# **Cambio Global España 2020/50**

Energía, Economía y Sociedad

# 1. CAMBIO GLOBAL 2020/2050. EL PAPEL DE LA ENERGÍA

En un escenario de Cambio Global, como al que asistimos, de entre los impactos que están provocando el deterioro de la biosfera, la cuestión que ha suscitado una mayor atención al conjunto de la sociedad es la del calentamiento de la atmósfera, ligado al denominado Cambio Climático de origen antropogénico.

Este protagonismo probablemente se deba a la constatación de sus primeros efectos, imprevisibles si no se contrarresta con urgencia, y a que las causas que lo originan están íntimamente ligadas al sistema energético mundial, aspecto clave a su vez en el modelo de desarrollo económico y social vigente.

## 1.1. LA BASE DE PARTIDA: PROGRAMA CAMBIO GLOBAL ESPAÑA 2020/50

Como se explica en los créditos, este trabajo forma parte del programa Cambio Global España 2020/50 del Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental (CCEIM) y comparte el objetivo general de **realizar una llamada de atención, desde la sociedad civil, sobre las graves perspectivas derivadas de los cambios ambientales afectados por la actividad humana, así como la necesidad de encontrar soluciones, en este caso, centrando la atención sobre la energía.**

Es este un tema central que ya ha ocupado buena parte de la reflexión en los informes publicados hasta la fecha.

El Informe 0<sup>1</sup> identifica la disponibilidad de energía abundante y barata como motor de desarrollo hacia un "crecimiento sin fin" que ha multiplicado la capacidad de la especie humana para transformar profundamente la naturaleza. Este modelo ha proporcionado importantes beneficios materiales para los seres humanos, a costa de explotar unos recursos finitos, con costes globales muy elevados, provocando profundas alteraciones y el riesgo de cambios no lineales en los ciclos vitales de la biosfera, la degradación de los servicios de los ecosistemas y mayores desigualdades entre diferentes regiones y grupos sociales: la población de los países más desarrollados, consume el 80% de los recursos disponibles, mientras que el 84% tiene que sobrevivir utilizando el 20% restante.

Como se explica en el prólogo de este informe, dejando a un lado cuestiones que también son esenciales como la seguridad del suministro o la dependencia energética-económica, **es necesario abordar una reflexión profunda sobre la energía por su incidencia de forma determinante en dos cuestiones clave del cambio global: la huella ecológica y el Cambio Climático.**

**En la fase de superación de los límites ambientales globales en que nos encontramos, no es posible seguir apostando por el crecimiento económico ilimitado. Es necesario adaptar los sistemas energéticos y oportunidades económicas a un marco con umbrales de carga y límites a la presión humana sobre la**

<sup>1</sup> Cambio Global España 2020's. El reto es actuar. Informe 0. Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid y Fundación CONAMA. Madrid, 2008

**Tierra.** Ello exige renovar las claves y lógicas de fondo de la evolución humana desde una visión integral de los sistemas y ciclos vitales que sostienen la biosfera: principios de suficiencia (¿cuánto es necesario, cuánto posible y cuáles son las prioridades?), de coherencia (actuar adaptándose a las disponibilidades energéticas y a los procesos naturales), de eficiencia (hacer más con menos), de precaución (atención a los efectos inducidos y a los procesos de realimentación)... y todo ello en un marco de equidad social, global y local, que permita alimentar la cooperación general con nuevos marcos éticos, culturales, políticos y legales.

En materia energética, el Informe 0 identifica no sólo que las actuales pautas de gestión de la energía constituyen el principal factor desencadenante del proceso de Cambio Climático, sino también que **el patrón de transformación y uso de la energía, especialmente el de los países más desarrollados, es insostenible en términos económicos, sociales y ambientales.**

La superación del problema energético va a requerir una gran dosis de autocontención en el consumo y una apuesta política decidida por una gestión de la demanda. Ahorro y eficiencia son las palabras clave.

En lo que a España se refiere, se constata el perfil emisor típico de un país industrializado, pero también con abundantes recursos renovables por lo que la apuesta por las energías renovables es un factor clave para reducir la utilización de fuentes energéticas contaminantes y la dependencia energética.

Concluye el Informe 0 que **es a partir de la asunción real del problema, de sus causas y de sus incertidumbres, cuando se podrán plantear en toda su potencia los cambios estratégicos necesarios**, las actuaciones de mitigación, el diseño de escenarios de adaptación, las nuevas soluciones tecnológicas, la reformulación de los actuales patrones de desarrollo... y exigir al conjunto de la sociedad un compromiso definitivo y en plazo con el Cambio Global.

A partir de estas consideraciones generales, los posteriores informes publicados dentro del programa identifican tendencias y soluciones precisas en algunos de los principales ámbitos territoriales –las ciudades– y sectoriales –la edificación y el transporte– y dibujan escenarios deseables que, en lo referido a la energía, serán considerados en el presente informe sobre Energía, Economía y Sociedad.

---

### CIUDADES<sup>2</sup>

En lo que a ciudades se refiere, teniendo en cuenta que los núcleos urbanos son y serán el hábitat de la mayoría de los seres humanos, que las ciudades son parte sustancial del problema -utilizan el 70% de la energía consumida- pero también de la solución, por lo que la batalla de la sostenibilidad se ganará o se perderá en las ciudades, los escenarios deseables contemplados en el apuntan a:

***Para 2050 sería necesario lograr ciudades neutras en emisiones de***

<sup>2</sup> Cambio Global España 2020/50. Programa ciudades. Hacia un pacto de las ciudades españolas ante el Cambio Global. Madrid, 2009. [http://www.conama9.org/bo/bancorecursos/banco\\_imagenes/encuentrolocal/Informe%20CGE-CIUDADES.pdf](http://www.conama9.org/bo/bancorecursos/banco_imagenes/encuentrolocal/Informe%20CGE-CIUDADES.pdf)

**CO<sub>2</sub>, alcanzando, en todo caso, una horquilla de reducción de emisiones entre el 90% y el 100%, respecto a 1990. La reducción del gasto energético urbano sería del 60% con respecto al año 2000 y la contribución de las renovables superior al 80%. Para 2020, la reducción del gasto energético y la participación de las energías renovables se acercarían a porcentajes próximos al 30% en ambos casos lo que permitiría para 2020 una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del orden del 30% respecto a 1990.**

### EDIFICACIÓN<sup>3</sup>

La construcción y el uso de los edificios son responsables del 25% de las extracciones de materiales de la corteza de la Tierra, el 30% del gasto energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, el 20% del consumo de agua potable y entre un 30% y un 40% de la generación de residuos sólidos. Cerca del 17% de la energía final consumida en España lo es en los hogares, y alrededor del 50% de esa cantidad puede estar destinada a climatización y a iluminación, esto es, a la consecución de la habitabilidad doméstica. La explosión de la burbuja inmobiliaria producirá una profunda reestructuración del sector que debe entenderse como una oportunidad para rediseñar un sector básico en la nueva

economía baja en carbono, reformulando el futuro de la edificación desde nuevos parámetros. El sector debe ser redefinido, con objetivos en los horizontes temporales para que efectúe el cambio de rumbo necesario en un tiempo definido:

**Para 2050 debe ser neutral en carbono, con un balance cero de emisiones. A ello debe dirigirse la rehabilitación del parque existente, la gestión de la demanda y del uso de edificios, y la oferta energética de generación.**

**Otros objetivos sectoriales básicos hacia 2050: no incrementar el suelo urbano, reducir la vivienda vacía al 2%, disminuir la demanda de materiales no renovables y la generación de residuos a cero, reducir las emisiones de fabricación de materiales y de uso de los edificios también a cero, y hacer descender el consumo de agua a 55 l/día.**

### TRANSPORTE<sup>4</sup>

El consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero asociada convierten al transporte en el segundo sector en incidencia en el Cambio Climático y en el que más crecen las emisiones. Las disminuciones asociadas a las mejoras técnicas en la eficiencia

<sup>3</sup> Cambio Global España 2020/50. Sector edificación. La imprescindible reconversión del sector frente al reto de la sostenibilidad. Madrid, 2010. [http://www.ucm.es/info/fgu/descargas/cceim/programa\\_edificacion\\_2020\\_2050.pdf](http://www.ucm.es/info/fgu/descargas/cceim/programa_edificacion_2020_2050.pdf)

<sup>4</sup> Cambio Global España 2020. Programa transporte. La urgente necesidad de otras prioridades en los Objetivos, Planes e Inversiones. Madrid, 2009. [http://www.ucm.es/info/fgu/descargas/cceim/programa\\_transporte\\_2020\\_2050.pdf](http://www.ucm.es/info/fgu/descargas/cceim/programa_transporte_2020_2050.pdf)

energética y ambiental no sólo no son compensadas, sino que son fuertemente superadas por el alto incremento en los recorridos. Esto evidencia que las actuaciones en marcha en España son manifiestamente insuficientes para revertir la dinámica de emisión de gases de efecto invernadero acorde con los compromisos internacionales asumidos para el horizonte del 2020.

El informe describe algunos de los escenarios convencionales, pero no establece escenarios deseables y objetivos precisos, sino que enfatiza en las políticas y medidas que se deben priorizar con urgencia:

***Reducir la generación de nueva demanda de transporte interurbano; racionalizar el funcionamiento del transporte de mercancías; adecuar el coste de todos los tipos de transporte a los costes reales que tienen para la sociedad, internalizando sus costes externos, a través de otra fiscalidad y nuevas regulaciones; modificar las prioridades de inversión en infraestructuras de transporte, dirigiéndolas a favorecer al mayor número de usuarios posibles y a potenciar una mayor racionalización en el uso de los recursos disponibles; priorizar las medidas dirigidas a aumentar la seguridad en el transporte; potenciar el vehículo eléctrico para reducir de los efectos externos de los vehículos.***

***Una nueva planificación y gestión territorial, urbanística y del transporte en las regiones funcionales urbanas, áreas metropolitanas y áreas urbanas.***

## **1.2. CONSIDERACIONES GENERALES DEL INFORME**

Abordar una propuesta energética en el contexto del Cambio Global requiere **comprender la convergencia de diversas crisis globales -financiera y económica, climática, energética y ambiental- y considerar sus interacciones** para buscar salidas de conjunto que respondan simultáneamente a todas ellas.

Las propuestas de Naciones Unidas en torno a cuestiones como el Cambio Climático, la economía de los ecosistemas, los Objetivos del Milenio para combatir la pobreza, los empleos verdes y sus iniciativas a favor de un 'Green New Deal' o Nuevo Acuerdo Verde para salir de la actual situación, ofrecen una coherencia en las respuestas a las diversas crisis, no sólo para relacionar soluciones compatibles en esferas como la biodiversidad, el clima, la economía, la energía y el empleo, sino también para encontrar simultáneamente soluciones válidas tanto para los países industrializados, como para los "emergentes" y los menos desarrollados.

El informe analiza las causas por las que el modelo energético convencional es insostenible. No sólo aborda los impactos ambientales de la generación y uso de la energía sino también sus implicaciones en el desarrollo económico y la importancia del acceso a la energía en la vertebración social y en el empleo. De ahí que se haya querido asociar las dimensiones económica y social de la energía en el título mismo del informe.

**La crisis energética está tan íntimamente relacionada con la crisis climática y ambiental que se sitúa en el centro de los desafíos y de sus**

**soluciones.** El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), organismo científico de Naciones Unidas para abordar la agenda climática, ha señalado que a partir de un calentamiento global superior a 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, las consecuencias del Cambio Climático serán desastrosas e imprevisibles.

Para evitar que el aumento de la temperatura media del planeta sea mayor recomienda que la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se estabilice en un nivel inferior a las 450 partes por millón de CO<sub>2</sub>eq<sup>5</sup>. Y también señala que para limitar la concentración de gases de invernadero a las mencionadas 450 ppm los países desarrollados deberían reducir sus emisiones entre un 80 y un 95% para 2050 con relación a 1990<sup>6</sup>.

Teniendo en cuenta que la energía es responsable del 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, una economía baja en carbono y ambientalmente sostenible es también una economía con menor consumo de energía y requiere un cambio profundo en las formas de generar y consumir la energía.

El cambio de modelo energético es un vector principal del cambio hacia **un nuevo modelo de producción y consumo en el que se modificarán no sólo los procesos de generación de energía primaria y electricidad, sino también los procesos de consumo**, afectando radicalmente a sectores como la edificación, la industria y el transporte.

El cambio de modelo energético, al ir asociado a un cambio de modelo productivo, introduce una nueva perspectiva sobre el empleo, con nuevos resultados. Por un lado, con la creación de cientos de miles de nuevos empleos verdes en el propio sector energético a través de las energías renovables. Por otro, con el mantenimiento de empleo existente, ahora insostenible y muy vulnerable, al transformarlo en empleo sostenible; por ejemplo en sectores como la construcción cambiando hacia la edificación respetuosa con el medio y sus recursos o como el automóvil y su industria auxiliar, donde políticas más razonables de movilidad llevarán a cambios como la electrificación del transporte y los vehículos.

El presente informe no se limita al sistema eléctrico sino que pretende abordar el conjunto del sistema energético, en el que la electricidad es una parte. Tampoco se limita a abordar la fase de generación, sino que aborda las opciones tanto en el campo de la oferta como en el de la demanda. El ahorro y la eficiencia energética adquieren así una nueva dimensión.

Se trata de que el conjunto de las actividades productivas y de servicios reduzcan drásticamente su intensidad energética y su consumo total. En particular, en este informe se quiere hacer énfasis en el ahorro –es decir, en la reducción de energía y emisiones en términos absolutos– y no sólo en la eficiencia, necesaria siempre, pero no suficiente. Consiste, por tanto, en ser

<sup>5</sup> El CO<sub>2</sub>eq (CO<sub>2</sub> equivalente) resulta de computar todos los gases de efecto invernadero contemplados en el Protocolo de Kioto (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, perfluorocarbonados, hidrofluorocarbonados y hexafluoruro de azufre) teniendo en cuenta su diferente potencial de efecto invernadero tomando como referencia el CO<sub>2</sub> (por ejemplo, dado que el metano tiene un potencial de efecto invernadero aproximadamente veintiuna veces superior al dióxido de carbono, cada unidad de CH<sub>4</sub> se considera como 21 de CO<sub>2</sub>eq).

<sup>6</sup> Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter13.pdf>

eficaces, usando sólo lo necesario, y eficientes, haciéndolo en las menores cantidades posibles.

Existen numerosas posibilidades de reducción del consumo energético –y de los impactos ambientales asociados– desde el urbanismo, la edificación, el transporte, o la demanda de electricidad. Esta reducción puede lograrse tanto en términos absolutos (ahorro) como en términos relativos (eficiencia). Para la elaboración del informe se han estudiado muchas posibilidades tecnológicas o de cambios de comportamiento en todos estos sectores, con el objetivo de reducir el consumo neto de energía primaria en España.

Por otro lado, al objeto de poder alcanzar los niveles requeridos de reducción de emisiones, será necesario también acometer cambios en el sector de la oferta de energía: la generación de calor y electricidad y la propulsión de los vehículos. Se estudiarán las posibilidades de las diversas opciones tecnológicas, para generar la energía necesaria de forma limpia y segura.

Todas estas alternativas de oferta y demanda se han combinado para construir el escenario energético más idóneo. El cambio de modelo energético es un proceso a corto, medio y largo plazo que requiere de objetivos y escenarios intermedios y de futuro, para lo que se deben considerar los diversos escenarios internacionales y nacionales existentes.

---

***La clave del recorrido hacia un modelo energético sostenible es la apuesta por escenarios energéticos de futuro apropiados, como opción estratégica clave para España.***

***Esto exige optar, desde ahora, por los escenarios deseables más convenientes -to choose or to loose- teniendo en cuenta las perspectivas internacionales y considerando además la necesidad de salir de la crisis global con un modelo productivo y de consumo orientado al futuro.***

***Y esta opción debe ir acompañada por una adecuada gestión de la transición entre la situación actual y el modelo deseado.***

---

Esta transición para lograr los objetivos deseados requiere una metodología ‘backcasting’ o retrospectiva, situando primero el escenario deseable dentro de lo posible y a partir de ahí diseñando las medidas necesarias para alcanzarlo.

El entorno del escenario 2020 está establecido por el llamado Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático y por los actuales y futuros compromisos europeos de reducción de emisiones de GEI entre el 20% y el 30% con respecto a 1990. Diversas elaboraciones de escenarios europeos y españoles establecen la posibilidad de alcanzar en las próximas décadas el 100% de generación eléctrica a partir de fuentes renovables, en un contexto de mayor electrificación de la sociedad.

La propuesta “Cambio Global España 2020/2030...2050: Energía, Economía Sociedad” parte de considerar las posibilidades estudiadas en los campos de la demanda y de la oferta, y de elaborar un escenario que debería permitir alcanzar un modelo energético sostenible en 2050, en el que las emisiones de GEI se hayan reducido el 80% con relación a 1990.

La elaboración de dicho escenario, al que se ha denominado “escenario deseable”, se realiza a través de un sistema modelizado, utilizando la herramienta de simulación energética TIMES-Spain, de la familia MARKAL-TIMES, desarrollada dentro del programa ETSAP de la Agencia Internacional de la Energía.

El establecimiento de adecuados procesos de transición será clave para alcanzar el escenario deseable, lo que requiere articular las políticas

regulatorias, fiscales y educativas correspondientes.

La acción política, sin ser suficiente, es condición absolutamente necesaria para operar el cambio hacia un modelo energético sostenible. Dicha acción requiere: en primer lugar, articular un fuerte compromiso con el escenario energético correspondiente; en segundo, que ese compromiso constituya un sólido consenso político y social a medio plazo; y finalmente, que se adopten las medidas

**Tabla 1.1. Rango<sup>a</sup> de diferencia entre las emisiones en 1990 y las emisiones permitidas en 2020/2050, para diferentes niveles de concentración de GEI, para los países del Anexo I y los del no-Anexo I. Fuente: Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, 2007.**

Escenario	Región	2020	2050
A-450 ppm C02-eq <sup>b</sup>	Países Anexo I	-25% a -40%	-80% a -95%
	Resto países	Desviación significativa respecto a la línea-base en América Latina, Oriente Medio, Asia Oriental y Asia Central	Desviación significativa respecto a la línea-base en todas las regiones
B-550 ppm C02-eq	Países Anexo I	-10% a -30%	-40% a -90%
	Resto países	Desviación respecto a la línea-base en América Latina, Oriente Medio y Asia Oriental	Desviación respecto a la línea-base en la mayoría de las regiones, especialmente en América Latina y Oriente Medio
C-650 ppm C02-eq	Países Anexo I	0% a -25%	-30% a -80%
	Resto países	Dentro de la línea-base	Desviación respecto a la línea-base en América Latina, Oriente Medio y Asia Oriental

**Notas:**

<sup>a</sup> El rango agregado se basa en múltiples aproximaciones de aportación a las emisiones entre las distintas regiones del mundo (contracción y convergencia, multietapas, objetivos de intensidad, entre otros). Cada enfoque tiene diferentes hipótesis sobre la vía, los esfuerzos específicos de cada país y otras variables. Los casos extremos en los que países se comprometen a reducir el total de emisiones no están incluidos. Los rangos que aquí se presentan no entran en la viabilidad política, ni reflejan las variaciones de costes.

<sup>b</sup> Sólo los estudios con vistas a la estabilización en 450 ppm de C02-eq asumen una desviación al alza (temporal) en alrededor de 50 ppm (Ver Den Elzen y Meinshausen, 2006).

correspondientes y coherentes con el cambio de modelo productivo y de modelo energético para una economía baja en carbono y ambientalmente sostenible.

Esta acción política debería estimular cambios de comportamiento en los agentes económicos y sociales respecto a las decisiones productivas y de consumo. De ahí la importancia de definir instrumentos regulatorios e institucionales en esa dirección. La articulación de sistemas eficaces de participación social es condición para un cambio que necesita movilizar a toda la sociedad y establecer los adecuados procesos de transición justa: la sostenibilidad es también-y no de forma marginal-un asunto de democracia.

### 1.3. ESTRUCTURA DEL INFORME

De acuerdo con las ideas presentadas, este informe analiza en primer lugar las interacciones entre energía, economía, medio ambiente y sociedad, asumiendo que la energía es un vector fundamental para el cambio en los otros aspectos. A continuación se evalúa la insostenibilidad del modelo energético global y español, para posteriormente detallar las alternativas que, desde la demanda y desde la oferta, existen para tratar de lograr la sostenibilidad del modelo. Estas alternativas se combinan en unos escenarios energéticos deseables para 2020 y 2030, lo que constituye el núcleo del informe, en cuanto que materializa las propuestas para un modelo energético sostenible para España. La siguiente sección plantea las acciones a llevar a cabo para lograr el escenario deseable: acciones de educación, concienciación y toma de

decisiones; acciones fiscales, tecnológicas y de marco institucional. Finalmente se resumen las principales conclusiones y recomendaciones para lograr un modelo energético sostenible para España.

Es importante señalar que, aunque evidentemente la transformación y el uso de la energía vienen determinados en gran parte por el modelo económico vigente, en este informe se analizarán únicamente los aspectos específicamente energéticos, ya que el análisis de la situación y escenarios deseables del modelo económico global excede en mucho el alcance del trabajo solicitado y los medios disponibles.

**Esta es una obra colectiva por naturaleza. Tal como se reitera a lo largo del documento, el cambio de modelo energético sólo es posible si se acomete conjuntamente por toda la sociedad civil en sus múltiples vertientes**, y este informe trata de dar ejemplo de ello mediante su autoría colectiva. Nuestro objetivo ha sido tratar de reunir buena parte de las voces principales en materia de energía y sostenibilidad en España, con el convencimiento de que la riqueza y la fuerza que proporciona esta unión de capacidades -que no mera yuxtaposición- compensa de sobra las pequeñas discrepancias conceptuales o estilísticas que se puedan identificar.

## 2. LA ENERGÍA COMO VECTOR DEL CAMBIO GLOBAL

El cambio de modelo energético se convierte en un vector principal del cambio hacia un nuevo modelo global más respetuoso con el medio ambiente y la sociedad.

Sin embargo, es imposible analizar la energía de forma aislada. Precisamente, parte de su fuerza como vector de cambio viene de su compleja e intensa relación con la economía, el medio ambiente o la configuración social. En esta sección se analizan estas relaciones.

### 2.1. ENERGÍA Y VERTEBRACIÓN SOCIAL

#### 2.1.1. Energía y configuración político-social

El acceso a la energía es esencial para el desarrollo social ya que determina las posibilidades de desarrollo económico y las condiciones de vida. Incluso la configuración de situaciones políticas y militares geoestratégicas está influenciada por cuestiones energéticas. Por otro lado, la distribución de los recursos energéticos establece las posibilidades de partida para su disponibilidad<sup>7</sup>.

El otro condicionante principal es el grado de desarrollo tecnológico y económico que permite o no transformar la existencia de recursos

energéticos potenciales en energía disponible. Incluso para las energías fósiles el grado de desarrollo tecnológico y económico es determinante, lo que hace que algunos países con grandes recursos en petróleo o gas sean totalmente dependientes de la tecnología e inversiones exteriores y la explotación de los recursos no redunde en beneficio de su población, economía y desarrollo<sup>8</sup>.

**La concentración de recursos energéticos, particularmente petróleo y gas, tiene consecuencias políticas y geoestratégicas decisivas por la importancia del control sobre tales recursos**, lo que ha llevado a desencadenar conflictos bélicos y situaciones de dependencia político militar para muchos países en desarrollo y a propiciar en ellos regímenes autoritarios o dictatoriales para asegurar dicho control.

A su vez, la evolución de las tecnologías energéticas ha tenido incluso una notable influencia en el desarrollo armamentístico, modificando el potencial de combate y la capacidad de destrucción, así como la movilidad estratégica de tropas y los escenarios bélicos. La relación más relevante en la actualidad es el riesgo de proliferación nuclear asociada al enriquecimiento de uranio en reactores nucleares de ciclo cerrado.

<sup>7</sup> Así, los recursos fósiles están sujetos a una distribución geográfica caracterizada por la irregularidad y la concentración en determinadas áreas geográficas. En el caso de la energía hidráulica, la combinación del relieve topográfico y el régimen de precipitaciones condicionan la disponibilidad de este tipo de energía. Incluso el acceso a energías renovables como la eólica o solar, mucho más distribuidas en casi todos los países, depende de la existencia de viento, de las características de la irradiación solar o del territorio útil para su instalación.

<sup>8</sup> Las energías renovables cuyos recursos potenciales están ampliamente distribuidos no escapan a este condicionante lo que explica su desarrollo tan desigual entre países desarrollados y en desarrollo, dependiendo de las capacidades tecnológicas y económicas para implantarlas.

### 2.1.2 Equidad en el acceso a la energía

La energía es un bien esencial para el desarrollo humano. **Para muchos países, la precariedad en el acceso a la energía supone un importante lastre en su desarrollo humano**, reduciendo las oportunidades de sus habitantes para desarrollar una vida digna y saludable. De hecho, los datos muestran cómo para niveles económicos bajos el índice de desarrollo humano (IDH) está muy relacionado con el consumo per cápita de energía disponible.

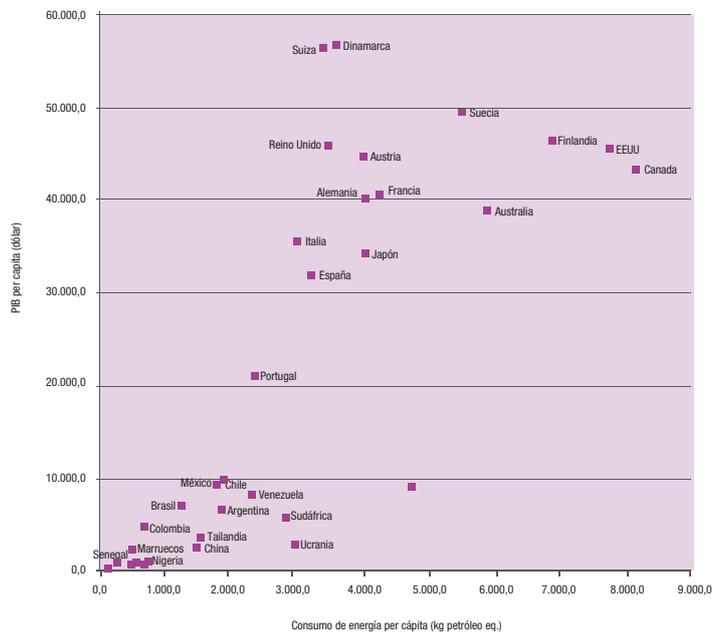
Globalmente, 1.600 millones de personas no tienen acceso a fuentes de energía modernas, 2.000 millones no tienen acceso a la electricidad ni a los servicios que ésta abastece (iluminación, refrigeración, telecomunicaciones y otros usos, todos básicos para superar los niveles de pobreza) y se calcula que unos 2.400 millones dependen de la biomasa tradicional para cubrir sus necesidades energéticas para cocinar y calentarse.

Además, hay diferencias muy significativas en el panorama energético mundial, con una situación de sobreconsumo en unos países y de falta de acceso en otros: Estados Unidos, que consume el 25% de la energía mundial y cuenta con un 5% de la población mundial, gasta 11,4 kW por persona; Japón y Alemania consumen prácticamente unos 6 kW por persona; mientras que en la India y en Bangladesh, el consumo medio de energía por persona es de 0,7 kW y 0,2 kW respectivamente.

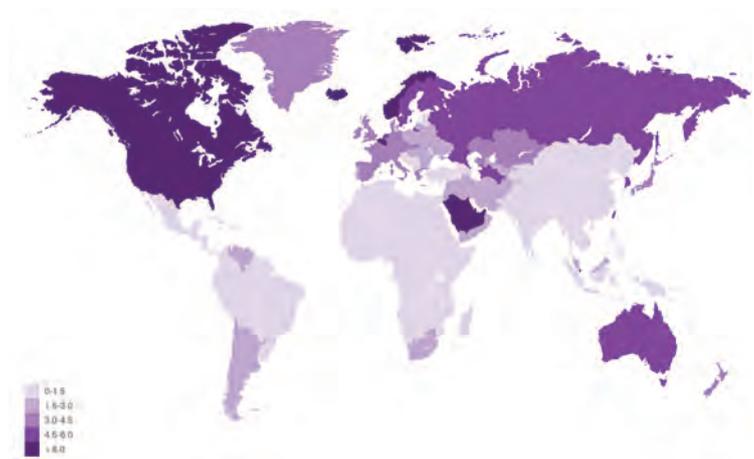
En los países menos desarrollados, un porcentaje creciente de su PIB tiene que ser dedicado a importaciones de energía, en vez de dedicarse a dar respuesta a las necesidades básicas y

reducir la pobreza. Estos países están especialmente expuestos al aumento del precio de la energía.

**Figura 2.1. Consumo de energía per cápita (kg de petróleo equivalente) y PIB per cápita (países seleccionados). Fuente: Elaboración propia según datos de la Agencia Mundial de la Energía y el Banco Mundial, 2007.**



**Figura 2.2. Consumo de energía per cápita. Fuente: British Petroleum, 2008.**



### **Garantizar la distribución de energía y la cobertura de las necesidades energéticas mínimas de las personas y las comunidades resulta esencial.**

Un acceso a mejores servicios energéticos tendrá efectos positivos sobre la productividad y el crecimiento económico, permitiendo así a los países aumentar su nivel de vida con lo que podrán disfrutar de mejores sistemas educativos, servicios sanitarios, comunicaciones y más empleo. El suministro de energía es, por tanto, un eje central para cubrir las necesidades básicas.

Son varias las iniciativas que desde diversos organismos se han puesto en marcha para intentar paliar la situación. En este sentido, desde 2002 se comienza a enlazar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) aprobados por la Asamblea General de la ONU en el año 2000, con el acceso a la energía<sup>9</sup>.

Al reto de conseguir el cumplimiento de los ODM se le une el reto del desarrollo sostenible, produciendo y utilizando energía de forma que sustente el desarrollo humano en todas sus dimensiones.

## **2.2. ENERGÍA Y DESARROLLO ECONÓMICO**

### **2.2.1. Introducción**

Históricamente, la relación entre energía y crecimiento económico ha sido muy estrecha. Al fin y al cabo, el

papel de la energía en la producción tiene una base científica clara basada en las leyes de la termodinámica. Estos principios implican que la energía es necesaria, al menos en una cantidad mínima, para la transformación de la materia que conlleva la mayoría de los procesos productivos<sup>10</sup>.

Aunque esta correlación no implica necesariamente causalidad, sí indica que la relación se establece en los dos sentidos. Por un lado el crecimiento económico lleva a un mayor consumo energético y, por otro lado, el crecimiento económico precisa de un mayor volumen de energía. Por tanto, bajo el modelo de desarrollo actual, la disponibilidad de energía puede condicionar el crecimiento económico futuro; y a su vez el mismo crecimiento amenaza la sostenibilidad energética y ambiental.

Así pues, **parece imprescindible, por una parte, desacoplar en lo posible el consumo de energía del proceso de crecimiento económico -lo que habitualmente se conoce como desmaterialización-; y por otra, replantear el modelo de crecimiento mismo.** En cualquier caso, es necesario reflexionar sobre el papel de la energía como factor de producción y como elemento de desarrollo, y analizar las teorías de la desmaterialización como respuesta al primer reto.

En este sentido, es importante distinguir entre la desmaterialización en términos relativos y absolutos: generalmente la desmaterialización se ha analizado en términos de consumo

<sup>9</sup> De esta manera, el acceso a los servicios energéticos ayudarían a erradicar la pobreza aumentando la productividad con el uso de maquinaria; a lograr la educación primaria universal y la igualdad de género facilitando el uso de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones; y a reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna y ayudar a combatir enfermedades facilitando el funcionamiento de los centros de salud.

<sup>10</sup> Una buena medida para ilustrar esta relación entre energía y crecimiento económico (medido como Producto Interior Bruto) es la correlación entre el ciclo económico de ambas variables. En la economía española esta correlación se sitúa por encima de 80% en las dos últimas décadas, veinte puntos por encima de la registrada para el total de los países de la OCDE.

energético per cápita o por unidad de PIB -es decir, en términos relativos o de eficiencia energética-. Sin embargo, esto no necesariamente implica la reducción de las emisiones o del consumo de energía, en términos absolutos, tal como es necesario para alcanzar la sostenibilidad ambiental -lo que se conoce habitualmente como ahorro-. En este informe se pretende dar más énfasis a este segundo aspecto, por su evidente necesidad.

En muchas ocasiones, el desarrollo de nuestros cálculos y razonamientos nos conducirá hacia la necesidad del replanteamiento del modelo económico, aunque esta profundización sobrepasa el objeto de este informe.

### 2.2.2. Energía como factor de producción

La teoría económica recurre a modelos en los que la producción se obtiene por la combinación de una serie de factores productivos, entre los que destacan el capital y la energía, además del factor trabajo, para explicar la generación de valor.

En este proceso, la sustitución factorial entre capital y energía medida por la elasticidad de sustitución entre ambos factores, cobrará un papel fundamental. El valor de esta elasticidad nos indicará en qué medida podemos reducir el uso de energía -en términos absolutos- sin afectar al nivel de la producción. Así, un valor elevado implicará que la sustitución es sencilla, lo que relajaría los límites de la disposición física de energía para el crecimiento; mientras

que un valor bajo reflejaría que la energía es un recurso esencial que no puede ser fácilmente sustituido por otros *inputs*.

Sin embargo, la evidencia econométrica respecto a si capital y energía son complementarios o sustitutivos es contradictoria. Algunos trabajos apuntan a que estos factores serían sustitutivos en el largo plazo y complementarios en el corto plazo<sup>11</sup>.

Este resultado conduciría a la utilización de modelos en los que se considera toda una variedad de bienes de capital que se combinan con energía en diferentes proporciones fijas. Estos modelos suponen una baja elasticidad en el corto plazo pero mayor en el largo plazo, al poder sustituir entre diferentes tipos de capital en función de su intensidad energética (modelos *putty-clay*). La literatura recoge también otro tipo de modelos (modelos *putty-putty*) que implican una gran complementariedad entre capital y energía, o lo que es lo mismo, poca sustitución.

La utilización de uno u otro tipo de modelos supone grandes diferencias en cuanto a la cuantificación, por ejemplo, de los efectos potenciales de un impuesto energético sobre la actividad económica<sup>12</sup>.

**Analizar los límites que la energía puede imponer al crecimiento implica ocuparse de una cuestión fundamental como es el ahorro y la eficiencia energética.** Debemos abordar esta cuestión tanto en términos de los requerimientos de energía primaria necesarios para

<sup>11</sup> Véase, por ejemplo, Apostolakis (1990).

<sup>12</sup> Véase Atkeson y Kehoe (1999).

producir una unidad de PIB, como en términos de la composición del mix energético, buscando fuentes energéticas más eficientes.

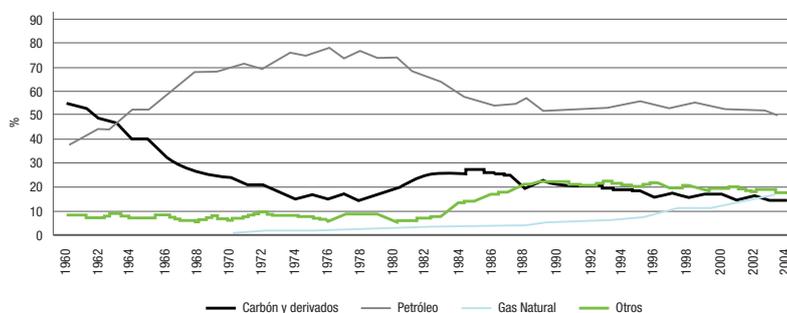
La mejora del ahorro y la eficiencia energética está relacionada con factores como:

- el poder satisfacer las necesidades humanas con una menor cantidad de energía, algo que requiere en general hablar de servicios funcionales (iluminación, confort ambiental, cercanía, etc.) y no tanto de productos energéticos. Esta sería la tesis de la economía de la funcionalidad, basada en los servicios que aportan los productos y no a la inversa.
- la posibilidad de sustituir energía por otros factores de producción, especialmente capital, dentro del proceso productivo. Sin embargo, esta capacidad de sustitución tiene límites, dado que capital y energía son complementarios. En particular si miramos a las máquinas en términos de generaciones de capital, éstas tendrían unos

determinados requerimientos energéticos. Es más, para una tecnología dada, la relación entre capital y energía sería constante, con lo que incrementar la escala a través de aumentos del capital, nos llevaría a incrementos del uso de la energía en una proporción similar.

- enlazando con el punto anterior, la relación entre energía y capital puede reducirse a través del progreso tecnológico, en la medida en que las innovaciones tecnológicas conduzcan a la aparición de generaciones de capital con menores requerimientos energéticos. No obstante, la cuestión se trasladaría entonces a preguntarnos hasta qué punto se puede reducir el requerimiento energético por unidad de PIB debido al avance tecnológico.
- hay otra forma de sustitución que también permite avanzar en la eficiencia como es la composición del mix energético. Centrar la atención en la composición de la energía primaria es importante en dos sentidos. Por una parte, es fundamental analizar la evolución de las fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles, respecto a las fuentes renovables. Así, una mayor participación de las energías renovables es necesaria para poder avanzar en la sostenibilidad a largo plazo del crecimiento. Por otra parte, es importante que fuentes de energía menos eficientes, como puede ser el carbón, dejen paso a fuentes de mayor calidad energética.

**Figura 2.3. Evolución de la composición de la oferta energética primaria en la economía española. Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2009.**



En la figura 2.3 vemos como ha sido la evolución de la composición de la oferta energética primaria en la economía española<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Uno de los aspectos más destacables ha sido el proceso de reducción del peso del carbón y del petróleo, en favor de otras fuentes como el gas natural, la energía eólica, la energía solar y la biomasa.

### 2.2.3. La desmaterialización energética

Como se mencionaba antes, históricamente los países más desarrollados han experimentado crecimientos continuos de la demanda energética, con excepción de algún año concreto que por razones coyunturales la demanda se ha reducido<sup>14</sup>.

En casos de fuerte *shock* de precios o contracción de la oferta (como, por ejemplo, el racionamiento brasileño), la demanda se ha reducido, pero la evidencia muestra que estos episodios han incentivado la innovación, el uso de otras fuentes alternativas y una vuelta a la senda de crecimiento.

Por otro lado, **se ha producido un aumento muy importante en la eficiencia energética de los países, pero estas mejoras no han sido lo suficientemente importantes como para compensar el aumento de la demanda** -de nuevo, la relevancia entre los términos relativos y absolutos de consumo de energía-. En este contexto, **el debate sobre si se está produciendo o se producirá una desmaterialización del crecimiento económico es muy relevante**<sup>15</sup>.

Entre los factores que provocan la desmaterialización de las economías se

encuentran la mayor conciencia medioambiental y la educación, que revierten en una demanda de más calidad medioambiental, y el aumento de las regulaciones medioambientales<sup>16</sup>.

Las teorías de desmaterialización han sido ampliamente criticadas y rechazadas por varios motivos. Por un lado, muchos estudios sobre la desmaterialización no representan explícitamente la demanda, el cambio tecnológico o el cambio estructural y no utilizan las metodologías que pueden probar la presencia y el peso relativo de estas fuerzas.

Para algunos autores los precios energéticos explican la evolución de la intensidad energética (IE) en muchos países y su inclusión desmonta las teorías de la desmaterialización<sup>17</sup>. Además, una mejora de un indicador puede explicarse por el comportamiento negativo de otro indicador (por ejemplo, un incremento de la energía nuclear reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> pero genera residuos radioactivos).

Las técnicas utilizadas para examinar las "tendencias" en series temporales y comparaciones entre países carecen a menudo de rigor estadístico<sup>18</sup> y no incluyen el efecto "rebote" por el que mejoras en eficiencia generan un

<sup>14</sup> Balances Energéticos de la Agencia Internacional de la Energía, 2009.

<sup>15</sup> Los defensores de las teorías de desmaterialización (entre otros: Jänicke et al., 1989; Panayotou, 1993; Bernardini y Galli, 1993; Galli, 1998; Judson et al., 1999; Medlock y Soligo, 2001) argumentan que los países muestran una curva medioambiental en forma de "U" invertida (denominada la Curva Medioambiental de Kuznets, CKA en sus siglas en inglés), por lo que, llegado un nivel de renta per cápita, el crecimiento económico conlleva una reducción del daño ambiental o del consumo energético. La desmaterialización energética, que se puede medir con el indicador de la intensidad energética (IE), evalúa el consumo energético por unidad de producto interior bruto. Dado que el 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de la combustión energética, existe un paralelismo evidente entre el indicador de la IE y la CKA.

<sup>16</sup> Otros investigadores explican la desmaterialización desde la teoría de la utilidad marginal, por lo que a partir de ciertos niveles de renta per cápita la utilidad marginal de la reducción de la contaminación será superior al beneficio del incremento del consumo (Stokey, 1998). Y otros autores demuestran que la CKA se puede cumplir en el corto plazo con contaminantes con efectos locales, donde los impactos ambientales y sobre la salud son más claros y los costes de actuación menores (como es el caso del SO<sub>2</sub>), mientras que en el caso de contaminantes con efectos más globales, a más largo plazo y cuya reducción es más complicada (como es el caso del CO<sub>2</sub>), los impactos ambientales aumentarían con el nivel de renta (Roca y Padilla, 2003).

<sup>17</sup> Richmond y Kaufmann, 2006.

<sup>18</sup> Cleveland y Ruth, 1999; Smil, 2003.

aumento posterior del consumo energético total<sup>19</sup>.

Utilizar la media de la renta per cápita tampoco es representativo de la población, puesto que una parte importante de ésta se sitúa por debajo del nivel medio, y por ello muchos países se encuentran en niveles de desarrollo inferiores al estimado, lo que significa que la degradación ambiental continuaría más allá del punto de inflexión de la renta per cápita<sup>20</sup>.

Otra cuestión que ha sido muy debatida es la influencia del comercio internacional en la evolución de la intensidad energética de los países. Unos autores defienden que al desarrollarse, un país deja de producir ciertos bienes intensivos en energía y pasa a importarlos de países con leyes medioambientales menos estrictas, lo cual puede aumentar las emisiones globales, porque esos países suelen ser más ineficientes<sup>21</sup>.

En este sentido, se ha demostrado que si se contabiliza el consumo energético del comercio internacional, el nivel de renta per cápita en el que se alcanza el punto de inflexión de la CKA subiría hasta un nivel 4 veces más alto, porque las importaciones tienen un alto contenido energético. Así, los países desarrollados se benefician de la contaminación evitada al importar productos

intensivos en energía de los países en vías de desarrollo<sup>22</sup>.

En esta línea, otros expertos<sup>23</sup> afirman que la mejora de la IE de países como Japón o EEUU se debe a la importación de materiales intensivos en energía, por lo que los cambios estructurales se producen tanto internamente como entre países. Así, las naciones más desarrolladas se especializan en aquellas actividades manufactureras de menor contenido energético y de recursos.

### **2.2.4. Precios de la energía y actividad económica**

Por último, también parece relevante, en lo que respecta a la relación entre energía y crecimiento económico, reflexionar sobre un factor que cada vez cobra más importancia desde el punto de vista de la sostenibilidad económica: la relación entre los precios de la energía -que se espera crezcan significativamente en el futuro, en especial los de las energías fósiles- y la actividad económica.

Los efectos de cambios en los precios de la energía sobre la actividad económica han despertado el interés de los economistas especialmente desde comienzos de los años 70 coincidiendo con las crisis del petróleo de 1973 y 1979<sup>24</sup>.

<sup>19</sup> Sorrel, 2007.

<sup>20</sup> Labandeira et al., 2006.

<sup>21</sup> Grossman y Krueger, 1995. Véase Nahman y Antrobus (2005) para una visión amplia de la influencia del comercio internacional en la CKA.

<sup>22</sup> Suri y Chapman, 1998. Los autores estiman que un incremento del 10% en las importaciones de los países desarrollados contribuye a la reducción de entre 1,3 y 1,7% de sus necesidades energéticas.

<sup>23</sup> Stern et al., 1996.

<sup>24</sup> Autores como Pindyck (1979), Hamilton (1983) y Olson (1988) entre otros, sugieren que estos cambios afectan tanto al crecimiento como al ciclo económico.

Los economistas han propuesto diversas explicaciones acerca de por qué los incrementos en los precios de la energía afectan a la actividad económica. La explicación más extendida es que un incremento de precios puede ser entendido como una perturbación clásica de oferta, ya que afecta a un *input* básico de producción como es la energía. Otro canal a través del cual una perturbación de precios se transmite a la economía es la transferencia de rentas desde los países importadores a los países exportadores que se produce en los mercados de crudo. Esto supone una reducción de la demanda agregada en los países importadores.

---

***Un incremento de los precios energéticos tiende, en el corto plazo, a reducir el nivel de actividad económica y el empleo e incrementar la tasa de inflación, mientras que en el medio y largo plazo obliga a reducir el despilfarro y mejorar la eficiencia, favoreciendo las condiciones ambientales del país.***

***Estas cuestiones son especialmente relevantes en países como España, donde la fuerte dependencia de fuentes de energía importadas como el petróleo convierte a la economía española en una economía más vulnerable a las fluctuaciones en los mercados energéticos internacionales, de manera que los efectos negativos tenderán a ser mayores.***

---

Los mecanismos básicos de transmisión de una perturbación en los precios energéticos, pueden verse amplificados por otros factores. Entre ellos, la literatura destaca la influencia de una política monetaria restrictiva en respuesta a un incremento de precios<sup>25</sup>.

Otro factor de amplificación son las dificultades derivadas de los requerimientos energéticos asociados al capital instalado. Por ello, a corto plazo, a la empresa le resultará muy costoso responder a los aumentos en los precios energéticos cambiando su *stock* de capital. La relación entre precios y actividad económica no es, sin embargo, simétrica ya que incrementos en los precios del petróleo tienden a frenar la actividad económica agregada en mayor medida que lo que reducciones en estos precios tienden a estimularla<sup>26</sup>.

Como se ha comentado, la relación entre precios del petróleo y actividad económica se hizo especialmente dramática en las dos primeras crisis del petróleo. Con motivo de la guerra árabe-israelí de finales de 1973 y, más tarde con el comienzo de la guerra entre Irán e Irak a finales de 1979, la OPEP impuso fuertes elevaciones en el precio del crudo, de manera que el precio en dólares del petróleo aumentó un 926% entre 1973 y 1981. Las consecuencias de este brutal encarecimiento se notaron en todos los países industrializados.

Sin embargo, **desde mediados de los años 80, existe la creencia de que la relación entre precios de la energía y**

<sup>25</sup> Como ha sido puesto de manifiesto, entre otros, por el trabajo de Bernanke, et al. (1997).

<sup>26</sup> La literatura proporciona distintas explicaciones a este fenómeno como son la existencia de costes de ajuste ante los cambios en los precios del petróleo o el distinto papel de la política monetaria como respuesta a las diferentes perturbaciones, entre otras explicaciones (véase, Balke et al. 2002, para una discusión sobre el origen de esta asimetría).

**actividad económica ha cambiado**<sup>27</sup>.

Los cambios en el nivel de dependencia energética, una mayor eficiencia en el uso de la energía y una política monetaria más rigurosa así como un mercado de trabajo en general más flexible, son factores que a menudo se utilizan para explicar este nuevo escenario<sup>28</sup>.

En los últimos años se han detectado nuevas tensiones en los mercados internacionales del crudo debido principalmente al incremento de demanda de energía provenientes de las economías emergentes (China entre

otras) y a la situación política y económica en Irak y otros países. En este nuevo escenario, que muchos expertos definen como el fin de la era de las energías baratas, renace el interés por estudiar de nuevo los problemas económicos derivados de las tendencias en los precios de la energía, especialmente del petróleo, centrándose no sólo en la evolución de los precios en los mercados internacionales sino también en sus efectos macroeconómicos.

**2.2.5. Energía y empleo**

El número de empleos creados por unidad energética varía según el tipo de fuente energética, siendo entre un 140% y 330% mayor en la generación a partir de fuentes renovables y eficiencia energética que en la generación a partir de carbón o petróleo.

Sin embargo, esta mayor intensidad de empleo no significa necesariamente una menor productividad. Un análisis de los costes de aprovechamiento de energía fósil y fuentes renovables o eficiencia energética muestra que, en el segundo caso, el coste se emplea en un mayor porcentaje en contratos laborales y relativamente menos en alquiler de maquinaria o compra de terreno y consumo de energía.

Además las inversiones en renovables y energía limpia tienen lugar en el país donde se invierte, mientras que en el caso de las energías fósiles, la mayor parte del gasto es debido a la importación de la energía, por tanto, el número de empleos indirectos e

**Tabla 2.1. Impacto en el empleo de fuentes alternativas de energía. Creación de empleo por millón de dólares de producto en Estados Unidos. Fuente: The Economic Benefits of Investing in Clean Energy, Political Economy Research Institute (PERI) and Center for American Progress, Junio de 2009 (adaptado).**

Fuente de energía	Creación de empleo directo e indirecto relativo al petróleo (% de diferencia)
<b>Fuentes fósiles</b>	
Petróleo y gas natural	-
Carbón	32.4
<b>Eficiencia energética</b>	
Rehabilitación de viviendas	221.6
Transporte público / transporte de mercancías	329.7
Sistemas inteligentes de distribución de energía	140.5
<b>Renovables</b>	
Eólica	156.8
Solar	164.9
Biomasa	235.1

<sup>27</sup> Así aparece una nueva literatura denominada Great Moderation, que muestra que los efectos de los cambios en los precios internacionales del crudo sobre el nivel de actividad económica son menores.

<sup>28</sup> Véase, por ejemplo, Blanchard y Galí (2008). En De Miguel et al. (2009), se puede observar cómo el caso español no es una excepción. Los resultados de este trabajo sostienen la hipótesis de que los efectos de la variación en los precios del crudo son menores desde mediados de los 80.

inducidos por unidad económica es mayor en el primer caso que en el segundo además de estar mucho más vinculadas a la comunidad.

Por último, estas inversiones producen empleo en un rango más amplio de perfiles profesionales, desde ingenieros altamente cualificados hasta trabajadores con baja calificación<sup>29</sup>.

Globalmente, **el sector de los combustibles fósiles está experimentando una reducción de empleo en gran medida debida a las ganancias productivas que han conseguido en el sector además de un progresivo aumento de la subcontratación de aquellos procesos con menor valor añadido del proceso productivo** -como el transporte- lo que está haciendo aumentar el número de pequeñas y medianas empresas que trabajan exclusivamente en el sector energético, aunque son categorizadas bajo otros epígrafes sectoriales como servicios.

En el caso de las energías renovables, debido a su diferente grado de madurez de desarrollo, es esperable que también se dé un proceso de mejora en la productividad y por tanto las diferencias de empleo actuales se estrecharán en el futuro.

## 2.2.6. Empleos verdes en España

### 2.2.6.1. Empleo sostenible

Todos los puestos de trabajo son responsables en mayor o menor medida del consumo de energía. Los

empleos verdes se definen como aquellos empleos directos que se crean como resultado de la puesta en marcha de medidas que reducen el impacto medioambiental de empresas y sectores económicos, incluyendo la reducción de consumo de energía<sup>30</sup>. De hecho **los empleos verdes creados en el sector energético -eficiencia energética y producción de energía con fuentes renovables- son decisivos para hacer posible la transición hacia una economía más sostenible.**

Algunas barreras que hacen más difícil alcanzar objetivos de producción ambientalmente más sostenible han sido identificadas tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo:

- falta de trabajadores y empresarios suficientemente preparados, con las capacidades y conocimientos necesarios, en países desarrollados y en desarrollo.
- debilidad de las capacidades institucionales y sociales en el ámbito empresarial y laboral para diseñar e implementar políticas y medidas que reduzcan los impactos medioambientales de la actividad de las empresas (planes de movilidad, diálogo social sindicatos-empresa en el lugar del trabajo con objetivos medioambientales, planes de formación...).

La transición hacia una economía más sostenible implica también la transformación de los empleos tradicionales que pueden ser insostenibles si las actividades que ocupan lo son. En este sentido, **la**

<sup>29</sup> The Economic Benefits of Investing in Clean Energy, Political Economy Research Institute (PERI) and Center for American Progress, Junio 2009.

<sup>30</sup> Informe empleos verdes OIT-PNUMA.

**transformación hacia una economía altamente eficiente en el uso de la energía y baja en emisiones de carbono implica transformaciones profundas en casi todos los sectores productivos**, en particular en el transporte, la construcción y los sectores intensivos en energía, lo que conlleva también la correspondiente transformación de sus empleos.

**Tabla 2.2. Empleo generado -directo e indirecto- por tecnologías renovables 2010. Fuente ISTAS (mencionado en el PANER 2010-2020 por IDAE)**

	<b>Empleo directo</b>	<b>Empleo indirecto</b>	<b>Empleo total</b>
Eólica	30.651	24.521	55.172
Solar Fotovoltaica	19.552	8.798	28.350
Solar Térmica	6.757	3.041	9.798
Actividades comunes a todas las áreas	4.263	2.718	6.981
Biomasa	3.191	2.808	5.999
Incineración de Residuos	1.415	637	2.052
Hidráulica & Mini Hidráulica	1.078	485	1.563
Biocarburantes	964	988	1.952
Biogás	664	681	1.345
Solar Termoeléctrica	511	307	818
Geotermia	415	162	577
Otros	268	171	439
Aerotermia (bomba de calor)	184	83	267
Mini Eólica	165	132	297
Mareomotriz	74	38	112
<b>TOTAL</b>	<b>70.152</b>	<b>45.570</b>	<b>115.722</b>

Según el informe Empleo verde en una economía sostenible<sup>31</sup>, 530.947 personas en España desarrollan su actividad profesional en sectores verdes, el 2,62% de la población ocupada. Esto supone un crecimiento del 235% de 1998 a 2008; de entre todos los sectores, el de las energías renovables es el que más ha crecido en la década, multiplicando por 30 el número de trabajadores<sup>32</sup>.

Se trata de un volumen de empleo muy considerable en el sector. De hecho en los últimos veinte años todos los empleos verdes han crecido espectacularmente en España, siendo en 2009 un 235% más que en 1998, pero el empleo en las energías renovables creció más de diez veces más, un 3.005% en esas mismas fechas<sup>33</sup>.

**2.2.6.2. Oscilaciones de crecimiento y pérdidas de empleo**

No obstante, en los últimos tiempos se han producido algunas oscilaciones negativas. En el caso de la energía solar fotovoltaica, por ejemplo, en 2008 se instalaron en España 2.600 MW de energía solar fotovoltaica, casi cuatro veces más que la potencia instalada el año anterior, superando los 400 MW marcados como objetivos para 2010. Esto creó coyunturalmente un gran número de puestos de trabajo, hasta 31.300 personas en 2008.

<sup>31</sup> Elaborado por el Observatorio de la Sostenibilidad en España y la Fundación Biodiversidad para el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

<sup>32</sup> De acuerdo con el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), las energías renovables en España han evolucionado hacia una participación creciente en el sistema energético, experimentando un significativo auge a partir del año 2005: en 2009 han supuesto el 9,4% del abastecimiento de energía primaria y superado el 12% en términos de energía final bruta. Esta producción renovable ha dado cobertura en 2010 a un total de 70.151 empleos directos y 45.570 indirectos, un total de 115.722 puestos de trabajo. Se trata de contrataciones mayoritariamente indefinidas, con una participación femenina del 26% y con cualificación profesional de técnicos o titulados superiores para la mayoría de empleados. Los sectores con más empleo son eólica, solar fotovoltaica y solar térmica.

<sup>33</sup> Informe Empleo Verde en una Economía Sostenible 2010 del Observatorio de la Sostenibilidad de España y la Fundación Biodiversidad.

Sin embargo, la paralización posterior en la implantación de nuevas instalaciones fotovoltaicas provocó una caída de empleo<sup>34</sup>.

### 2.2.6.3. Perspectivas de futuro

Considerando las perspectivas de crecimiento del nuevo Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER), se pretende que las energías renovables representen un 20% del consumo final bruto de energía, con un porcentaje en el transporte del 10%, para el año 2020; y teniendo en cuenta las previsiones socioeconómicas, se estima que el empleo directo asociado a las fuentes de energías renovables en los años 2015 y 2020 ascenderá a 82.589 y 128.373 empleos en España, respectivamente, según datos de IDAE.

Por su parte, el Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud de Comisiones Obreras (ISTAS), realizó una proyección<sup>35</sup> de empleos a partir de dicho objetivo del 20% con resultados para 2020 de entre 228.435 y 270.788 según las diferentes posibilidades de evolución de la demanda energética.

Ese volumen de empleo podría superarse considerablemente si los objetivos en renovables fueran más ambiciosos. Si el 100% de la electricidad fuese renovable en España, según un estudio de Greenpeace<sup>36</sup>, en 2030 la generación de electricidad daría empleo a unas 400.000 personas.

## 2.3. ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

### 2.3.1. Efectos sobre el medio

Como se ha visto anteriormente, el desarrollo económico y social de los países ha estado hasta ahora estrechamente vinculado a la utilización y la transformación de la energía. Pero **los procesos modernos de utilización de la energía tienen efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, impactos que pueden ser de alcance local o global, y tener consecuencias a corto o largo plazo.** Estos impactos serán distintos en función de las tecnologías y combustibles utilizados para la producción o el consumo de energía.

La contaminación generada por el uso de la energía puede ser de diversos tipos:

- **emisiones a la atmósfera** (gases como SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> y partículas sólidas): generalmente causadas por procesos de combustión de gas, derivados del petróleo y carbón.
- **vertidos líquidos**: en forma de productos químicos, derrames de combustible, contaminación térmica (principalmente agua de refrigeración de instalaciones eléctricas que son devueltas a los ríos a más temperatura a la que se encuentran estos).
- **residuos sólidos**: escorias, cenizas, combustible radioactivo gastado...

<sup>34</sup> Según el Informe Anual 2009 de la Asociación de la Industria Fotovoltaica (Asif), desde septiembre de 2008 hasta mediados del 2009 se perdieron 27.800 empleos, pasando a estar empleados 13.900 personas a mediados de 2009. Esta reducción se dio en labores de instalación, los empleos en operación y mantenimiento están creciendo: en 2008, trabajaban 1.850 personas en estas labores mientras que en 2009, lo hacían 2.300 personas. También ha crecido el empleo creado en el área de investigación y desarrollo. [http://www.erasolar.es/pdf%27s/ASIF\\_Informe\\_anual\\_2009.pdf](http://www.erasolar.es/pdf%27s/ASIF_Informe_anual_2009.pdf)

<sup>35</sup> Energías renovables y generación de empleo en España 2007, presente y futuro. ISTAS. 2008. <http://www.istas.net/web/abreenlace.asp?idenlace=6754>

<sup>36</sup> Trabajando por el clima. Energías renovables y la [R]evolución de los empleos verdes. <http://www.greenpeace.org/espana/news/091013>

- **ocupación del territorio:** impacto visual y sobre la biodiversidad. Característico de los procesos de extracción de combustibles fósiles, pero también de la gran hidráulica y de algunas energías renovables.

- **ruido y vibraciones.**

Exceptuando el primer tipo de contaminación, la atmosférica, el resto de impactos generados por los procesos energéticos, generalmente pueden ser considerados como locales y la búsqueda de soluciones por lo general se tendrá que hacer a escala local<sup>37</sup>.

En el caso de la contaminación atmosférica, por su propia naturaleza, ya que es causada tanto por fuentes fijas (industrias, centrales eléctricas, refinerías...) como móviles (medios de transporte), y por su gran capacidad de dispersión, su ámbito de afección es

más amplio que los otros tipos de contaminantes. También por esta razón, la escala del impacto de este tipo de contaminación es por lo general mayor que la de los otros tipos de contaminación mencionados, pudiendo variar de regional a global.

En este caso nos centraremos en la evolución de la contaminación atmosférica en España ligada al sector de la energía, partiendo de la importancia que tienen este tipo de contaminantes en tres de los grandes retos del siglo XXI ligados a la sostenibilidad ambiental del modelo de desarrollo actual:

### 2.3.2. Tendencias a nivel europeo y mundial

La primera década del siglo XXI ha dejado claro cuáles van a ser los **tres**

<p><b>El Cambio Climático</b></p>	<p>Provocado por el calentamiento global se está produciendo por la mayor concentración atmosférica de gases de efecto invernadero debido al aumento de emisiones que tienen su origen en la actividad humana. Dichos gases son, sobre todo, el dióxido de carbono (procedente de los procesos de combustión fósil y de la deforestación), el metano (procedente de la ganadería, la agricultura, y uso de combustibles fósiles) y los óxidos de nitrógeno (procedentes del transporte y generación eléctrica). Los efectos de la alteración del clima pueden tener importantes impactos negativos para la supervivencia de especies y ecosistemas enteros y repercusiones catastróficas para la sociedad humana.</p>
<p><b>Impactos sobre la salud</b></p>	<p>Que incluyen los efectos no carcinógenos de los contaminantes atmosféricos como el SO<sub>2</sub>, el NO<sub>x</sub>, el ozono troposférico (formado principalmente a partir de NO<sub>x</sub> en presencia de radiación solar), las partículas sólidas y algunos metales pesados (generalmente las afecciones a la salud serán principalmente respiratorias aunque también pueden generarse alergias); y los efectos carcinógenos de las emisiones radiactivas.</p>
<p><b>Impactos sobre los ecosistemas</b></p>	<p>Los impactos sobre la vegetación se deben principalmente a los contaminantes ácidos como el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>, (provocan las lluvias ácidas) y los oxidantes fotoquímicos como el ozono troposférico. Otro posible efecto indirecto de estas emisiones contaminantes es la eutrofización de los suelos y aguas continentales, por una deposición excesiva de compuestos nitrogenados.</p>

<sup>37</sup> Éste no es el caso de algunos vertidos de petróleo a gran escala como el que ha sufrido recientemente el Golfo de Méjico. También, y aunque sean locales, algunos impactos merecen también ser subrayados como preocupación global, por la extensión de los mismos. Así, se pueden citar la destrucción de ecosistemas provocada por la minería a cielo abierto, la deforestación causada por el cultivo de biocombustibles y los efectos de los residuos radiactivos.

**grandes ejes** sobre los que se va a centrar la evolución del sistema energético mundial:

- **Medidas de ahorro y eficiencia, y búsqueda de recursos energéticos alternativos**, principalmente al petróleo por la volatilidad e incrementos esperados a largo plazo de su precio, y desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de los nuevos recursos.
- **Descarbonización de la energía** debido a los riesgos que conlleva la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero para el sistema climático mundial.
- **Descontaminación de los procesos energéticos urbanos e industriales**, cuyas emisiones afectan a la salud humana y en algunos casos también al medio ambiente. El transporte y las grandes instalaciones industriales estarían entre las principales causas de este tipo de contaminación.

En el caso de España los esfuerzos para reducir las emisiones de gases contaminantes y de CO<sub>2</sub> empezaron a concretarse hace más de una década, principalmente espolcados por la legislación de la UE y la delicada situación de dependencia energética que para entonces ya casi alcanzaba el 80%.

Actualmente, cuando ya han pasado más de 10 años desde que se empezasen a adoptar diferentes tipos de medidas contra la contaminación generada por el uso de la energía, se pueden empezar a sacar algunas conclusiones sobre la evolución de la carga contaminante del

sector energético español (en ella se incluye el CO<sub>2</sub> aunque no sea un gas contaminante, sino causante del efecto invernadero).

Aunque existen más gases relacionados con la energía, en este informe se va a hacer un análisis de la evolución de los más comunes: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, COVNM y CO<sub>2</sub> <sup>38</sup>.

Por otra parte cabe destacar que, **aunque el sector energético no es el único responsable de los contaminantes mencionados, en cuatro de los seis tipos de contaminantes tiene un rol preponderante** como se puede ver en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Porcentaje de emisiones atribuibles al procesado de la energía por tipo de contaminante y sus efectos sobre el medio ambiente. Fuente: MARM**

Contaminante	Emisiones atribuibles al procesado de la energía (2008)	Efecto
SO <sub>x</sub>	97%	Acidificante y eutrofizante
NO <sub>x</sub>	97,8%	Acidificante y eutrofizante, formación de ozono troposférico
CO	59,8%	Formación de ozono troposférico
COVNM <sup>39</sup>	26,5%	Formación de ozono troposférico
NH <sub>3</sub>	1,5%	Acidificante y eutrofizante
CO <sub>2</sub>	92,7%	Efecto invernadero, calentamiento global

<sup>38</sup> Todos estos gases menos el CO<sub>2</sub> son considerados como contaminantes atmosféricos bajo la definición que da la Convención sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia.

<sup>39</sup> Compuestos Orgánicos Volátiles No-Metánicos.

### 2.3.3. Evolución reciente y situación actual en España

Como se puede observar la figura 2.4, desde el año 2000 hasta la actualidad los contaminantes clásicos atribuibles al sector del procesado de la energía<sup>40</sup> han tenido una evolución positiva, reduciéndose este tipo de emisiones a partir del año 2008.

Esta disminución ha sido considerable en el caso de SO<sub>x</sub> y CO, fundamentalmente por la disponibilidad de métodos de reducción asequibles, mientras que para otros como los NO<sub>x</sub> la disminución ha sido muy inferior, solamente asociada al descenso del consumo energético total, debido a que los costes y la complejidad de reducción son mucho más elevados.

Por otra parte las emisiones de CO<sub>2</sub> mantienen una senda creciente hasta

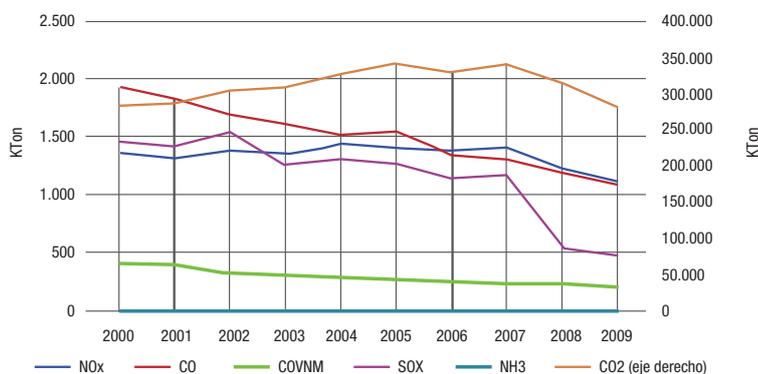
el año 2007 (aunque con una ligera bajada en 2006) y, al igual que los contaminantes clásicos, experimentan una brusca bajada en 2008, fundamentalmente asociada a la reducción del consumo por la crisis económica.

Si analizamos la carga total de emisiones por años (excluyendo el CO<sub>2</sub>) vemos en la figura 2.5 que la mayor reducción se ha conseguido en las emisiones de SO<sub>x</sub>, que en el periodo considerado han bajado en un 64%, seguida por los COVNM con un 37,9%. Como señalábamos anteriormente, esta gran reducción está basada en el bajo coste de las medidas de reducción, incluyendo el cambio de combustibles (principalmente el aumento del uso del carbón importado en relación al carbón nacional, más contaminante).

En el año 2000 la carga total de estos contaminantes era 5.129 kt, mientras que en 2008 (último año para el que se tienen datos oficiales) se redujo a 3.138 kt, lo cual significa que el sector energético disminuyó en un 38,8% sus emisiones totales de estos gases contaminantes. En el caso del CO<sub>2</sub>, hasta 2008 las emisiones aumentaron en un 10,8% respecto al año 2000, pero si se tiene en cuenta la última estimación hecha por CCOO para 2009 la reducción en el periodo 2000-2009 habría sido del 0,1%<sup>41</sup>.

En el año 2009, el consumo total de combustibles fósiles en términos de energía primaria se redujo en un 10%, siendo el descenso más destacado en el carbón (-25%) que en el petróleo (-6,5%), mientras que el consumo de gas

**Figura 2.4. Emisiones atribuibles al procesado de la energía. Fuente: MARM (los datos de 2009 son una estimación conservadora basada únicamente en la reducción del consumo de combustibles fósiles respecto al año anterior).**



<sup>40</sup> De ahora en adelante, SO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> y COVNM.

<sup>41</sup> En el caso del CO<sub>2</sub> atribuible al sector energético, la estimación que hace el informe anual de CC.OO. es que las emisiones de este gas se redujeron en 2009 en un 9,8% respecto a 2008 (Evolución de emisiones de gases de efecto invernadero en España 1990-2009, CC.OO. 2009).

también se redujo en un 10,5%. Cabe mencionar que, aun con esta importante reducción interanual en el consumo de combustibles fósiles, si comparamos su consumo total en 2009 (105.248 ktep de energía primaria) con el del año 2000 (102.023 ktep), el año pasado se consumió un 3,1% más de este tipo de recursos energéticos que entonces<sup>42</sup>.

Teniendo en cuenta estas reducciones en el consumo de combustibles fósiles, es de esperar una reducción ulterior de las emisiones contaminantes en 2009, que una estimación conservadora podría identificar en un 8-10% respecto a 2008. Esta reducción será probablemente más marcada (superior al 10%) en los gases contaminantes cuyo factor de emisión es muy alto en la combustión del carbón (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>), mientras que en el caso de los otros gases la reducción estará alrededor del 7-8% (ver figura 2.4).

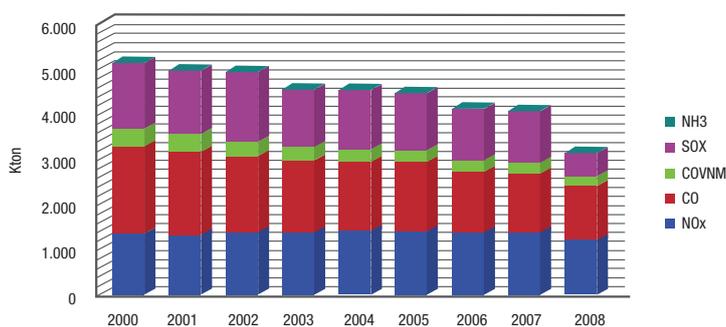
### 2.3.4. Las medidas tomadas para alcanzar los objetivos de reducción en España

A la vista de la evolución entre 2000 y 2008 de los gases considerados, cabe plantearse cuáles han sido las medidas adoptadas para controlar y reducir estas emisiones, y sacar conclusiones sobre cuál ha sido su eficacia.

La acción contra la contaminación generada por la combustión de recursos fósiles ha estado basada en tres estrategias regulatorias separadas pero que al final han tenido efectos sinérgicos:

- por un lado, se ha buscado regular las emisiones de contaminantes clásicos poniendo unos techos nacionales para determinados contaminantes. Esta medida afecta principalmente a los grandes focos emisores tanto industriales como instalaciones del sector eléctrico<sup>43</sup>.
- por otro lado, se ha puesto en marcha -desde 2005- el mercado europeo de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, fruto del compromiso de la UE de cumplir con su objetivo de reducción de este gas bajo el Protocolo de Kioto. La idea de esta medida es también poner un techo a las emisiones de CO<sub>2</sub> de las grandes instalaciones industriales y energéticas, y crear un mercado de derechos de emisión para fomentar el cambio hacia tecnologías menos intensivas en CO<sub>2</sub>. La experiencia en la primera fase ha estado distorsionada, entre otros factores, por la crisis, dado que a algunas instalaciones se le otorgaron techos de emisión y por lo tanto derechos

**Figura 2.5. Carga contaminante anual del procesado de energía (excluido el CO<sub>2</sub>). Fuente: MARM.**



<sup>42</sup> Secretaría General de Energía (MITYC). Boletín Trimestral de Coyuntura Energética, N°60, 4º Trimestre 2009 (2010).

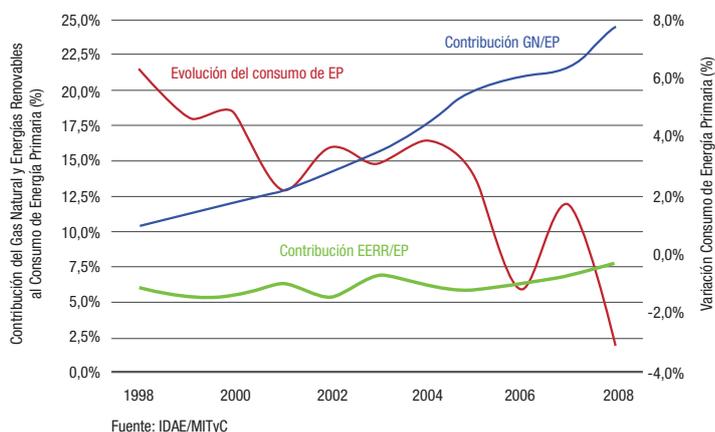
<sup>43</sup> Plan Nacional de Reducción de Emisiones para Grandes Instalaciones de Combustión. MITYC, 2007. (PNRE-GIC-2007). Transposición de las Directivas Europeas 2001/80/CE, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de Grandes Instalaciones de Combustión (Directiva GIC), y la 2001/81/CE, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV, NH<sub>3</sub> (Directiva TNE).

considerando una producción superior a la real.

- o la tercera herramienta legislativa es el sistema de primas establecido para fomentar el desarrollo de las tecnologías que utilizan recursos renovables, y hacer realidad el objetivo de alcanzar un 12% de renovables en el consumo de energía primaria y un 29,7% de electricidad de origen renovable para el 2010 en España. Al ser tecnologías que en su mayor parte no comportan la combustión de un recurso (menos la biomasa y los biocarburantes)<sup>44</sup>, durante su funcionamiento no emiten contaminantes, y al desplazar tecnologías de combustión convencionales (centrales de fuel, carbón y gas) reducen la emisiones a la atmósfera<sup>45</sup>.

A las tres medidas mencionadas habría que añadir dos factores más: uno tecnológico que ha sido la puesta en marcha, a partir de 2002, de un gran número de nuevas centrales de generación eléctrica de ciclo combinado que consumen gas, cuya eficiencia es sensiblemente superior a las centrales térmicas existentes hasta entonces (50% vs 33%). La introducción masiva de este nuevo tipo de centrales, favorecida además a partir de 2005 por la implantación del mercado europeo de emisiones de CO<sub>2</sub> permitió la paulatina disminución de la generación eléctrica en centrales de carbón. Por otra parte, también ha habido un factor económico que ha llevado a la sustitución del carbón nacional, más caro y contaminante, por carbón importado.

**Figura 2.6. Evolución del consumo de energía primaria y contribución de las energías renovables y del gas. 1998-2008. Fuente: IDAE/MITyC.**



Como se puede ver en la figura 2.6, el incremento de la aportación del gas al consumo de energía en España se ha acelerado a partir de 2003-2004, mientras que la aportación de las renovables crece a partir de 2007. Los datos preliminares disponibles para 2009 indican que esta tendencia se consolida aun cuando el consumo total de energía primaria haya disminuido en un 8,8%: el gas habría aportado un 23,8% de la energía primaria (aunque su consumo se redujo un 10,6% en términos absolutos), mientras que las renovables habrían alcanzado el 9,3% (con un aumento de su aportación de un 17,7%)<sup>46</sup>.

Los dos cambios tecnológicos, centrales de gas y renovables, junto

<sup>44</sup> Teóricamente, a lo largo del ciclo de vida de las plantas que se utilizan como recurso en las instalaciones de biomasa, el CO<sub>2</sub> contenido en éstas y emitido durante su combustión, vuelve a ser absorbido por nuevas plantas en su fase de crecimiento.

<sup>45</sup> Cabe destacar que el desarrollo de las energías renovables ha sido más importante en el sector eléctrico (en 2009 alcanzaron una penetración del 24%) que en otros sectores, como el transporte (menos del 3%) o industria (5%). Asimismo, el constante aumento del consumo energético español (en términos de energía primaria y final) durante el período 2000-2007 (con una leve inflexión en 2006) hizo que la aportación de las renovables, aun siendo creciente en términos absolutos, se mantuviera prácticamente estable en términos relativos (aportación a la energía primaria) hasta el año 2007. A partir de éste año el consumo de energía primaria se ha reducido, por lo que la aportación de las energías renovables ha aumentado no sólo en términos absolutos sino también en términos relativos.

<sup>46</sup> Fuente: IDAE, Evolución del consumo y la intensidad energética. Datos 2009.

con la sustitución del carbón nacional, han marcado la tendencia en el sector energético, y explican gran parte de la reducción experimentada desde 2000 hasta ahora de los gases contaminantes considerados. Esta tendencia ha sido reforzada por los techos establecidos a las emisiones contaminantes por la legislación de la UE y, en el caso de las renovables, ha sido posible gracias al sistema de primas establecido para su desarrollo.

### 2.3.5. Grado de cumplimiento de los objetivos de reducción en España

Viendo la evolución de las emisiones de los contaminantes analizados, y teniendo en cuenta los objetivos de reducción existentes establecidos por la legislación UE para España se puede hacer el siguiente análisis de cumplimiento:

**Tabla 2.4. Análisis de cumplimiento de los objetivos de reducción y aportación del sector del procesado de la energía.**

Contaminante	Techo/objetivo de reducción 2010	Situación estimada en 2009 (sector energético)	Análisis de cumplimiento
SO <sub>x</sub>	746 Mton	473 Mton	Siendo el sector energético el principal emisor de este gas (97%) se puede esperar que se consiga cumplir con el objetivo.
NH <sub>3</sub>	352 Mton	5 Mton (los últimos datos, 2008, que incluyen a todos los sectores, dan un total de 358 Mton)	La aportación del sector (1,5%) no afecta significativamente al cumplimiento del objetivo. Sin embargo considerando la evolución de la economía española en 2009 y 2010 es posible que éste se cumpla.
CO <sub>2</sub>	262.462 Mton*	282.233 Mton (los últimos datos, 2009, que incluyen a todos los sectores, dan un total de 304.426 Mton)	No parece probable que se consiga cumplir con el objetivo con medidas nacionales. Sin embargo, la Estrategia de cumplimiento del Gobierno contempla la compra de derechos de emisión mediante los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto para hacer frente al objetivo.
NO <sub>x</sub>	847 Mton	1113 Mton	No parece probable que se consiga cumplir con el objetivo.
COVNM	662 Mton	199 Mton (los últimos datos, 2008, que incluyen a todos los sectores, dan un total de 815 Mton)	No parece probable que se consiga cumplir con el objetivo.
CO	No hay techo establecido	1098 Mton	

**Notas:**

\* Esta cifra es el resultado de añadir un 15%, a las emisiones de CO<sub>2</sub> de 1990, el objetivo para España dentro de la “burbuja” Europea establecida en el marco del Protocolo de Kioto. Para cumplir con este objetivo, la media de las emisiones españolas de CO<sub>2</sub> durante el periodo 2008-2012 deberían estar por debajo de esta cifra.

### 2.3.6. Algunas reflexiones finales sobre la situación en España

La principal conclusión que se puede extraer del análisis de la evolución de las emisiones de gases contaminantes considerados por parte del sector energético es que, **debido al desarrollo de tecnologías más eficientes y/o menos contaminantes, y en especial en los dos últimos años, al efecto de la crisis sobre el consumo de energía, la contaminación generada por el sector se ha reducido considerablemente**, especialmente en los gases relacionados con la combustión del carbón a lo largo de todo el periodo y con el petróleo en los dos últimos años.

La reducción de los contaminantes ha sido más acusada en el sector eléctrico -gracias a las nuevas tecnologías renovables (en 2009 alcanzaron una aportación del 24%) y a la introducción de los ciclos combinados de gas- que en el sector del transporte, donde la penetración de alternativas menos contaminantes, como los biocarburantes, no ha alcanzado el 2%. En este sentido, es más difícil que se cumplan los techos de emisiones de contaminantes establecidos para 2010, dónde el transporte tiene más preponderancia que el sector eléctrico (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y COVNM).

Sin embargo, hay que destacar que **el factor que más parece haber influido en la reducción de los gases contaminantes ha sido la desaceleración económica en el periodo 2008-2009** que, a su vez, ha reducido la demanda de combustibles fósiles (-14,3% en 2009 respecto a 2007). En la coyuntura económica y energética actual es posible que la

carga contaminante del sector energético mantenga una senda estable o incluso ligeramente decreciente durante los próximos dos años, para luego empezar a crecer otra vez a partir de 2012-13 cuando empiece a recuperar la economía.

Por otra parte, en la medida que la UE y/o el Gobierno tomen medidas adicionales para mejorar la eficiencia energética y promover las energías no contaminantes, especialmente en el transporte, es posible que el sector pueda ir hacia recortes aun mayores que los actuales en sus emisiones para el horizonte 2020, y así ahondar en la senda emprendida hacia una descontaminación y descarbonización de la energía.

En todo caso, **la magnitud de las medidas a adoptar debe ser muy significativa, ya que, a pesar de las reducciones observadas, en muchos de los contaminantes (y especialmente en el caso del CO<sub>2</sub>) aun estamos lejos de los objetivos propuestos**, sobre todo si se recupera el ritmo de crecimiento económico y de demanda de energía.



## 3. LA CRISIS DEL MODELO ENERGÉTICO CONVENCIONAL

Una vez planteadas las relaciones entre la energía y la economía, el medio ambiente y la configuración social, que la señalan como vector indispensable del Cambio Global, pasamos a analizar las circunstancias que hacen del modelo energético actual un modelo esencialmente insostenible. En primer lugar se examina el modelo global, para luego particularizar el análisis para España.

### 3.1. EL MODELO ENERGÉTICO GLOBAL

#### 3.1.1. Previsiones sobre la demanda energética global en un escenario tendencial de “business as usual”

El Escenario de Referencia del World Energy Outlook 2009 (WEO 2009) de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) prevé que, **de seguir las tendencias actuales sin cambios<sup>47</sup>, la demanda mundial de energía primaria aumentará un 40% durante el periodo 2007-2030, pasando de 12.000 a 16.800 millones de toneladas equivalentes de petróleo**, lo que implicaría una tasa anual media de

crecimiento del 1,5%. A continuación se resumen otras de las previsiones más destacadas del citado Escenario.

1) Los países que no pertenecen a la OCDE absorberían el 90% del incremento de la demanda mundial de energía primaria<sup>48</sup>. Como resultado, en 2030, los países ajenos a la OCDE pasarían a representar el 63% del total de la demanda global de energía primaria, frente al 52% de 2007.

2) En 2030, los combustibles fósiles constituirán el 80% del mix global de energías primarias, frente al 82% de 2007. La biomasa (incluyendo tanto la tradicional como la comercial moderna) alcanzaría el 10%, mientras que la nuclear se situaría en torno al 6% y las renovables alrededor del 4%, con la hidráulica acaparando la mitad de este porcentaje. Carbón, petróleo y gas deberían cubrir el 75% del aumento de la demanda global de energía primaria proyectado para el periodo 2007-2030<sup>49</sup>.

En el transcurso de las próximas dos décadas el petróleo seguiría siendo el combustible fósil más usado, aunque su participación en el mix energético global caería de un 34% en 2007, a un 30% en 2030<sup>50</sup>.

<sup>47</sup> Lo que se conoce como escenario business as usual o BAU.

<sup>48</sup> Dentro de estos países destacan China, India y los de la región de Oriente Medio, que contabilizarían una cuota del aumento total del 39,6%, 14,8% y 10,3%, respectivamente. La tasa de crecimiento de la demanda para el conjunto de países que no forman parte de la OCDE promediaría un 2,3% anual, frente al 0,2% de la OCDE.

<sup>49</sup> El carbón sería el combustible fósil que experimentaría una tasa media de crecimiento más rápida, cercana al 1,9% anual, de forma que su cuota sobre el total de la demanda mundial de energía primaria pasaría de un 27% en 2007 a un 29% en 2030. Entre 2007 y 2030, China contabilizaría el 65% del aumento de la demanda, seguida por India con un 20%. A finales del periodo citado los países que no pertenecen a la OCDE sumarían más del 77% de la demanda global de carbón, con China e India representando el 49% y el 12%, respectivamente, del total global, seguidos por Estados Unidos con un porcentaje ligeramente inferior al de India. En 2030, el uso del carbón en la Unión Europea apenas representaría el 4,8% del total mundial. Cerca del 75% del aumento del consumo mundial de carbón previsto durante el periodo 2007-2030 provendría del sector eléctrico.

<sup>50</sup> El aumento de la demanda mundial de petróleo, cifrado en unos 20 millones de barriles diarios (Mbd) para el periodo 2008-2030 (excluyendo los biocarburantes), provendría en su totalidad de países no pertenecientes a la OCDE. La contribución de China a dicho aumento se situaría alrededor del 42%, mientras que la de India rondaría el 19%. Otro dato significativo es que la participación de Oriente Medio en el incremento de la demanda mundial de petróleo sería del 18%, el tercer porcentaje más alto tras India. Por el contrario, los pronósticos para la OCDE señalan una caída del uso del petróleo de 43,2 a 40,1 Mbd durante el periodo 2008-2030. En conjunto, a nivel global la demanda de petróleo durante el periodo citado crecería a un ritmo promedio del 1% anual, pasando de cerca de 85 a 105 Mbd. El sector del transporte sería el responsable del 97% de dicho aumento. La aportación de los biocarburantes al transporte se incrementaría desde 0,8 Mbd en 2008 a 2,7 Mbd en 2030.

La demanda de gas natural aumentaría a un ritmo promedio del 1,5% anual, aunque la cuota del gas sobre el total de la energía primaria consumida en el mundo se mantendría sin cambios en torno al 21% <sup>51</sup>.

3) La demanda mundial de electricidad crecerá a un ritmo medio anual cercano al 2,5%, con un 80% de dicho aumento concentrado en países que no pertenecen a la OCDE <sup>52</sup>.

Por otra parte, durante el mismo periodo, la cuota de las renovables en el mix de generación eléctrica mundial aumentaría de un 18% a un 22%, con la mayor parte de dicho crecimiento incumbiendo a las renovables no-hidráulicas (especialmente la eólica y la solar, por este orden) que verían aumentar su participación de un 2,5% a un 8,6%, mientras que la de la hidráulica caería de un 16% a un 14%. La producción de electricidad a partir de la energía nuclear crecería en todas las regiones, a excepción de Europa, aunque su porcentaje de participación en el mix de generación eléctrica global descendería de un 14% en 2007 a un 11% en 2030. El porcentaje del gas natural en el citado mix se mantendría estable en torno al 21%, mientras que el uso de los derivados del petróleo, actualmente

marginal en muchos países, caería al 2%.

---

***En las próximas dos décadas, el mundo se enfrenta al desafío de un crecimiento económico y demográfico que requeriría, bajo el modelo actual, un aumento del consumo energético. Si no se produce un cambio radical en las políticas energéticas al uso, nos dirigimos a un modelo dominado por los combustibles fósiles: una situación claramente insostenible desde la triple perspectiva del medio ambiente, la economía y la seguridad de suministro.***

---

### **3.1.2. Inversiones necesarias y riesgos derivados de la actual coyuntura de crisis**

La AIE estima que cubrir la demanda mundial de energía prevista en el Escenario de Referencia del WEO 2009 requeriría, entre 2008 y 2030, unas inversiones acumuladas de 26 billones de dólares (del 2008) <sup>53</sup>. En promedio, esta cifra equivale a una inversión anual de 1,1 billones, o al 1,4% del PIB global. Del total citado, 13,7 billones (el 53%) corresponderían al sector de generación de electricidad, mientras

<sup>51</sup> Durante el periodo 2007-2030, Oriente Medio absorbería aproximadamente el 24% del incremento global en la demanda, lo que situaría a esta región en el tercer lugar del ranking mundial de consumidores, tras los Estados Unidos y la Unión Europea. Otros países que experimentarían un importante aumento del consumo serían China e India, que contabilizarían, respectivamente, cerca del 13% y el 7% del aumento de la demanda global. El 45% del incremento mundial del consumo de gas natural se dedicaría a la generación de electricidad en plantas de ciclo combinado.

<sup>52</sup> En particular China triplicaría su demanda durante el periodo 2007-2030, de forma que a partir de 2015 este país se habría convertido ya en el mayor consumidor mundial, para quince años después, en 2030, duplicar el de la Unión Europea que ocuparía el tercer lugar del ranking mundial tras los Estados Unidos. El carbón seguiría constituyendo la espina dorsal del sistema de generación eléctrica global y su participación en dicho sistema pasaría del 42% en 2007 al 44% en 2030.

<sup>53</sup> El 50% de la inversión total correspondería a países en vías de desarrollo y otro 11% a Rusia y otros países de Europa Oriental y Eurasia. China requeriría una inversión de 4,1 billones (o el 16% del total mundial), mientras que la de India se aproximaría a 1,7 billones. Por su parte, la región de Oriente Medio demandaría una inversión de 2 billones, la mitad de los cuales deberían dedicarse a proyectos de exploración y producción de petróleo y gas. Los países de la OCDE contabilizarían el 37% de la inversión total.

que los sectores del petróleo y el gas natural demandarían 5,9 y 5,1 billones, respectivamente, es decir, el 23% y el 20% del total.

Las necesidades de inversión por parte de la industria del carbón (excluyendo el transporte) totalizarían unos 700.000 millones (3%) y los biocarburantes 200.000 millones (o el 1% restante). Todas estas inversiones deberían destinarse, tanto a expandir la capacidad de suministro para adecuarla a la creciente demanda, como a reemplazar las instalaciones existentes y futuras cuya vida útil finalice entre 2008 y 2030.

En su informe, **la AIE destaca también que la actual coyuntura de crisis financiera y económica proyecta una sombra de duda sobre la posibilidad de movilizar a tiempo las inversiones necesarias.** Advierte claramente que la caída de las inversiones podría tener serias consecuencias futuras sobre la seguridad energética, el Cambio Climático y la pobreza energética global. Una desaceleración prolongada de la inversión, especialmente en los sectores del petróleo y de la generación eléctrica, podría limitar el aumento de la capacidad de producción a medio plazo, lo que a su vez acrecentaría el riesgo de déficit en el suministro. En pocos años, en cuanto la demanda empezara a recuperarse, dicho déficit podría conducir a un nuevo repunte de los precios que limitaría el crecimiento económico mundial y socavaría la posibilidad de una recuperación duradera.

### 3.1.3. Un modelo medioambientalmente insostenible

Como resultado del incremento general de la demanda de combustibles fósiles hasta 2030, el Escenario de Referencia del WEO 2009 contempla un aumento rápido de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía<sup>54</sup>.

La totalidad del aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía previsto hasta 2030 en este Escenario (11 Gt) provendría de los países no pertenecientes a la OCDE. Tres cuartas partes de dicho incremento procederían de China (donde el aumento de las emisiones rondará las 6 Gt), de la India (2 Gt) y de Oriente Medio (1 Gt). Por otra parte, las previsiones señalan que las emisiones de los países de la OCDE disminuirían ligeramente.

La tasa de crecimiento del consumo de energías fósiles prevista conduce inexorablemente, a largo plazo, a una concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera superior a 1.000 partes por millón (ppm) equivalentes de CO<sub>2</sub>. **La concentración de este gas que se desprende del citado Escenario conllevaría una elevación media de la temperatura mundial de hasta 6° C, lo que provocaría, casi con total seguridad, un severo Cambio Climático de consecuencias catastróficas y un daño irreparable al planeta y sus habitantes.**

<sup>54</sup> Tras pasar de 20,9 gigatoneladas (Gt) en 1990, a 28,8 Gt en 2007, el informe estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzarían las 34,5 Gt en 2020 y las 40,2 Gt en 2030, lo que implicaría un aumento medio del 1,5% anual durante el periodo 2007-2030.

### 3.1.4. Una factura muy alta en concepto de importaciones de petróleo y gas

Las tendencias recogidas en el Escenario de Referencia del WEO 2009 también despiertan inquietud en el campo económico. Las previsiones dejan entrever un nivel cada vez más elevado de gasto en importaciones de energía, lo que constituiría una pesada carga económica para los importadores.

La AIE prevé que los precios del barril de petróleo en dólares reales de 2008 repunten con la recuperación económica hasta alcanzar los 100 dólares en 2020 y los 115 dólares hacia 2030. En consecuencia, se estima que el grupo formado por los países de la OCDE gastaría de media cerca del 2% de su PIB en importaciones de petróleo y gas hasta 2030 <sup>55</sup>.

La creciente concentración de las reservas mundiales convencionales de petróleo y gas en manos de un pequeño grupo de países, incluidos Rusia y los países de Oriente Medio ricos en recursos, podría reforzar el poder de mercado de dichos países y su capacidad para influir en los precios. Según cálculos de la AIE, los beneficios acumulados en concepto de exportaciones de gas y petróleo por parte de la OPEP durante el periodo 2008-2030 rondarían los 30 billones de dólares, una cifra que casi quintuplica los obtenidos en los últimos veintitrés años.

E incluso en el caso de que se alcanzara un compromiso global para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, tal y como se supone en el Escenario 450 del World Energy Outlook 2009 de la AIE, los países de la OPEP deberían aumentar su producción en 2030 respecto a los niveles actuales en 11,4 millones de barriles diarios. En ambos escenarios asistiríamos, por tanto, a un aumento del poder de mercado de la OPEP.

### 3.1.5. Incertidumbres y riesgos en la producción de petróleo

En el World Energy Outlook (2008), la AIE aborda el análisis detallado de las tendencias históricas de producción de 800 campos de petróleo que en 2007 totalizaron más del 60% de la producción mundial. Los resultados obtenidos muestran que la tasa de declive observada para los campos que han sobrepasado su cenit productivo promedia un 6,7% anual a nivel global y que este porcentaje podría elevarse al 8,6% en 2030.

Por otra parte, si definimos la tasa de declive natural (o tasa de declive subyacente) como la caída de la producción anual que hubiera tenido lugar si no hubiese sido corregida mediante un programa adecuado de inversiones en tecnología, resulta que dicha tasa promediaría a escala mundial un 9% anual (un 2,3% más que la tasa de declive observada) <sup>56</sup>.

<sup>55</sup> La carga será incluso superior para la mayoría de los países importadores no pertenecientes a la OCDE: China sobrepasaría a Estados Unidos poco después de 2025, mientras que el gasto de India en importaciones de petróleo y gas superaría al de Japón poco después de 2020. Expresadas en dólares (de 2008) el valor de las importaciones de petróleo y gas en la Unión Europea podrían suponer cerca de 671.000 millones en 2030, frente a los 463.000 millones de 2008 y los 336.000 millones de 2007. Esta evolución comportaría que el ranking mundial de gastos en importaciones de petróleo y gas estaría encabezado por la Unión Europea, seguida de China (570.000 millones de dólares), Estados Unidos (430.000 millones) e India (300.000 millones).

<sup>56</sup> Las proyecciones de la AIE indican que en 2030 la tasa promedio de declive natural post-cenit habrá experimentado globalmente un incremento porcentual de un punto, situándose en torno al 10%. Ello obedece a que todas las regiones experimentarían una caída en el tamaño medio de los campos en producción, al mismo tiempo que en la mayoría de ellas se asistiría a un desplazamiento de la actividad desde tierra hacia aguas marinas.

Para satisfacer el crecimiento de la demanda y al mismo tiempo compensar el declive comentado, la industria petrolera tendrá que desarrollar de aquí a 2030 una nueva capacidad productiva cercana a los 64 Millones de barriles diarios (Mbd)<sup>57</sup>. Y el tiempo apremia, ya que, en 2015, la nueva capacidad requerida sería de 30 Mbd.

La pregunta es ¿podrá la industria del petróleo hacer frente a este desafío? Los riesgos a afrontar y superar en este

empeño son, en todo caso, muchos y en diferentes campos.

Otros de los riesgos más importantes, de cara a la seguridad de suministro de petróleo, reside en las incertidumbres existentes en torno a la concreción de las inversiones necesarias<sup>58</sup>. Los principales obstáculos que podrían limitar o retrasar estas inversiones en los países productores son esencialmente:

- Aquellos asociados a las políticas de control del ritmo de extracción

### La crisis del petróleo

#### Cuestiones clave de índole técnica

- Desde la década de los ochenta los nuevos descubrimientos no reponen el petróleo extraído.
- Los costes de exploración y producción están aumentando como consecuencia de que cada vez se trabaja en regiones más remotas, en ambientes más extremos y se perfora a mayor profundidad, lo que conlleva un creciente desafío tecnológico.
- La producción mundial de petróleo convencional en los campos actualmente en explotación está experimentando un declive promedio del 6,7% anual y este podría alcanzar el 10% si se descuidan las inversiones y no se introducen mejoras técnicas.
- La industria del petróleo está experimentando una alarmante escasez de personal, muy especialmente de científicos y técnicos altamente cualificados.
- La relación entre la energía obtenida mediante la extracción de petróleo y la energía consumida por este mismo proceso (o EROEI) está declinando de forma muy rápida, lo que significa que cada nuevo barril de reservas añadido tiene un contenido energético neto inferior.

#### Cuestiones clave de índole geopolítica

- La producción de petróleo en treinta de los cincuenta y cuatro estados productores ha sobrepasado ya su cenit, mientras que en otros diez se observa una tendencia al estancamiento, lo que significa que en el futuro el suministro de petróleo dependería básicamente de catorce países, muchos de ellos integrados en la OPEP.
- La producción de petróleo convencional ajena a la OPEP ya ha superado el cenit y ha entrado en declive.
- El mundo sería cada vez más dependiente de las exportaciones de la OPEP. Este último punto implica la consolidación de un mercado oligopolista, no competitivo y un peligro cierto para la existencia de un "libre mercado" del petróleo.

<sup>57</sup> Un volumen que equivale a más de seis veces la capacidad existente hoy en día en Arabia Saudita.

<sup>58</sup> Como se ha comentado, cubrir la demanda mundial de petróleo prevista entre 2007 y 2030 requiere una inversión acumulada cercana a los 5,9 billones de dólares (del 2008). De esta cantidad, aproximadamente el 80% correspondería a actividades de exploración y producción, el 16% al sector del refino y el 4% al del transporte. El 75% de la inversión acumulada en exploración y producción de petróleo prevista para el periodo citado correspondería a países que no pertenecen a la OCDE y, en la mayoría de estos países, la movilización de las inversiones requeriría superar no pocas barreras legislativas, normativas y comerciales.

de recursos ejercidas por los gobiernos.

- Los derivados del “petronacionalismo”, que impide o limita el acceso de las compañías privadas internacionales a la explotación de los recursos.
- Los ligados a la inestabilidad política, amenazas terroristas o conflictos militares.

También pueden poner en peligro la seguridad del suministro, causando interrupciones temporales de este, las disputas entre países productores y de tránsito, así como los causados por conflictos o atentados terroristas que bloqueen las rutas comerciales a los mercados o dañen las infraestructuras de transporte. Para prevenir este tipo de imprevistos, los países de la OCDE mantienen las denominadas reservas estratégicas<sup>59</sup>. Otros grandes consumidores, como China, también están adoptando políticas preventivas similares.

### 3.1.6. Proyecciones sobre el suministro global de petróleo a medio y largo plazo

A medio plazo, el balance global entre la oferta y la demanda de petróleo puede calcularse sin demasiadas dificultades. La principal fuente de incertidumbre es la posible incidencia de ciertos imprevistos como los retrasos en la inauguración de los proyectos de producción, así como la cancelación o aplazamiento indefinido de algunos de ellos. Como resultado de una inversión insuficiente, diversas fuentes han señalado la existencia de un riesgo

potencial de que la oferta no llegue a satisfacer la demanda en algún momento del periodo 2011-2015. En la actual coyuntura de crisis, dicho peligro se ha visto postergado en el tiempo por la caída de la demanda, pero en los próximos años, el desplome de las inversiones que ha acompañado a esta caída puede provocar un agravamiento del riesgo, especialmente si la salida de la crisis se tradujera en una rápida recuperación de la demanda.

Existen numerosas proyecciones sobre el futuro del suministro global de petróleo en el horizonte del 2030. Todas ellas son el resultado de diferentes modelos, basados en aproximaciones metodológicas y datos de partida diversos. En general, tales proyecciones muestran una marcada dicotomía. Por un lado tenemos aquellas que no ven dificultades insuperables en el horizonte del 2030. Por otro, existen pronósticos más pesimistas que advierten que el mundo está alcanzando ya el cenit de la producción de petróleo convencional (*peak oil*), o lo hará en las próximas dos décadas, por lo que resulta urgente reducir la demanda y propiciar un desarrollo rápido de sustitutos.

Un análisis comparativo de catorce pronósticos recientes elaborados entre 2006 y 2008 <sup>60</sup>, concluye que, **a pesar de la existencia de múltiples incertidumbres, es probable que el cenit de la producción de petróleo convencional tenga lugar antes de 2030 y que existe un riesgo significativo de que dicho momento se concrete en esta década.** Frente a este riesgo, resulta verdaderamente preocupante constatar como la mayoría

<sup>59</sup> Véase la publicación: “Sistema de respuesta de la AIE ante situaciones de emergencia en el abastecimiento de petróleo”. AIE, 2010.

<sup>60</sup> Uker, 2009.

de países no están considerando seriamente aplicar políticas preventivas y de gestión de riesgos.

### 3.1.7. Incertidumbres y riesgos en la producción de gas natural

Diversas fuentes consideran que el gas natural podría erigirse en el combustible de la transición hacia la economía de baja intensidad en carbono que el mundo persigue. Sin embargo, para ello es preciso gestionar satisfactoriamente algunas incertidumbres y riesgos.

Como ocurre en el caso del petróleo la tasa de declive de la producción en los campos de gas actualmente en explotación constituye un factor primordial para determinar qué nueva capacidad de producción y qué inversiones son necesarias para garantizar la futura demanda global. Para calcular dicho declive, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) presenta en el World Energy Outlook 2009 un estudio detallado sobre las tendencias históricas en la extracción de gas natural de cerca de 600 campos, que representan el 55% de la producción mundial. Este estudio muestra que, como resultado del progresivo agotamiento de los yacimientos, casi la mitad de la capacidad de producción existente hoy en día en el mundo tendría que ser sustituida en 2030. Esto significa un volumen equivalente a dos veces la actual producción de Rusia. La AIE estima que en el horizonte citado sólo

cerca de un tercio del total de la producción provendría de campos explotados en la actualidad, a pesar de las continuas inversiones realizadas en los mismos.

Las tasas de declive en aquellos campos de gas que han superado su cenit productivo son más bajas en los campos más grandes, y mayores en los campos marinos que en los campos terrestres de tamaño similar. La media de declive post-cenit observada en los campos de gas más grandes del mundo es de un 5,3% anual. Sobre la base de esta cifra y las estimaciones del tamaño y la distribución por edad de los yacimientos de gas en todo el mundo, la tasa anual de declive post-cenit de la producción global ha sido estimada en torno a un 7,5% (un porcentaje ligeramente superior al calculado para los yacimientos de petróleo).

La AIE advierte que **existen incertidumbres sobre si las infraestructuras necesarias para desarrollar las reservas y recursos de gas natural, así como para transportar el gas desde los países productores a los principales centros de demanda, podrán ser construidas a tiempo**, especialmente si se tienen en cuenta las barreras económicas, geopolíticas y técnicas existentes para la inversión.

Uno de los riesgos más importantes de cara a la seguridad del suministro global de gas natural reside en las incertidumbres existentes en torno a la concreción de las inversiones necesarias<sup>61</sup>.

<sup>61</sup> Como se ha comentado, cubrir la demanda mundial de gas natural prevista entre 2008 y 2030 en el Escenario de Referencia del World Energy Outlook 2009 requiere una inversión acumulada cercana a los 5,1 billones de dólares (de 2008). De esta cantidad, aproximadamente el 59% correspondería a actividades de exploración y producción, el 31% al sector del transporte y distribución y el 10% restante a proyectos de gas natural licuado (GNL). Es significativo destacar que cerca del 70% de la inversión mundial prevista en proyectos de GNL durante el período 2008-2030 y más de la mitad de la requerida por el sector de exploración y producción, así como por el del transporte y distribución de gas natural, corresponderían a países que no pertenecen a la OCDE. Esta aclaración resulta pertinente porque, de manera similar a lo expuesto para el caso del petróleo, en la mayoría de estos países la movilización de las inversiones requeriría superar no pocas barreras legislativas, normativas y comerciales.

Los riesgos geopolíticos también resultan evidentes si tenemos en cuenta que la AIE pronostica que el conjunto de los países no pertenecientes a la OCDE absorberían la casi totalidad del aumento previsto en la producción mundial de gas natural entre 2007 y 2030 <sup>62</sup>.

En su Escenario de Referencia, la AIE prevé que el comercio internacional de gas crezca sustancialmente, desde 677.000 millones de metros cúbicos en 2007, a alrededor de 1,07 billones de metros cúbicos en 2030.

### **3.1.8. Proyecciones sobre el suministro global de gas a largo plazo**

La Agencia Internacional de la Energía asume en su World Energy Outlook 2009 que si las inversiones previstas no se retrasan, el cenit de la producción global de gas natural (“peak gas”) no se producirá antes del 2030. Sin embargo, algunos analistas argumentan que dicho cenit se alcanzaría en una fecha próxima a 2030, incluso si además del gas procedente de fuentes convencionales se considera el aportado por las no convencionales.

Otros autores<sup>63</sup> sitúan el cenit de la producción convencional en torno a la misma fecha, pero consideran que si a dicha producción se le suma la procedente de fuentes no convencionales, el cenit se retrasaría unos diez años.

## **3.2. EL MODELO ENERGÉTICO ESPAÑOL**

### **3.2.1. El modelo energético español y la evolución de la demanda energética en España**

El modelo energético español presenta desgraciadamente circunstancias muy similares a las del modelo energético global, en lo que respecta a su sostenibilidad. España importa gas, petróleo, carbón y uranio para sus centrales térmicas y nucleares, siendo un país totalmente dependiente energéticamente. Estos combustibles generan, además, graves impactos ambientales y no aseguran el suministro a medio y largo plazo. El sector energético español es, además, el principal responsable de las emisiones de GEI en nuestro país, causantes del calentamiento global. Y según todos los análisis, el actual modelo energético augura un alza continuada en los precios de la energía.

Pese al impulso que se ha intentado dar a las energías renovables, éstas se encuentran aun con una implantación muy limitada y su incidencia en el consumo energético global está lastrada por el incremento continuado de la demanda.

Por otro lado, no parece que exista una discusión a fondo sobre la relación entre el aumento desbocado de la demanda energética y el incremento del bienestar, entendiéndose de forma generalizada que el crecimiento económico ha de venir indefectiblemente asociado a un mayor consumo energético.

<sup>62</sup> En términos absolutos, Oriente Medio debería cargar sobre sus espaldas el mayor aumento en la producción y en las exportaciones, ya que la región posee las mayores reservas y tiene los costes de producción más bajos. Irán y Qatar contabilizarían la mayor parte del crecimiento de la producción, mientras que África, Asia Central (en particular, Turkmenistán), Estados Unidos y Rusia también experimentarían un crecimiento significativo.

<sup>63</sup> Mohr y Evans, 2007.

La intensidad energética española (consumo total de energía primaria por unidad de PIB), que desde 1990 y hasta recientemente ha mantenido una tendencia creciente, contraria a la del conjunto de los países europeos de la UE-15, parece confirmar la tendencia decreciente iniciada en 2005; no obstante, el ritmo de mejora es inferior al observado en promedio en la UE-15, situándose actualmente en 5800 GJ/mil\$. Algo semejante ocurre con la intensidad de carbono (emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB producido) en nuestra economía, actualmente de 400 t CO<sub>2</sub>/mill\$.

**El motivo de la peor evolución de la intensidad energética (y de carbono) en España, en relación a la europea, es principalmente estructural**, debido a que han ido adquiriendo mayor peso sectores de elevado consumo energético directo o indirecto (por su incidencia en el consumo de electricidad o el uso de transporte) y bajo valor añadido. Los más significativos son la construcción (que

arrastra el fuerte consumo energético de sectores asociados como el cementero y el transporte, así como la movilidad asociada a la urbanización dispersa), y el turismo de bajo coste (con el consumo energético asociado de hostelería y transporte). Mientras tanto, otros países de la UE-15 han hecho evolucionar su economía hacia actividades más productivas y de menor consumo de energía.

Además, tanto el consumo de energía per cápita (140 GJ/hab) como las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita (9,6 t CO<sub>2</sub>/hab), que partían de unos niveles inferiores a la media europea, se están aproximando rápidamente a este nivel. Estos últimos factores, aunque se pueden considerar indicadores del nivel de vida, han aumentado por encima de lo que sería deseable en relación al crecimiento del bienestar y han contribuido a alejarnos de la senda de cumplimiento de los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto.

Al analizar la demanda energética, lo interesante es descubrir no sólo qué sectores son los que más aumentan esta demanda, sino además saber si lo hacen porque están aportando más valor añadido a la economía y cómo evoluciona su eficiencia energética. **Los resultados de este análisis para el caso español concluyen que entre 1980 y 2006 el sector que más ha impulsado el crecimiento de la IE ha sido el transporte de mercancías y viajeros.** El aumento de la inmigración, el empleo y la renta per cápita han impulsado el consumo energético de los hogares por la compra de viviendas y electrodomésticos, y es el segundo sector que más influye en la IE<sup>64</sup>.

**Figura 3.1. Evolución de la intensidad energética. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (2009).**



<sup>64</sup> Véase Mendiluce, 2010. Tesis Doctoral "La intensidad energética en España: claves para entender su evolución".

En definitiva, el transporte es el principal sector impulsor de la demanda energética en España y del empeoramiento de la intensidad energética. Un problema es que las estadísticas energéticas oficiales no recogen la desagregación de este consumo entre los distintos sectores que lo demandan, lo cual impide vigilar y controlar su evolución. **Otra cuestión importante es que el sector eléctrico es un consumidor muy importante de energía para la generación de electricidad.** Esta concentración del consumo energético en dos sectores que proveen de servicios energéticos al resto de los sectores económicos, hace que sea necesario calcular la asignación a cada sector del consumo energético asociado a su demanda de transporte y de electricidad (esto es los consumos indirectos), tal y como se muestra en la figura 3.2.

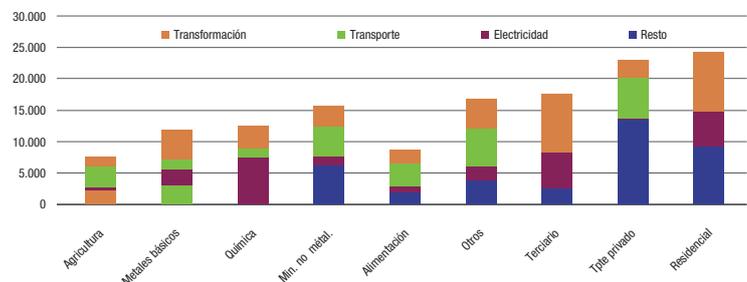
Cuando se analiza la evolución de los consumos directos e indirectos de los distintos sectores entre 1995 y 2005, se llega a las siguientes conclusiones:

- Existe una fuerte demanda de transporte y de electricidad por los sectores. Las acciones para mejorar la eficiencia energética de éstos se circunscriben principalmente a la gestión de la demanda de transporte y electricidad, puesto que la eficiencia de la producción de esos servicios corresponde a las compañías eléctricas y transportistas.
- El sector residencial es el mayor consumidor de energía en el país cuando se consideran los consumos directos e indirectos, con un 18% del total

para sus hogares y un 17% para sus desplazamientos. En el caso del transporte privado, el incremento de la movilidad y la preferencia por utilizar el vehículo particular para los desplazamientos ha impulsado el consumo de forma significativa.

- La especialización económica condiciona el consumo energético y la evolución de la IE. Los datos muestran que la economía española concentra sus actividades en subsectores de menor valor añadido -productos siderúrgicos, cemento y ladrillo- asociados a la construcción. Pero incluso en actividades menos intensivas en energía, como es el sector de servicios, los datos muestran que la actividad económica se concentra en aquellas ramas -hostelería y el comercio- que necesitan relativamente más energía<sup>65</sup>.
- La demanda de viviendas ha condicionado fuertemente el comportamiento del conjunto del sector industrial, que ha mejorado su eficiencia energética, pero no tanto como lo han hecho

**Figura 3.2. Consumo energético directo e indirecto en 2006 (ktep). Fuente: Elaboración propia**



<sup>65</sup> El alto porcentaje del valor añadido bruto en relación a otros países europeos que ha sido producido por la construcción, la agricultura y el turismo, hace que España sea estructuralmente más intensiva en energía. Un giro del turismo hacia áreas de mayor valor añadido tiene mucho potencial y reconduciría al sector hacia una mayor sostenibilidad energética y ambiental. El descenso de la actividad de la construcción está teniendo de hecho un fuerte impacto en la demanda energética en el año 2008 y 2009.

otros países europeos. En efecto, la industria ha tenido un buen comportamiento entre 1980 y 2006, y los mayores avances se han producido en las actividades industriales más intensivas en energía -metales básicos y minerales no metálicos-. No obstante, a partir de 1995, estas actividades muestran repuntes debido a la fuerte demanda de materiales para la construcción, lo cual les hace responsables de una buena parte de la diferencia de IE con la UE15.

Estas conclusiones invitan a reflexionar sobre el modelo económico español, que está basado en sectores que conducen a la insostenibilidad del modelo energético. **El éxito económico español se ha basado, en una gran parte, en un sector de bajo valor añadido como la construcción en vez de lograrse a través de la educación, la formación y el desarrollo tecnológico.**

El análisis de los consumos directos e indirectos de los sectores ponen de manifiesto que la electricidad y el transporte se han convertido en los principales proveedores de servicios energéticos, esto es, el servicio de dar electricidad para consumos finales (iluminación, calefacción, etc.) y de dar movilidad a familias y empresas. En ambos sectores sus consumos energéticos son muy altos, por lo que cualquier acción para impulsar el ahorro y la eficiencia energética tendrá un efecto muy importante.

### **3.2.2. Situación actual del suministro energético en España**

Según el informe "La Energía en España 2009", publicado por el Ministerio de Industria, Turismo y

Comercio (2010), el consumo de energía primaria en España en 2009 fue de 130.508 kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep), con un descenso del 8,3% sobre el de 2008.

Esta tasa no se había registrado anteriormente en España desde que se elaboran balances energéticos con metodología homogénea (1973). En este descenso registrado en 2009, superior al de la energía final, ha tenido relevancia, además del descenso de la energía final, el cambio de estructura de la generación eléctrica que se viene registrando en los últimos años. En concreto en 2009, el aumento de las producciones eléctricas eólicas, solares y la generación hidroeléctrica, ha permitido un menor recurso a la generación termoeléctrica con carbón y productos petrolíferos, que tienen menor rendimiento por el tipo de tecnología empleada.

Por su parte, el consumo de energía final en España durante 2009, incluyendo el consumo para usos no energéticos fue de 97.776 Ktep, un 7,4% inferior al de 2008. Esta evolución se ha debido al menor consumo en todos los sectores, pero especialmente de la demanda industrial y del transporte. Las condiciones climáticas medias han sido ligeramente más suaves que las del año anterior.

Para reflejar en detalle la situación del suministro energético español se van a introducir los diagramas de Sankey de la energía y el CO<sub>2</sub> energético para nuestro país. Dichos diagramas se han extraído del Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España 2009 (Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad, 2010). Ello permitirá una primera visión global del uso de la energía que se hace en España, así como de uno de sus principales impactos ambientales, las emisiones de dióxido de carbono.

En la figura 3.4 se presenta el diagrama de Sankey correspondiente a los flujos energéticos en España en el año 2008 y su variación respecto a 2007. En él es posible observar la energía que entra en el sistema energético español, tanto con origen doméstico como importado, y cómo esta energía pasa por los distintos procesos de transformación y distribución hasta llegar a los distintos consumos finales, indicando además para cada uno de dichos consumos finales la utilización de los distintos combustibles y la división por subsectores y modos de transporte. También se puede evaluar fácilmente la energía perdida en las distintas transformaciones o procesos de distribución, como medida de la eficiencia del sistema.

Posteriormente, en la 3.5 se presenta el diagrama de Sankey del CO<sub>2</sub> energético en España, el cual permite identificar de manera gráfica y sencilla los combustibles y usos de la energía responsables de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a este sector (incluyendo las pérdidas y autoconsumos, y también los vectores indirectos como la electricidad).

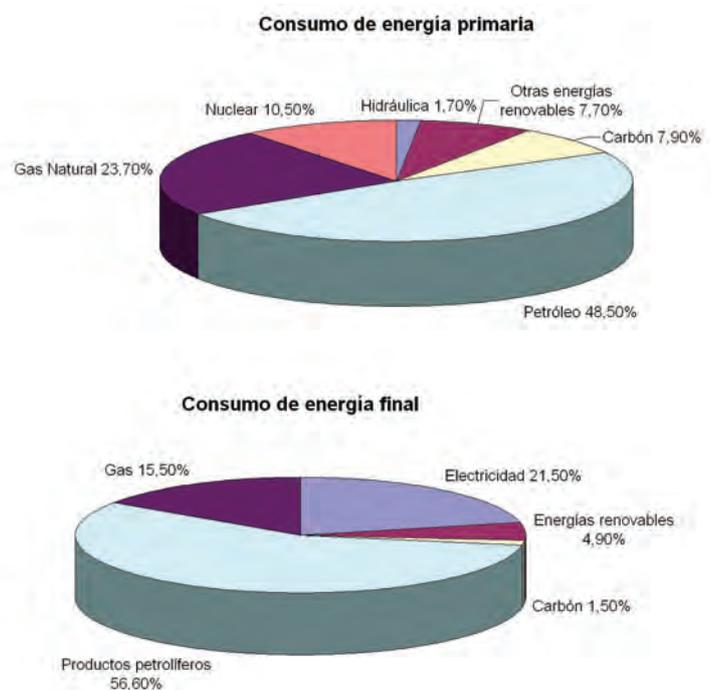
De los sectores demandantes de energía, el transporte y el sector usos diversos (agrupa los sectores residencial, terciario y primario) merecen una atención especial.

La movilidad de viajeros (pasajeros por km) y de mercancías (toneladas por km) ha experimentado durante muchos años un crecimiento que solamente la actual crisis económica parece haber sido capaz de detener<sup>66</sup>, con el transporte por carretera ocupando un primerísimo puesto entre los distintos

modos: 89% y 83% del total de viajeros y mercancías, respectivamente.

Como se puede observar en los diagramas de Sankey, en 2008 el transporte por carretera consumió una energía que equivale a un quinto de la energía total en el sistema (incluyendo las pérdidas y autoconsumos) y aportó un cuarto de las emisiones españolas de CO<sub>2</sub> por uso de energía. Dichas emisiones son además de carácter difuso, por lo que su control y reducción es imperativa. **El sistemático crecimiento del transporte por carretera es una de las principales amenazas a la**

**Figura 3.3. Consumo, en porcentaje según su origen, de energía en España en 2009. Fuente: La Energía en España 2009. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010).**



<sup>66</sup> Se aprecia una reducción del 3% en la energía consumida por el sector transporte de 2008 respecto a 2007.

Figura 3.4. Diagrama de Sankey correspondiente a los flujos energéticos en España en el año 2008 y su variación respecto a 2007. Fuente: Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España 2009

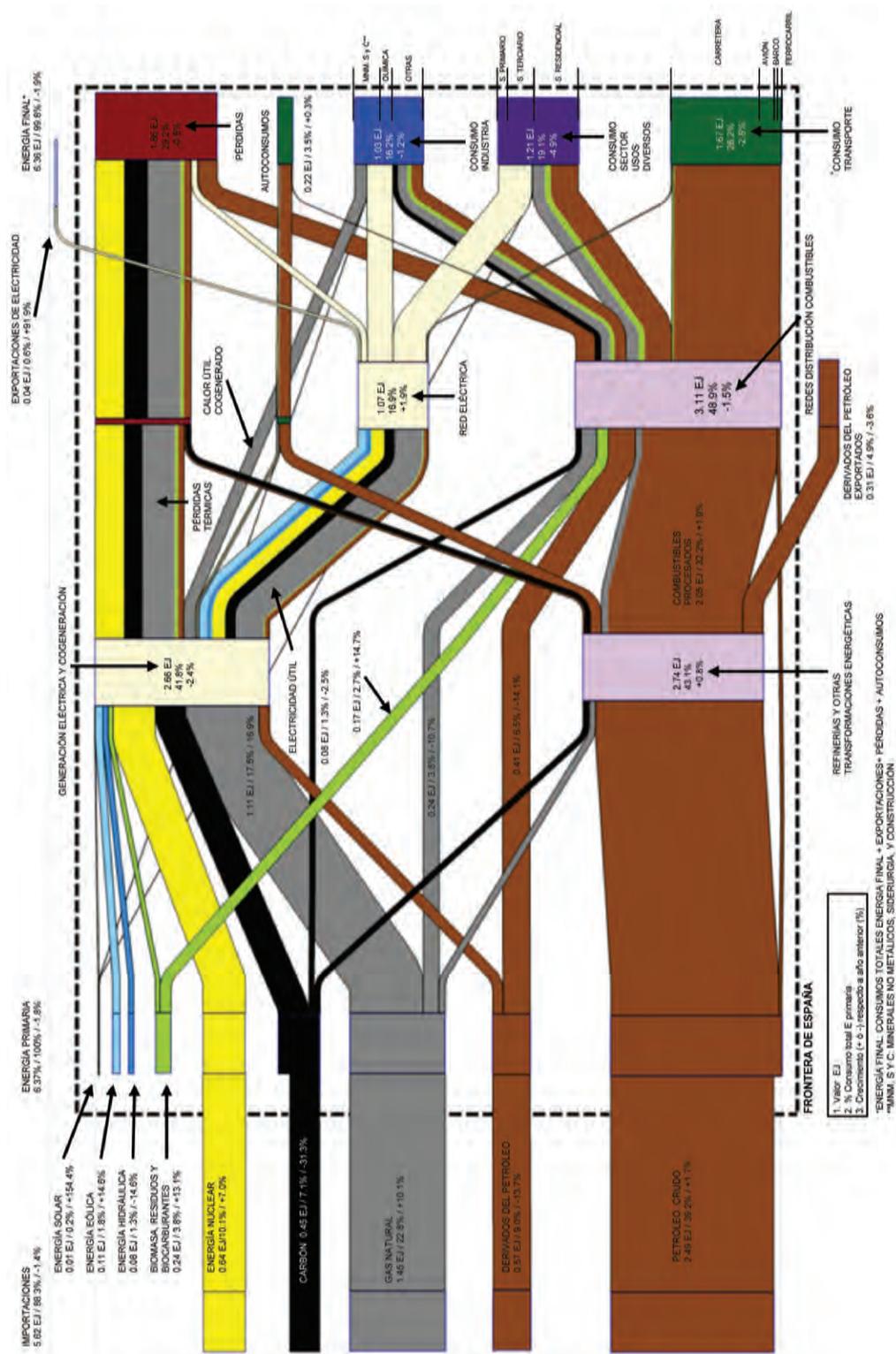
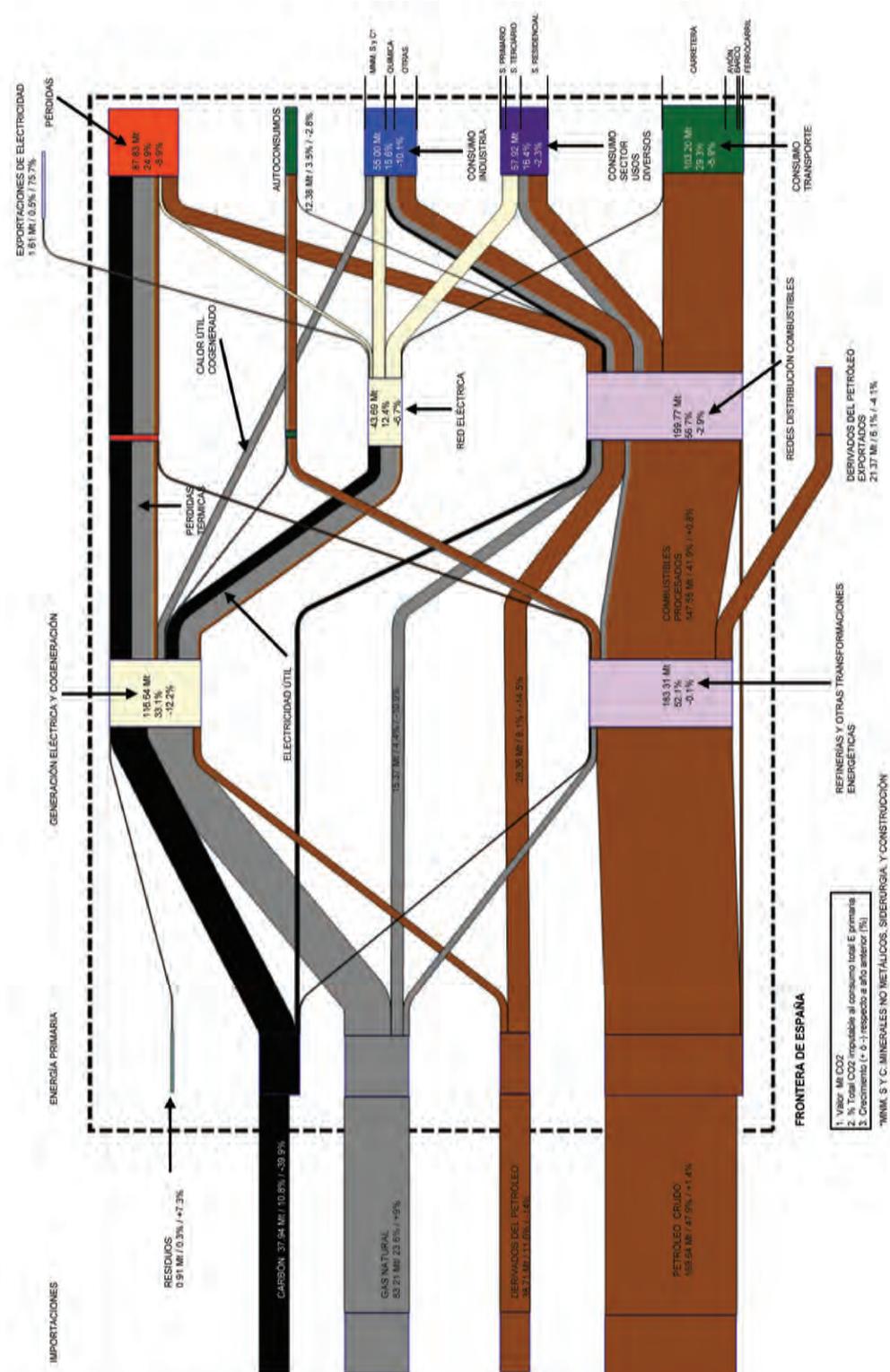


Figura 3.5. Diagrama de Sankey del CO<sub>2</sub> energético en España en el año 2008 y su variación respecto a 2007. Fuente: Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España 2009.



### **sostenibilidad económica y ambiental del sistema energético español.**

A su vez, **los sectores residencial y de servicios son también importantes consumidores de energía**: en conjunto consumen una energía que equivale a un sexto de la energía total y causan la misma fracción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España, y al igual que el transporte, de forma difusa.

Las políticas de eficiencia y ahorro energético (que contribuirían igualmente a la reducción de emisiones) tienen gran potencial en los sectores residencial y servicios, mientras que en el sector transporte, medidas como la electrificación del parque automovilístico, el fomento del ferrocarril eléctrico o una movilidad más sostenible ofrecen importantes perspectivas.

**Una de las causas principales de los altos consumos de energía en los sectores residencial, servicios y transporte es el bajo nivel de precios de los productos energéticos demandados, que no internalizan la totalidad de costes externos en los que se incurre para el suministro.** Así se aprecia en los índices de precios de energía finales que elabora la Agencia Internacional de la Energía, los cuales, para cada fuente de energía, aglutinan

los costes de materias primas, proceso, distribución, todos los impuestos y recargos para el consumidor final y normalizan los efectos de divisas e inflación<sup>67</sup>.

Para abastecer la demanda final, los productos petrolíferos tienen un peso muy considerable (debido a la importante demanda del sector transporte), seguidos por la electricidad y el gas natural. Ello repercute en las transformaciones energéticas, de las cuales más de la mitad corresponde a formas diferentes de energía comercial de la electricidad<sup>68</sup>.

Debe destacarse igualmente el **notable incremento en la instalación de generación fotovoltaica** (2.764 MW nuevos instalados en 2008) a causa del favorable régimen económico establecido en el marco regulatorio y de la rápida respuesta tecnológica y empresarial. Sumada esta generación fotovoltaica al **importante volumen de capacidad eólica en crecimiento sostenido** y al hecho de que la tecnología solar termoeléctrica también ha comenzado su despegue, se ha alcanzado un importante nivel de penetración de generación eléctrica de origen renovable<sup>69</sup>.

En cuanto a la demanda de energía primaria, señalar el gran volumen (en términos relativos) de petróleo crudo que importa España, que se ha de

<sup>67</sup> Efectivamente, el índice Total Energy que contabiliza todas las formas de energías ponderadas por volumen consumido, fue en 2008 en España un 5% inferior a la media de la OCDE. Esto es especialmente relevante en el caso del sector transporte: los productos petrolíferos (atendiendo al valor de su índice concreto) fueron en ese año en nuestro país un 14% más baratos que en la media de los países de la OCDE, debido principalmente a la posición del euro frente al dólar y a la menor fiscalidad.

<sup>68</sup> Respecto a la generación eléctrica, cabe destacar la importante fracción de energía que se pierde en forma de calor, aunque ésta ha disminuido recientemente conforme ha aumentado la eficiencia media del parque (debido principalmente a la entrada de modernas centrales de ciclo combinado y a la menor generación con antiguos grupos de carbón).

<sup>69</sup> Sin embargo, ésta presenta el inconveniente de su carácter intermitente, a pesar de lo cual ha sido integrada en la operación del sistema sin mayores problemas, lo que es un logro que sitúa a España en una posición de liderazgo tecnológico, dada además la escasa capacidad de interconexión eléctrica de los sistemas eléctricos de España y Portugal con los sistemas vecinos. Aun así existen de cara al futuro importantes retos técnicos y de gestión para conseguir integrar las previsiblemente crecientes cantidades de generación intermitente.

sumar a las importaciones de derivados del petróleo (gasóleos principalmente) y el creciente volumen de gas natural. Si a esto se le suma el combustible nuclear (que se enriquece y prepara fuera de nuestras fronteras) y el carbón importado, se obtiene que el nivel de dependencia energética de España respecto al exterior sigue siendo muy alto, superior al 88%, muy por encima de la media europea<sup>70</sup>.

La contribución del conjunto de las energías renovables en el total de la energía primaria ha crecido sostenidamente desde el 5,6% en el año 2000 al 7,1% en 2008, sobre un consumo un 22% superior. Esto se debe principalmente al ya comentado avance en generación eléctrica con fuentes renovables. La biomasa aporta casi la mitad del total, seguida por la energía eólica, con un cuarto del total de las renovables y con uno de los mayores crecimientos en los últimos años. Por detrás se encuentran la energía hidráulica, los biocarburantes y la energía solar, con un espectacular crecimiento de la solar fotovoltaica durante 2008. Como gran asignatura pendiente en el ámbito de las renovables se puede establecer su empleo en usos no eléctricos.

De cara al futuro, **el modelo energético español muestra las mismas tendencias preocupantes que el escenario global: crecimiento de la demanda energética, y elevada participación de los combustibles fósiles** (en especial petróleo para transporte y gas). Aunque está prevista

una importante expansión de las energías renovables, dicha expansión se limita fundamentalmente al sector eléctrico. Los problemas actuales de elevado consumo energético en el transporte y la edificación no parecen fáciles de atacar, bajo los modelos actuales<sup>71</sup>.

<sup>70</sup> Aunque el alto nivel de diversificación de suministradores de gas natural y petróleo mitiga mucho los riesgos de esta dependencia, el sector energético sigue expuesto a un importante riesgo de precio para estos combustibles y sigue teniendo un considerable impacto negativo en nuestra balanza comercial: el coste total de la energía importada en España fue de cincuenta y seis mil millones de euros en 2008, según la agencia tributaria, de los cuales el 55% corresponde a productos petrolíferos, el 18% a gas natural (licuado y en gasoducto), el 7% a carbón y el 0,7% a combustible nuclear.

<sup>71</sup> Hay que destacar que, en general, este examen se ha realizado comparando con la situación en Europa, como referencia inmediata a nivel político y económico. Evidentemente, esto no quiere decir que la situación europea sea la deseable (como se ha podido ver en el análisis del modelo global), y así en términos absolutos los indicadores energéticos y ambientales españoles están muy por encima de los de muchos otros países (especialmente aquellos en desarrollo). Sin embargo, y a falta de indicadores apropiados para la comparación en términos absolutos, parece más relevante a medio plazo la comparación con países similares de nuestro entorno.

**Tabla 3.1. Distribución del acceso a la energía en España. Gasto medio por hogar y distribución del gasto por grupos. Año 2008**

	Gasto medio por hogar (euros)	Distribución del gasto (%)
Total	31.953	100,0
1. Alimentos y bebidas no alcohólicas	4.647	14,5
2. Bebidas alcohólicas y tabaco	617	1,9
3. Artículos de vestir y calzado	1.958	6,1
4. Vivienda, agua, electricidad y combustibles	8.707	27,3
5. Mobiliario, equipamiento y otros gastos de la vivienda	1.662	5,2
6. Salud	1.024	3,2
7. Transportes	4.363	13,7
8. Comunicaciones	971	3,0
9. Ocio, espectáculos y cultura	2.201	6,9
10. Enseñanza	295	0,9
11. Hoteles, cafés y restaurantes	3.069	9,6
12. Otros bienes y servicios	2.440	7,6

**Notas:**

El gasto medio por hogar español en 2008 relacionado con energía fue un 13,7% en transporte y un 27,3 % en vivienda, agua, electricidad y combustible, muy por encima de salud con un 3.2%, enseñanza 0,9% o artículos de vestir 6.1%.

Según el IDAE<sup>72</sup>, el gasto energético de los hogares obedece en un 56,25% al consumo de combustible del vehículo y el resto, 43,75%, a los consumos de la vivienda; porcentaje que se distribuye entre los siguientes conceptos: calefacción (46%), agua caliente (20%), electrodomésticos (16%), cocina de alimentos (10%), iluminación (7%) y consumo por uso del aire acondicionado (1%). Con esta cifras el gasto promedio anual, sobre un consumo medio de 3.300 kilowatios-hora en el hogar y familia, es de 1.600€ anuales, de los cuales 900€ corresponden al combustible del automóvil y el resto a los otros conceptos: calefacción (368€), agua caliente (160€), electrodomésticos (128€), cocina (80€), iluminación (56€) y aire acondicionado (8€).

El porcentaje del total del gasto en energía en cada hogar depende de diversos factores:

- Nivel de ingresos: a mayores ingresos mayor consumo pero también, mayor opción de invertir en medidas de eficiencia energética. El gasto de energía en porcentaje sobre el total de ingresos es menor que hogares con ingresos bajos mientras que el gasto en transporte es mayor. Para hogares con ingresos muy bajos, el consumo de energía se comporta como un bien de lujo.
- Vivienda en zona rural o zona urbana determina el acceso a unos tipos determinados de combustible, así como a un mejor acceso a transporte público en el caso de zonas urbanas.
- Tamaño de ciudad: hogares en lugares con menor número de habitantes tienen un gasto hasta un 40% mayor en combustibles para el transporte que en las ciudades más grandes.
- Nivel de educación: a mayor nivel de educación menor gasto energético y mayor gasto en transporte público que los hogares con niveles básicos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2009

<sup>72</sup> Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Consumo de energía por hogar. [http://www.mma.es/secciones/calidad\\_contaminacion/indicadores\\_ambientales/banco\\_publico\\_ia/pdf/HOGEnergiaPorHogar.pdf](http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/banco_publico_ia/pdf/HOGEnergiaPorHogar.pdf)



## 4. SOLUCIONES DESDE LA DEMANDA

Como se ha visto en las secciones anteriores, parece imprescindible adoptar medidas valientes y ambiciosas para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, si se pretende alcanzar un modelo energético sostenible. También se ha reiterado que para no superar un promedio de 2°C de aumento de temperatura respecto a los niveles preindustriales, como consecuencia del Cambio Climático, es necesario que la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera se establezca en un nivel cercano a las 450 partes por millón de CO<sub>2</sub>eq y que los países desarrollados reduzcan sus emisiones entre un 80 y un 95% para 2050 con relación a 1990.

Como no podía ser de otra manera, las energías de fuentes renovables juegan un papel importantísimo en este escenario. Pero en cualquier caso, no hay que olvidar que la prioridad es el ahorro y la eficiencia energética<sup>73</sup>.

De acuerdo con este orden de prioridad, que es compartido por muchas otras instituciones, en este informe analizamos primero las posibilidades de reducir el consumo de energía, tanto en términos absolutos (ahorro) como en términos relativos (eficiencia). En la sección siguiente se analizarán las soluciones desde la oferta, y en particular, las energías renovables.

### 4.1. URBANISMO SOSTENIBLE

#### 4.1.1. El modelo de ciudad difusa

La tendencia actual de construir ciudad ha ido conformando **unas urbes dispersas en el territorio que separan los usos y las funciones urbanas, haciendo que cada función ocupe un espacio casi exclusivo en una especie de inmenso rompecabezas que une sus piezas con una profusión de infraestructuras varias**. Esta tendencia tiene sus bases conceptuales en los principios del Movimiento Moderno; principios que compusieron la famosa Carta de Atenas.

A medida que crece la ciudad, lo hace la red de carreteras y vías rápidas. También crece el número de viviendas unifamiliares que se manifiesta como la tipología edificatoria preponderante. En muchas áreas metropolitanas en el mundo en general, y en España en particular, a este proceso se le añade otro que va multiplicando el número de condominios cerrados, haciendo que los habitantes de los nuevos desarrollos miren hacia adentro de la urbanización, empobreciendo el espacio público exterior que se limita, en buena medida, a la movilidad en vehículo privado (no hay nueva urbanización que no dedique al menos, el 60% del conjunto de calles al vehículo privado).

En la figura 4.1, el Planeta provee de materiales, agua y energía (el tamaño de las flechas es proporcional al tamaño del flujo) que son transformados en los componentes de la ciudad, que los dispone y organiza en el territorio

<sup>73</sup> No en vano la AIE considera, por ejemplo, que corregir las actuales tendencias insostenibles del modelo energético de la UE requiere de unas inversiones para el periodo 2010-2030 cercanas a 1,8 billones de dólares, de los cuales un 62% correspondería a ahorro y mejoras de la eficiencia, un 21% a renovables, un 8% a la captura y el secuestro del carbono, un 5% a la nuclear y un 4% a los biocarburantes.

conformando un determinado modelo de ocupación (en este caso un modelo de ciudad difusa en el centro del esquema). Los submodelos de movilidad, de edificación y de servicios que acompañan y son parte constituyente del modelo de dispersión, provocan impactos proporcionales al consumo de recursos.

En el territorio, el modelo consume ingentes cantidades de suelo, de materiales y de energía. En la medida que crece la ciudad difusa lo hace el consumo de recursos. Además del crecimiento del consumo ligado a la producción de este tipo de ciudad, crece también el relacionado con el uso. El modelo de ciudad difusa crea urbanización (suburbios) pero no ciudad.

**El modelo de ciudad dispersa se asienta en la construcción masiva de edificaciones, mayoritariamente unifamiliares, lo que supone por unidad de vivienda un consumo significativamente mayor de recursos que el generado por la vivienda en edificios plurifamiliares.** En relación a la energía, es lógico que así sea pues esa tipología edificatoria se encuentra expuesta a los cuatro vientos sin más aislamiento que el que ofrece la propia vivienda. La mayoría de construcciones son ineficientes energéticamente, lo que supone un consumo aun mayor.

Al crecimiento edificatorio le acompaña un crecimiento descomunal de infraestructuras generales y viarias, muy especialmente para unir los usos y funciones separadas previamente. El modelo de movilidad se asienta en un reparto modal donde el vehículo privado tiene el mayor porcentaje de viajes diarios del conjunto de viajes realizados

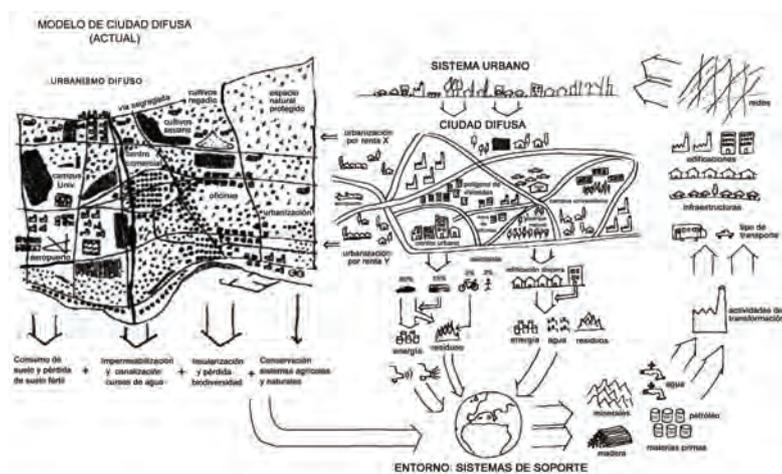
en todos los modos de transporte. Cuanto mayor es el número de viajes realizados en vehículo privado, mayor es el consumo de energía y de emisiones a la atmósfera.

Proveer de servicios a la ciudad difusa supone un consumo de recursos mayor, que se va acrecentando en la medida que se aumenta la ocupación del suelo. Recoger los residuos, proporcionar agua, energía y bienes materiales a tejidos dispersos en el territorio implica, entre otros, un ingente consumo de energía y una emisión de contaminantes (entre ellos, los gases de efecto invernadero) proporcional al consumo energético.

#### 4.1.2. Sobre el marco institucional favorecedor de la ciudad difusa en España<sup>74</sup>

El proceso de ocupación masiva de suelo se ha hecho más intenso en España que

**Figura 4.1. Modelo de ciudad difusa. Fuente: Rueda, S. (2002), "Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja. Una visión de futuro más sostenible", [www.bnecologia.net](http://www.bnecologia.net)**



<sup>74</sup> El texto de este apartado está extraído de Naredo, J.M.: El modelo inmobiliario español y sus efectos. Colloque sur L'urbanisme, la démocratie et le marché. Une expérience espagnole (1970-2010). Institut d'urbanisme de Paris, 15-16 mars 2010.

en otros países europeos. Europa se mueve entre dos modelos inmobiliarios que tienen consecuencias muy dispares. Uno que se apoya en el alquiler y/o la vivienda social, con fuertes regulaciones de la propiedad y la actividad inmobiliaria, y otro con predominio de la vivienda libre y en propiedad, con escasas regulaciones. El primero tiende a conservar el patrimonio construido, el segundo tiende a hacer construcción nueva (en suelos nuevos sobre todo, y destruyendo patrimonio) para obtener plusvalías de la recalificación del suelo. El primero evoluciona más de acuerdo con la demografía (se construye para habitar) y la renta disponible de los hogares, el segundo con el pulso de la coyuntura económica. No es casualidad que Alemania y Suiza, que son los países con mayor vivienda en alquiler, no hayan sufrido apenas el boom inmobiliario y que España, por el contrario, llegara a triplicar en un decenio el precio de la vivienda e incrementara en una cuarta parte el parque construido, erigiéndose en el líder europeo en consumo de cemento (5º del mundo). España tiene

hoy más viviendas y kilómetros de autopista per cápita que el resto de países europeos. Con las autopistas proyectadas se convertirá, también, en el primer país del mundo (hoy es el segundo).

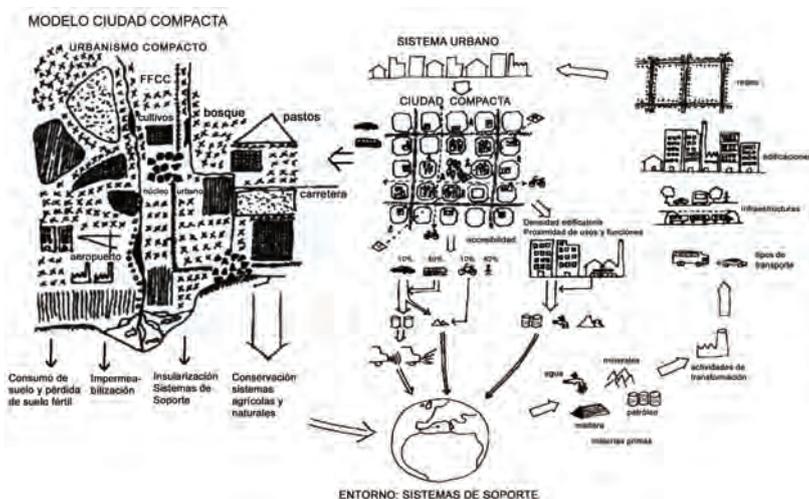
#### 4.1.3. Revertir el proceso de insostenibilidad de la actual manera de producir ciudad

Abandonar el modelo actual de ciudad difusa y el marco institucional que la ha apoyado parece razonable. Como se ha comprobado, este modelo ha destruido territorios y, con ellos, ecosistemas y paisajes. Ha consumido y consume recursos como nunca se vio. Ha emitido y emite contaminantes y gases de efecto invernadero en grandes proporciones. Y ha contribuido a generar una profunda crisis económica en España con casi 5 millones de parados.

**El modelo urbano que podría revertir el proceso insostenible del actual no es otro que el modelo de la ciudad mediterránea, compacta en su estructura y compleja en su organización, eficiente en el consumo de recursos y estable socialmente.** Los distintos trabajos realizados entre otros por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (BCNecología), muestran que el consumo de suelo, de materiales y de energía se reduce significativamente. También los gases de efecto invernadero.

En el esquema de la figura 4.2 se aprecia cómo el flujo de recursos extraídos del Planeta son significativamente menores que los de la figura 4.1, y los impactos que llegan a la Tierra, debidos a la movilidad, la edificación, etc., también. En el

**Figura 4.2. Modelo de ciudad compacta. Fuente: Rueda, S. (2002), “Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja. Una visión de futuro más sostenible”, [www.bcnecologia.net](http://www.bcnecologia.net)**



territorio, el consumo de suelo es mucho más reducido, siendo el impacto de las infraestructuras mucho menor. El modelo territorial que acompaña al modelo de ciudad compacta se conforma en un mosaico de áreas agrícolas, forestales, pastos y, entre medio, la ciudad; podríamos decir que responde a hacer, a la vez, “más campo y más ciudad”.

#### 4.1.4. La concepción de un nuevo urbanismo

El urbanismo actual tiene dificultades conceptuales e instrumentales para abordar los retos de la sociedad de este principio de siglo. La sostenibilidad en la era de la información no se encuentra ni en el plano urbanístico ni en el documento normativo que lo regula, en los términos necesarios para superar los retos citados.

Formalmente, pasar de un plano en superficie (plano urbanístico actual) a dibujar tres planos a escala urbanística, uno en altura, otro en superficie y otro en el subsuelo, permitiría incorporar el conjunto de variables relacionadas con la sostenibilidad y con la sociedad del conocimiento: la energía, el agua, la biodiversidad, las redes... La solución formal atiende a un conjunto de condicionantes e indicadores que acomodan las soluciones a modelos urbanos más sostenibles<sup>75</sup>.

El nuevo urbanismo incluye la creación de una nueva célula urbana para la funcionalidad del sistema. Una célula que trasciende a la manzana y que responde mejor a los objetivos del flujo motorizado -que pretende ir de un punto a otro de la ciudad lo más

velozmente posible y que con las manzanas es muy probable que tenga que pararse en cada cruce- y, a la vez, libera entre el 60 y el 70% del espacio público, hoy sometido a la motorización. La nueva célula urbana que denominamos supermanzana (de unos 400 m de lado) permite articular un nuevo modelo de movilidad basado en los modos de transporte alternativo. La liberación de tal cantidad de espacio ayuda a potenciar el conjunto de usos y funciones del espacio público, incrementando la biodiversidad urbana.

**La edificación en el nuevo urbanismo se articula en una nueva concepción de habitabilidad que se “fabrica” con recursos locales, con la inclusión, de entrada, de los equipamientos y servicios básicos y con la habitación como elemento básico, huyendo de la rigidez de la vivienda actual.**

**Figura 4.3. El urbanismo de los tres niveles. Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.**



<sup>75</sup> Ver Rueda, S. et al. (2008). Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística. www.bcnecologia.net.

***El metabolismo en el nuevo urbanismo busca de manera intencionada el ahorro y la eficiencia energética, también del agua y los materiales y, a la vez, incluye los instrumentos y las instalaciones para la producción de energía renovable. En el nuevo urbanismo se busca la autosuficiencia energética y sistemas urbanos neutros en carbono.***

#### **4.1.5. Las bondades del nuevo urbanismo para mitigar y adaptarse al Cambio Climático**

En primer lugar, el nuevo urbanismo se construye, cuando es para nuevos desarrollos, en continuidad con lo ya construido. La conurbación da oportunidades de movilidad alternativa (transporte colectivo, bicicleta y a pie) al transporte en vehículo privado.

Formalmente, el urbanismo de los tres niveles tiene densidades edificatorias que lo hacen compacto, siendo los edificios plurifamiliares la tipología edificatoria preponderante. Una determinada compacidad permite un número elevado de personas y de actividades en un territorio reducido. Ello supone tener acceso a las actividades y equipamientos básicos de proximidad sin tener que usar el coche. Puede suponer, también, valores de autocontención y autosuficiencia elevados, es decir, que se hacen próximos los lugares de residencia y de trabajo para muchos habitantes. El transporte público tiene la masa crítica (población residente y

laboral) para su implantación con frecuencias competitivas frente al vehículo privado.

La conurbación compacta en términos de consumo energético y de emisiones de gases de efecto invernadero es más eficiente en comparación a desarrollos desgajados y dispersos.

El nuevo urbanismo destina menos del 25% de la superficie del conjunto de calles a la movilidad motorizada y dispone el aparcamiento para residentes a distancias similares (300 m aproximadamente) a las que tiene la población para acceder a una parada de transporte público. Y construye el espacio público y sus usos y funciones a través de una célula urbana de unos 400 x 400 m<sup>76</sup>.

El nuevo urbanismo dispone de infraestructura para acoger al vehículo eléctrico, que reduce el consumo de energía hasta cuatro veces respecto al vehículo que usa derivados del petróleo.

La reducción del número de vehículos y el cambio de tecnología para su funcionamiento han de suponer una rebaja drástica de emisiones, haciendo que el sector de transporte deje de ser el sector de mayor demanda de energía urbana.

El nuevo urbanismo tiene por objetivo que los nuevos desarrollos se acerquen a la autosuficiencia hídrica. En las cubiertas se promueve la instalación de aljibes para agua de lluvia, conectados, en su caso, con el acuífero. Como mínimo, el 35% del agua suministrada a una vivienda debería ser marginal: agua de lluvia,

<sup>76</sup> La unión de éstas da lugar a una red de vías básicas por donde transcurre la motorización, liberando así el interior de dicha supermanzana para otros usos, lo que permite recuperar el 75% del espacio dedicado a la circulación motorizada en la división tradicional de manzanas de 100 m. La restricción de espacio para el coche supone una reducción de vehículos circulando y una reducción de energía y de gases de efecto invernadero. Los desplazamientos a pie, en bicicleta y en transporte colectivo pueden superar el 90% de los viajes.

acuífero, aguas grises, regeneradas... acomodando los usos a su calidad.

El nuevo urbanismo planifica los espacios idóneos para la selección de las fracciones residuales urbanas y pretende, en la medida de lo posible, que la fracción orgánica sea compostada y utilizada "in situ", evitando el transporte de casi la mitad de las basuras en peso. Como es sabido, la mayor parte del consumo energético de la gestión de residuos es debida al transporte.

El nuevo urbanismo se provee de materiales locales para su "producción". Como en ocasiones, dichos materiales son escasos o inexistentes, se propone que estos flujos provengan, en parte, del reciclaje de materiales de deconstrucción, por ejemplo echando mano, de los materiales depositados en los vertederos de residuos de inertes, haciendo la minería pertinente.

El urbanismo de los tres niveles permite incluir una nueva capa de verde en la cubierta que se comporta como un aislante excelente. Si a esta capa verde se le añade el aislamiento que tiene el aljibe de agua, el ahorro de energía es significativo y superior al que podríamos obtener por otros métodos.

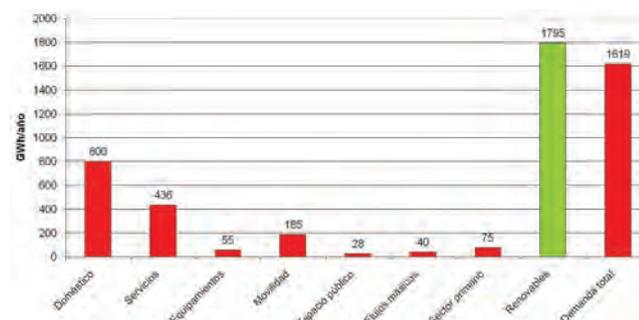
Al final, **la combinación de las medidas de ahorro y eficiencia con las de producción de energías renovables (ver las siguientes secciones) y la fijación de CO<sub>2</sub> de los sumideros locales han de permitir**

**que, al menos, los nuevos desarrollos sean neutros en carbono**<sup>77</sup>.

Con relación a la adaptación al Cambio Climático, el nuevo urbanismo da cierta respuesta a los aspectos más problemáticos: las olas de calor, el suministro de agua y los fenómenos torrenciales provocadores de inundaciones.

El urbanismo de los tres niveles combina diversas medidas que reducen la temperatura en un escenario de ola de calor. En primer lugar, el manto verde en superficie y en altura cubre la mayor parte de la urbanización, reduciendo la emisividad de los materiales sólidos de la urbanización, causantes en buena medida de la isla de calor. En segundo lugar, la reducción de las fuentes de calor emitidas por el tráfico y la de las máquinas y motores que proveen la climatización, el agua caliente sanitaria, vienen a sumarse al efecto reductor de la "capa" verde. Todo ello en el espacio público y como envolvente de los

**Figura 4.4. Balance energético (GWh/año). Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2010).**



<sup>77</sup> Este ejercicio ha sido realizado por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona para ciudades compactas como Vitoria-Gasteiz y Donostia-San Sebastián. Se han calculado para cada sector: residencial, movilidad, etc., los consumos de energía y la emisión de gases de efecto invernadero. El cálculo se ha realizado para distintos escenarios: actual, 2020 (tendencial), 2020 con medidas de rehabilitación y una nueva concepción de la habitabilidad en la edificación; con la aplicación del modelo de movilidad basado en supermanzanas; con un nuevo Plan de gestión de residuos; un nuevo Plan de alumbrado público, etc. y se ha elaborado, también, un escenario para el 2050 que ha de conducir a Vitoria-Gasteiz a ser una ciudad neutra en carbono (exceptuando la industria). A las acciones de ahorro y eficiencia citadas se les suman las de generación de energía renovable y el valor de fijación de CO<sub>2</sub> por los sumideros del municipio. Para la producción de energía se han explorado las fuentes de energía renovable "local". En este caso, el término local se ha extendido al territorio histórico de Álava.

edificios. En el interior de ellos, la ventilación cruzada y, en su caso, la refrigeración con energía solar térmica y máquinas de absorción han de dulcificar los efectos que sobre las personas tienen las altas temperaturas.

**Figura 4.5. Escenarios de consumo energético urbano. Fuente: Elaboración a partir de datos del IDAE y cálculos propios (Informe Cambio Global España 2020/50. Programa Ciudades. 2009)**



**Figura 4.6. Escenarios de emisiones urbanas de GEI. Fuente: Elaboración a partir de datos del IDAE y cálculos propios (Informe Cambio Global España 2020/50. Programa Ciudades. 2009)**



#### 4.1.6. Renovación del tejido urbano consolidado

En todo caso, **el principal reto en las ciudades españolas se cifra en su regeneración integrada** que, en clave de estrategias urbanas europeas, se ha venido en llamar *regeneración urbana* y va a determinar las políticas de la Unión en esta materia. Los proyectos de rehabilitación son preferibles a los proyectos de nuevos desarrollos, más aun teniendo en cuenta el desproporcionado desarrollo urbanístico que ha conocido España en los últimos años y una cierta saturación del parque edificado. Desde el punto de vista urbanístico los proyectos de rehabilitación se pueden realizar con las mismas premisas hasta aquí expuestas, particularmente las referidas a la ordenación de la movilidad en supermanzanas y la diversidad de actividades<sup>78</sup>.

La cuestión de la regeneración urbana en nuestras ciudades se ha desarrollado en el informe Cambio Global España 2020/50. Programa Ciudades, en el que, como resultado de la actuación coordinada sobre diversos temas clave, se concluye que **en un escenario deseable se puede llegar a reducir el consumo energético en un 60% y las emisiones de GEI en un 90%-100% a mediados de siglo.**

Por muchos conocimientos, técnicas y tecnologías que se tengan, si se quiere mitigar el Cambio Climático y alcanzar los objetivos de la sostenibilidad en general y la sostenibilidad energética en particular, reduciendo los consumos e incorporando las energías renovables, se necesita un

<sup>78</sup> En cada caso, no obstante, se deberá evaluar cuáles de las medidas son factibles y cuáles no, elaborando una propuesta de renovación urbana adecuada a los condicionantes y posibilidades existentes. Es el caso de algunas experiencias en marcha como el proyecto de Playa de Palma, que tiene por objeto la reforma en profundidad de una extensa área urbana litoral en declive (de 7 km de costa, 1.000 ha de extensión, 50.000 residentes y 50.000 plazas turísticas), en clave de sostenibilidad económica, social, ambiental y energética, con la meta de alcanzar la neutralidad en emisiones de carbono.

cambio profundo de las estructuras de organización y gestión. **Se requiere un nuevo marco institucional que favorezca el modelo de ciudad compacta y compleja, autosuficiente en recursos y en energía y cohesionada socialmente.** Que propicie un modelo inmobiliario que apoye el alquiler, que conserve el patrimonio construido y lo rehabilite, que construya para habitar y no para especular...

## 4.2. EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

### 4.2.1. Energía y emisiones de la edificación

El sector de la edificación ha sido tradicionalmente considerado como el sector de la construcción de edificios siendo, en consecuencia, la nueva edificación el producto resultante de su actividad. La sostenibilidad del sector se supone que radica en producir edificios sostenibles, como si ese adjetivo, como si esa propiedad fuese aplicable al nominativo edificación; como si los edificios fuesen en sí mismos sostenibles.

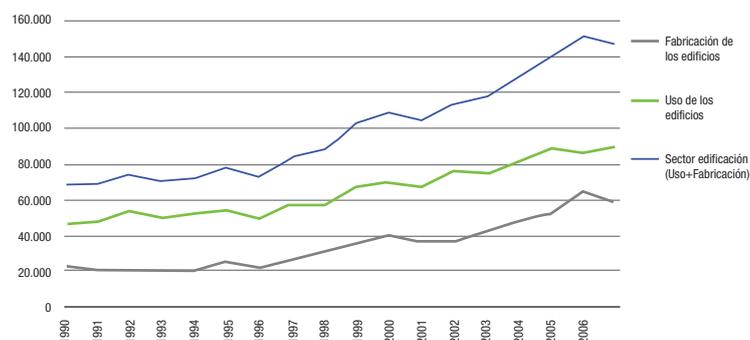
La necesidad que satisface la edificación es la de alojamiento, esto es, aportar las condiciones ambientales necesarias para acoger las actividades sociales. Y hacerlo implica el uso de recursos y la generación de residuos, con lo que supone de relación con el medio. **Que esa relación no sea destructiva, que el medio sea capaz de producir esos recursos y de asumir esos residuos sin que ello implique pérdida de la capacidad de hacerlo en el futuro, supondrá haber logrado unas condiciones de cobijo sostenibles.**

Desde la exigencia social de sostenibilidad, el sector de la

edificación debe ser contemplado como el sector encargado de ofrecer el alojamiento socialmente necesario. Una habitabilidad que debe crearse y mantenerse, con lo que en la actividad del sector no debe considerarse tan solo la construcción de edificios –o la organización del espacio- sino también el mantenimiento de las condiciones de su uso a lo largo del tiempo, lo que habitualmente supone un continuo caudal de recursos y de residuos.

Uno de esos recursos es la energía. Energía que se precisa para conformar los materiales que constituyen los edificios, para transportarlos, para organizarlos en la construcción del edificio, para conseguir mantener las condiciones de habitabilidad en el edificio construido. Y finalmente, para deconstruir el edificio y reintegrar los materiales al medio. Una energía que genera impactos ambientales en su captación, transformación, distribución y uso, impactos ambientales de los cuales merece la pena destacar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por su contribución a un impacto ambiental crítico como es el calentamiento global.

**Figura 4.7. Evolución de las emisiones del sector de la edificación (Gg CO<sub>2</sub>). Fuente: Informe “Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI)”. Albert Cuchí y Anna Pagès. Ministerio de Vivienda, 2007.**



Obviamente, el sector de la construcción ha tenido una dinámica insostenible durante los últimos años, y la actual crisis no es sino consecuencia de unos excesos especulativos que han conducido al sector por caminos alejados de su función social de proveedor de vivienda, de satisfacción de una necesidad básica establecida como un derecho por el ordenamiento jurídico. Pero aunque en el futuro el sector de la edificación debe evitar estas dinámicas, lo cierto es que le cabe la obligación de procurar la habitabilidad. Y reducir las emisiones de GEI debidas a nuestra habitabilidad va a ser un factor clave para el cumplimiento de la utilidad social del sector.

A escala española, en 2007, **las emisiones de GEI imputables al uso de energía por el sector de la edificación supuso el equivalente a un tercio de las emisiones de GEI imputables a la economía nacional.** Un sector, por lo tanto, determinante en la necesaria reducción de la

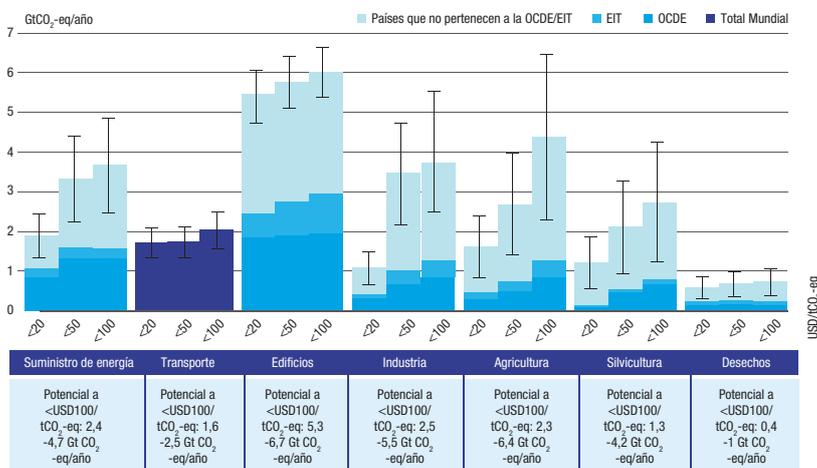
emisividad de nuestro país; o, si se desea enunciarlo de otro modo, la necesaria reducción de la emisividad de nuestra economía va a limitar, en las actuales condiciones, la capacidad de generar y mantener la habitabilidad socialmente necesaria.

A escala internacional, **el IPCC considera que el sector de la edificación presenta, frente a otros sectores usuarios de energía, las mayores oportunidades de reducción de emisiones de GEI** -sea cual sea el precio final de la emisión de una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente- mediante la eficiencia energética, siendo esta estrategia la que a corto y largo plazo va a permitir mayores ahorros de emisiones de GEI en la economía mundial frente a otras estrategias posibles como el uso de energías renovables, el secuestro y confinamiento de carbono o el cambio hacia el uso de combustibles menos emisores.

Los usos más significativos de la energía en edificación -y las de emisiones que conlleva- son la conformación de materiales, el uso de energía en el mantenimiento de las condiciones de habitabilidad durante el uso del edificio y el uso de energía ligado a las actividades que acoge.

En el primer uso se incluyen los procesos de fabricación precisos para producir los materiales que lo componen, y que pueden suponer del orden de 600 kg de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado construido. En el segundo uso se considera el empleo de la energía en mantener las condiciones de habitabilidad, básicamente en climatización -calefacción y refrigeración- e iluminación, que pueden suponer del orden de 15 kg de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado y año en una vivienda usada habitualmente; y en el tercer uso están considerados

**Figura 4.8. Potencial económico sectorial estimado para una mitigación global en diferentes regiones en función del precio del carbono en el año 2030 a partir de estudios ascendentes, comparado con las líneas de referencia respectivas de las evaluaciones sectoriales. Fuente: IPCC.**



básicamente los electrodomésticos, los aparatos de cocción y el agua caliente sanitaria, que pueden suponer otros 20 kg de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado y año. Los valores pueden variar mucho en función del emplazamiento, de características tipológicas, de fuentes de energía, de uso y de equipamiento, pero permiten tener una referencia general y una cierta idea de la proporción entre usos de la energía en edificación.

A menudo se prescinde de las emisiones debidas a la fabricación de los materiales que constituyen el edificio en el momento de reducir los impactos generados por la edificación. En parte, porque se consideran imputables al sector industrial; en buena parte, porque se ignoran. Pero esas emisiones pueden suponer hasta el 50% del total de las emisiones de GEI asociadas al ciclo de vida de un bloque de vivienda estándar, en gran medida debido a que los espacios comunes y los estacionamientos se construyen pero no se climatizan.

#### **4.2.2. Alternativas de reducción de emisiones**

Reducir la demanda de carbono hasta hacer neutral en emisiones la fabricación de materiales de construcción es una necesidad imperiosa para un sector de la edificación sostenible. Ello implica organizar los productos y sistemas para la construcción en función de sus emisiones y establecer esa cualidad como una característica determinante en el mercado, haciendo que esa emisividad se sume a la emisividad que se considera en las certificaciones energéticas de los edificios.

---

**El uso de materiales con menor emisividad, obtenidos con menor intensidad energética, mediante procesos altamente eficientes en el uso de energía, y confeccionados con energía proveniente de fuentes renovables, juntamente con la progresiva inclusión de los costes de transporte desde la puerta de la fábrica hasta la obra -lo que implicará estrategias de uso de los recursos locales- son las necesarias guías para la transformación del sector.**

**Reducir esa emisividad hasta valores de menos de la mitad de las actuales -inferiores a 300 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>- es un objetivo asumible a corto y medio plazo.**

---

Pero para ello también es preciso que las normativas de edificación se adapten para favorecer la baja emisión. Desgraciadamente, la consideración de las emisiones -en general, de los impactos ambientales- en las normativas de calidad técnica en la edificación no es un factor determinante en la definición de estándares. Más bien al contrario, habitualmente las normativas aumentan progresivamente las demandas de calidad sin evaluar las implicaciones ambientales que supone el cumplimiento de esos nuevos estándares, o las enuncian de forma que difícilmente pueden ser asumidas por materiales y técnicas de bajo impacto ambiental. Incluir la baja emisividad como un factor determinante de calidad de los materiales es una necesidad ineludible para plantearse reducirla a cero en 2050.

Más aun cuando la emisividad de GEI del parque de edificios supone un fondo de emisiones que debe ser reducido mediante la rehabilitación. Esa

rehabilitación implica el uso de materiales y sistemas cuya fabricación generará emisiones que deben ser mínimas y compensadas por las reducciones que se obtienen con la intervención al más breve plazo posible: reducir emisiones por la rehabilitación supone, de entrada, un incremento de emisiones causada por la fabricación de los materiales precisos para llevarla a cabo. Y ese incremento debe ser el menor posible -o nulo- para hacer más eficiente la rehabilitación.

### 4.2.3. Reducción de energía en la edificación

El uso de energía para mantener las condiciones de habitabilidad de los edificios supone un uso complejo y determinado por factores asimismo complejos. En climatización -calefacción y refrigeración- el uso de energía está determinado por la combinación de tres factores: la demanda energética, la eficiencia de los sistemas energéticos, y el uso y la gestión del edificio. Del análisis de esos factores y de la relación entre ellos pueden deducirse las acciones y las prioridades precisas para reducir el uso de energía en el mantenimiento de la habitabilidad.

La demanda energética de un espacio se define como la cantidad de energía -a aportar o a extraer- necesaria para mantener las condiciones de habitabilidad en cada momento. Agregada anualmente y expresada en unidades de energía por metro cuadrado y año, la demanda está determinada por el perfil de uso de ese espacio -que define los momentos en los

que debe ser habitable ese espacio, las condiciones de confort y los aportes térmicos debidos al uso- y por el intercambio de energía que ese espacio tenga con los que lo rodean o con el exterior.

Ese intercambio con el exterior está definido por el clima y por las características de la envolvente del edificio, así como por las demandas de renovación de aire que la ocupación y el uso del espacio determinen. La forma del edificio, la transmisión de calor -conductividad e inercia térmica- entre el ambiente exterior y el interior, la incidencia y el control de la radiación solar, son los factores que influyen en el balance térmico de la envolvente, y que determinan una buena parte de la demanda energética. Su adecuado diseño en relación al clima exterior y a las demandas del uso interior son claves en la reducción de la demanda<sup>79</sup>.

Tras el necesario ajuste de la demanda, la eficiencia en la captación, transformación, transporte y aportación de energía a los espacios que deben acondicionarse es el factor a asegurar para obtener la eficiencia energética en edificación. Aumentar el porcentaje de la energía que va a satisfacer las necesidades del usuario respecto a la cantidad total de energía que entra en el sistema, es el objetivo de quien persigue la eficiencia en las instalaciones. La adecuación y el rendimiento de equipos transformadores de energía -calderas, climatizadores- de sistemas de transporte de energía, y de difusores -radiadores, ventiladores, etc.- para servir la demanda, son los factores que determinan esa eficiencia en las

<sup>79</sup> Aunque las estrategias de las que se dispone para ajustar este intercambio energético hacia una demanda energética mínima son múltiples y, en ocasiones, opuestas las unas a las otras, de un modo general se entiende que este ajuste pasa por el control de la radiación solar, el aislamiento térmico de muros y ventanas, evitar infiltraciones de aire y controlar al máximo la ventilación, y asegurar mediante intercambiadores de calor que se recupera la energía contenida en el aire en las necesarias renovaciones. Esas cuatro acciones pueden permitir reducir la demanda energética para clima a valores residuales, próximos a los 10-15 kWh/m<sup>2</sup>, como sucede ya con algunos estándares europeos de climas fríos.

instalaciones que proveen la climatización.

Por último, pero siendo la primera acción que debe considerarse, un uso y gestión del edificio y de los recursos energéticos -sobre la envolvente, sobre las instalaciones- que aseguren la máxima eficiencia del recurso para la habitabilidad que supone el edificio<sup>80</sup>.

En realidad, cuando el problema al que nos enfrentamos es la reducción de la emisividad del parque de edificios existente, las herramientas que hemos diseñado para apoyar la eficiencia energética de los nuevos edificios que vamos a construir pierden gran parte de su utilidad, entre otras cosas porque la escala de la promoción inmobiliaria -a la cual hay que referir la eficiencia energética- pierde su sentido, y porque aparece la figura del usuario real como el elemento determinante.

Así, **en nueva edificación, la eficiencia de las instalaciones se mide desde la conexión de los sistemas con las redes energéticas existentes, o se plantea la obligación normativa de captar energía solar para cubrir un determinado valor de la demanda energética para algunos usos. Pero, ¿es esa escala la más eficiente para satisfacer la demanda con la menor cantidad de emisiones?**

Las experiencias europeas en el desarrollo de sistemas de oferta energética de alta eficiencia en emisiones, incluyendo la aportación de una fracción solar o el uso de biocombustibles (incluyendo biomasa), muestran que la demanda que se acopla

a la escala de esa oferta es, cuanto menos, una demanda energética agregada a escala de barrio. ¿No deberíamos proponer entonces que la necesaria rehabilitación energética del parque edificado deba plantearse a esa escala? ¿No deberíamos desarrollar los instrumentos técnicos, legales y de gestión para intervenir a esa escala? ¿No posibilitaría ello acercarnos definitivamente a un modelo energético en edificación cero emisiones como objetivo ineludible en 2050?

Pero **en la reducción de la demanda de emisiones del parque existente, la racionalización de la actividad del usuario es determinante**. En los casos en los que se ha podido verificar el consumo de viviendas iguales en el mismo emplazamiento -como el caso de antiguos polígonos o barrios construidos con tipologías repetitivas- el factor determinante del consumo es el uso de esas viviendas, que imponen valores de consumo muy diferentes en viviendas con la misma demanda y equipos similares, si no idénticos.

Y es que hay que empezar a pensar que quien consume energía no son los edificios sino las actividades, los usuarios, que los ocupan. Y sobre ellos es sobre quien se debe actuar mediante los adecuados estímulos que les permitan satisfacer sus necesidades de habitabilidad con el mínimo de emisiones asociadas. Y, si eso es así, ¿no debemos considerar que la habitabilidad socialmente admisible comprende ya el acceso a servicios públicos que, excediendo el ámbito del edificio, tiene una escala urbana, como la asistencia sanitaria, la asistencia social, la

<sup>80</sup> Un factor determinante, pero muy poco considerado en la literatura por cuanto el sector de la edificación ha sido, hasta hoy, el sector de la construcción de edificios y no ha sido el sector de la gestión de la habitabilidad existente. Entonces, el usuario es "un fantasma", algo generalmente inexistente en el proceso de promoción del edificio, con lo que el uso y la gestión se tratan como un sujeto elíptico que se supone actúa conforme unas pautas establecidas de antemano en el programa del edificio que se está diseñando.

educación, la cultura, la movilidad, etc.?  
¿No debemos plantearnos que la demanda de energía y de emisiones ligada a la satisfacción de la habitabilidad debe cubrir el acceso a esos servicios?

---

***El necesario aumento de la eficiencia energética y por ende, la necesaria reducción de las emisiones debidas a la edificación, debe plantearse desde una escala urbana, desde la rehabilitación de los barrios, de la ciudad existente, y desde una habitabilidad enunciada desde las necesidades de los ciudadanos, de unos usuarios cuyo convencimiento y apoyo en el cambio hacia una sociedad con un metabolismo bajo en carbono es el factor más determinante.***

---

#### **4.2.4. Escenarios 2020/2050 en la edificación**

El Informe Ciudades y el Informe Edificación del Programa Cambio Global España 2020/50 han analizado las posibilidades de reducción del cambio energético y de las emisiones de GEI en el sector de la edificación residencial al año 2020 y 2050, apuntando resultados realmente significativos para un escenario deseable (ESCD).

### **4.3. TRANSPORTE SOSTENIBLE<sup>81</sup>**

#### **4.3.1. La sostenibilidad en el transporte**

El transporte consiste en una transformación de energía en movimiento que permite superar unos condicionantes físicos determinados de distancia y de tiempo, con ayuda de la información. **La sostenibilidad en el transporte consiste en proveer accesibilidad a personas y objetos (la accesibilidad y no la movilidad es el objetivo de la política de transporte) a un mínimo coste social (costes operativos directos e indirectos, tiempo de viaje y externalidades como afecciones al territorio, al medio y a la sociedad).**

Este coste social mínimo depende de una gama tecnológica de oferta de transporte (infraestructura, vehículo y control), de patrones de comportamiento de la demanda y de la gestión conjunta del sistema (*TSM, Transportation System Management*), y no garantiza necesariamente una sostenibilidad en la acepción comúnmente admitida de calidad de vida que puede disfrutarse actualmente sin comprometer la calidad de vida que podrán gozar las generaciones futuras. La satisfacción de los deseos de movilidad de las personas y de las materias primas y productos acabados que procesan las empresas no siempre puede realizarse con esta especial perspectiva de sostenibilidad en

<sup>81</sup> Referencias utilizadas en este apartado:

- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Libro Verde - Urbanismo y Movilidad. Comisión de Transportes, Madrid, 2007.
- Comisión de las Comunidades Europeas. Libro Verde-Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana. COM (2007) 551. Bruselas, 2007.
- Generalitat de Catalunya. Decreto de regulación de los estudios de evaluación de la movilidad generada. Decreto 344/2006, de 19 de septiembre. Departamento de Política Territorial y Obras Públicas, Barcelona, 2006.
- IDAE. Guía práctica PMUS para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible. Elaborado por TRANSyT, UPM, 2006.
- RAI (2009) La contribución de las TIC a la sostenibilidad del Transporte en España. Coordinadores: José Ignacio Pérez Arriaga y Ana Moreno Romero. Real Academia de Ingeniería, Madrid. ISBN: 978-84-95662-18-7.

el transporte y hay quien considera incompatible movilidad en modos motorizados y sostenibilidad.

A escala mundial, el 95% de la energía que emplea el transporte proviene del petróleo y el transporte genera el 23% (6,3 Gt CO<sub>2</sub>) de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la energía<sup>82</sup>. El consumo energético del sector transporte en España representó el 2006 el 40,6% del total nacional (mientras que el 31,9% de la energía se empleaba en la industria y el 27,5% restante en usos diversos), siendo el

transporte por carretera el consumidor final del 65,26% de la energía al transportar el 84,6% de las toneladas-km y el 88,8% de los viajeros-km del país.

El medio de transporte más sostenible desde el punto de vista energético es la bicicleta (en términos de unidades de energía por viajero y km superados, que es la unidad base de medida del transporte), debido a que triplica en velocidad al caminar; esta supremacía se reduce cuando se contabiliza el tiempo de trabajo necesario para

**Tabla 4.1. Edificación residencial, consumo energético y emisiones (incluye ciclo de vida). Fuente: Informe Cambio Global España 2020/50. Programa Ciudades. FGUCM.**

	Población		Stock viviendas		Consumo energético total		Emisiones totales	
	Número de habitantes	Índice	Viviendas (miles)	Índice	Ktep	Índice	t CO <sub>2</sub>	Índice
1991	38.872.268	95	17.220	82	13.984	69	37.199	68
2001 (*)	40.848.371	100	20.947	100	20.187	100	55.008	100
2006	44.708.964	110	24.289	116	27.199	135	75.787	138
ESCT 2020	49.525.135	121	28.819	137	22.543	112	56.394	103
ESCE 2020			27.306	130	18.739	93	42.993	78
ESCD 2020			25.794	123	15.033	75	30.687	56
ESCT 2050 Sin especulación	50.789.704	124	32.547	156	22.571	112	43.604	79
ESCT 2050 Con especulación			47.574	227	34.679	172	68.580	125
ESCE 2050			29.513	141	15.990	79	26.485	48
ESCD 2050			26.452	126	9.573	47	10.988	20

**Notas:**

ESCT: Escenario Tendencial; ESCE; Escenario Esperable; ESCD: Escenario Deseable

(\*) En este caso se ha tomado el año 2001 como índice 100, ya que el INE utilizó este año, en lugar de 2000, para la publicación de su Censo sobre Población y Vivienda.

<sup>82</sup> RAI, 2009.

adquirir el bien (para evidenciar los costes indirectos) y se incluye el coste de oportunidad de las materias primas y energía en su elaboración hasta el coste de la deconstrucción o disposición (costes de ciclo de vida). **En general, sostenibilidad y velocidad son poco compatibles en los medios de transporte motorizados, excepto cuando se puede compensar los altos costes totales con una gran ocupación, como ocurre en el transporte colectivo.**

El análisis del transporte necesita una perspectiva de sistema, global u holística: hay que contemplar la huella ecológica, las afecciones al territorio y al medio, las afecciones a la sociedad como la seguridad, las emisiones, el uso de recursos no renovables, el tipo de energía y coste de oportunidad de las materias primas hasta la deconstrucción. Con un símil de la hidráulica, sostenibilidad en el transporte se reduce conceptualmente a hablar de un régimen permanente de la movilidad (equivalente a un óptimo global), mientras que cualquier transporte no sostenible representa un régimen transitorio (óptimo local o situación temporal). **Para caminar hacia la sostenibilidad es necesario realizar una reingeniería del transporte, donde la gestión del sistema y por ende la optimización y la investigación, desarrollo e innovación deben tener un papel protagonista.**

#### 4.3.2. La gestión de la demanda

La oferta del transporte acostumbra a ser discreta en tecnología (bicicleta, coche, autobús, ferrocarril, helicóptero, avión, etc.) y física (un número entero de carriles, de vehículos, un tiempo de reacción y de respuesta mínimo,

horarios de trabajo mínimos y máximos, etc.), mientras que la demanda acostumbra a ser continua (flujos de personas, vehículos, mercancías por unidad de tiempo).

Este desacoplamiento en la naturaleza física produce ineficiencias de sobreoferta en los periodos valle y de congestión en los periodos punta, ineficiencias que se intentan paliar jugando con la variable tiempo (semáforos, carriles multiuso) y tarifa, como reguladores tanto de la oferta como de la demanda: se promueve la gestión del sistema de transporte o TSM (*Transportation System Management*) ya estudiado hace décadas, recientemente asociada a la parte más versátil del sistema, la demanda, con la potenciación de las TIC en forma de *Transport Demand Management (TDM)*.

A finales de la década del 1950, época de acelerado desarrollo económico y de nacimiento de los primeros modelos de simulación de los flujos de transporte en Chicago (*Chicago Area Transportation Study, CATS*), Susan Owens estableció el axioma *predict and provide* para proveer capacidad a las necesidades de demanda de movilidad, especialmente de tráfico en EEUU. Tal axioma no es sostenible, ni tenía en cuenta que el transporte en vehículo privado presenta una demanda potencial ilimitada (en realidad aparentemente ilimitada, ya que nadie desea viajar todo el día y aunque así fuera, el límite superior vendría fijado por la necesidad de tiempo para hacer otras cosas) y además, deseconomías de escala (costes medios y marginales crecientes con la demanda).

La provisión de capacidad infraestructural, si bien necesaria cuando los niveles de accesibilidad territorial son bajos, no resuelve permanentemente los problemas, sino que puede, incluso, agravarlos y crear otros nuevos

(contaminación atmosférica y sonora, ocupación de suelo, efecto barrera, accidentabilidad, etc.). La constatación de este fenómeno y las crecientes necesidades de financiación de las grandes infraestructuras conllevó a reformular (siquiera implícitamente) el principio desarrollista en *predict-and-underprovide*, resultando la congestión un efecto permanente y creciente en los entornos urbanos y metropolitanos. Esto se debe a que, en la mayor parte de los casos, las posibilidades de crecimiento de la capacidad de las carreteras crecen a un ritmo más lento que el tráfico, en parte generado por la propia infraestructura.

A final de la década de 1980, hubo que cambiar la estrategia por el principio alternativo *predict-and-prevent*; es decir, la posibilidad de las herramientas de análisis de la demanda de predecir el crecimiento de los flujos a medio y largo plazo, han de llevar a plantear soluciones orientadas a controlar dicho crecimiento, y sobre todo sus impactos negativos sobre el medio social y natural. Así surgen estrategias *win-win* atendiendo los problemas de movilidad, pero evitando efectos nocivos, en otras palabras, buscando la *movilidad sostenible*.

La planificación integral -económica, social y ambiental- debe considerar todos los efectos. Por ejemplo, la mejora o ampliación de una carretera puede reducir congestión y mejorar el tiempo de viaje, pero el aumento de velocidades puede aumentar los problemas de contaminación y ruido, ser negativo desde el punto de vista de la seguridad y la eficiencia energética, aumentar los costes de operación y potenciar el fenómeno de suburbanización urbana.

**El axioma desarrollista ha hecho crisis y nos encontramos delante un nuevo paradigma cuyo punto de**

**inflexión puede situarse en la demolición de carreteras y viaductos urbanos que se construyeron como símbolos de desarrollo moderno y el cuestionamiento de los valores de progreso y bienestar asociados al vehículo privado;** en este conjunto de medidas se incluyen soterramientos del viario, su protección con pantallas, reducciones de capacidad del viario aumentando aceras, etc.

En la década de 1990 se recupera y desarrolla el concepto de *gestión de la demanda*, aplicaciones ensalzadas por el uso de las TIC. Las estrategias de planificación y gestión se diseñan ahora no sólo desde el lado de la oferta de infraestructuras y servicios de transporte, sino combinándolas con medidas para controlar y gestionar la demanda.

#### 4.3.3. Estrategias y medidas de gestión de la demanda

Para lograr el objetivo general de una movilidad sostenible pueden aplicarse acciones desde el punto de vista de las infraestructuras, de la tecnología (vehículo, energía, TIC), y/o bien de *gestión de la demanda*. Estas últimas pueden estructurarse en torno a las siguientes estrategias generales:

- *Reducción del parque de vehículos*, con el consiguiente ahorro de espacio de aparcamiento y de inmovilizado en activos volátiles con el tiempo, haciendo innecesario el ser propietario de un vehículo para atender las necesidades de desplazamiento; el ejemplo estandarizado sería el *car-sharing*.
- *Reducción del número de viajes*, con una planificación urbanística adecuada (de integración, densidad mínima, di-

versidad de usos y autocontención), convirtiendo viajes unipropósito en viajes multipropósito, o evitando, en general, los viajes innecesarios (las estructuras tarifarias con “bajada de bandera” y no integradas o el *road pricing* ayudan en este sentido a reducir la demanda de viajes).

- Reducción del número de vehículos-km, mediante el aumento de la ocupación de los distintos medios de transporte, o la reducción de las distancias entre origen y destino (de nuevo, la planificación urbanística adecuada); el *carpool* sería un ejemplo.
- Aplanar las horas-punta, con una distribución más uniforme de los flujos del tráfico durante las horas del día y disminuyendo así la congestión del tráfico en las horas punta; la tarificación de congestión o impuesto pigouviano ayuda en este sentido.
- Equilibrar la utilización del vehículo privado y el transporte público, distri-

buyendo el espacio viario entre los modos más eficaces en términos de flujo de personas transportadas (no de vehículos); la potencia de la mayor ocupación del transporte colectivo hace que sus costes sociales unitarios sean inferiores a los respectivos del vehículo privado (excepto en las horas valle como la noche o en zonas de muy baja densidad de demanda como urbanizaciones periféricas).

- Promoción de modos de transporte no mecanizados (*eco-movilidad o modos soft*), como los viajes en bicicleta y a pie, que facilitan, además de beneficios ambientales, una mejora de la calidad de vida de las ciudades y un urbanismo de proximidad, enriquecedor para las relaciones ciudadanas.

Estas seis estrategias pueden alcanzarse mediante la aplicación de una serie de medidas (ver Anexo 1 de este capítulo), la mayoría de las cuales están recogidas en la *Guía práctica PMUS*<sup>83</sup>.

Tabla 4.2. Principales estrategias y medidas de gestión de la demanda.

	Road pricing	Control parking (pago, duración, nº plazas)	Prioridad al TP	Carriles bici	Prioridad peatonal	Traffic calming	Teletrabajo	Restricción accesos	Carpool	Carsharing	Planes tte. para empresas	Horarios flexibles de trabajo	Campañas de concienciación	Planificación conjunta usos del suelo y tte.	Permisos de movilidad negociables	Impuestos
1. Reducción parque										X				X		X
2. Reducción viajes	X	X		X	X		X		X		X		X	X	X	X
3. Reducir veh/km								X	X		X					
4. Aplanar horas punta	X						X				X					
5. Equilibrio coche/TP	X	X	X					X			X	X	X	X	X	X
6. Promoción modos soft				X	X	X				X			X	X	X	

<sup>83</sup> PMUS: Guía práctica para la elaboración e implantación de planes de movilidad urbana sostenible. IDAE, 2006.

#### 4.3.4. Agrupación de medidas: “policy packages”

Para lograr los objetivos de planificación **es necesario diseñar un conjunto adecuado de medidas buscando sinergias entre ellas**; por ejemplo, el peaje urbano puede financiar la mejora del transporte público.

También debe buscarse la complementariedad entre las medidas, como apoyar la medida de restricción de acceso al coche en determinadas zonas, con un sistema de *park-and-ride*.

Por último habrá medidas que resuelvan los problemas creados por otras; son las medidas compensatorias. Así el impacto de restringir el acceso a un centro comercial en coche, se puede contrarrestar con una nueva línea de autobús con parada en la entrada, o un acceso directo desde la estación de metro.

En la elección del “paquete” adecuado de medidas hay que tener en cuenta las características locales, pues aunque los objetivos sean los mismos, los paquetes de medidas no son transferibles a todos los lugares con la misma eficacia. Hay que utilizar, por tanto, procesos de aprendizaje inteligente –tipo *benchmarking*– buscando la optimización de resultados y la eficiencia en las inversiones.

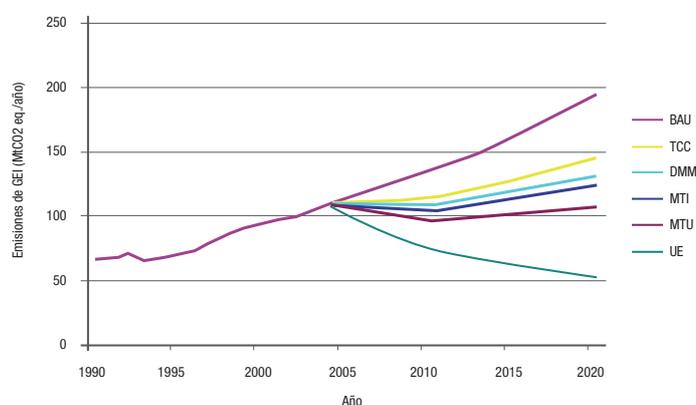
En todo este proceso, **la participación pública y una adecuada campaña de información-concienciación, es un elemento clave para conseguir involucrar a la ciudadanía en el proceso de cambio de ciudad y pautas de movilidad.**

#### 4.3.5. Impacto de la aplicación de medidas de gestión del transporte sobre la reducción de emisiones de GEI

Una importante y ambiciosa reducción de emisiones en el transporte constituye un imperativo para lograr el cambio hacia una economía baja en carbono de forma que las emisiones a mediados de siglo sean al menos un 80% menos que las de 1990.

La figura siguiente define el escenario tendencial de las emisiones de GEI en nuestro país, con un crecimiento tendencial del 3,7% anual (BAU), y el escenario de reducción (RED), que supone un objetivo de disminución de GEI del 20% en el horizonte del año 2020, pasando por el cumplimiento del Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión en 2010 (+ 37% sobre el nivel de 1990). Esto supone una reducción global de emisiones sobre el escenario tendencial entre 2005 y 2020 de 1.145 Millones de tCO<sub>2</sub>.

**Figura 4.9. Escenarios de emisión de GEI procedentes del transporte, 2004-2020. Fuente: Elaboración de Andrés Monzón y Francesc Robusté a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente (2007).**



Este nivel de mitigación sólo puede conseguirse con una clara política de reducción de emisiones, que incluya un conjunto de medidas de eficiencia en todos los campos. Este cambio de tendencia debería lograrse mediante una serie de actuaciones, buscando sinergias entre ellas y coordinando institucionalmente con un Plan de Acción, que debe incluir las políticas de gestión de la demanda.

Las medidas para lograr dicho nivel de reducción podrían agruparse en los siguientes capítulos: mejoras tecnológicas en vehículos y combustibles (TCC) e introducción masiva de los vehículos eléctricos, cambio en la distribución modal de mercancías (DMM), equilibrar la distribución modal de la demanda interurbana de viajeros (MTI); distribución modal equilibrada de la demanda urbana de viajeros, reducción de la longitud y número de viajes motorizados (MTU) y uso eficiente de los vehículos (UE).

Este conjunto de medidas permitiría reducir a casi la cuarta parte las emisiones tendenciales en 2020. Este esfuerzo supondría reducir casi a la mitad las emisiones previstas en el período 2005-2020, aumentando de forma progresiva la intensificación de las medidas. Lógicamente los objetivos para cada grupo de medidas son discutibles, pero pretenden hacer ver que se necesita una acción coordinada para lograr un objetivo tan ambicioso. Por otra parte, el potencial de reducción de estas medidas dependerá de cómo se apliquen, el control y seguimiento que se haga.

### 4.3.6. Conclusiones

Cabe un nuevo modo para gestionar el sistema de transportes, desde el lado de la demanda. Los cambios no son tan visibles inmediatamente como los que pueden lograrse con nuevas infraestructuras o sistemas tecnológicos innovadores, pero pueden ser más efectivos a medio y largo plazo, por cuanto suponen un cambio de comportamientos de los usuarios que, con las opciones adecuadas, pueden racionalizar su decisión de viaje en términos de movilidad sostenible.

Las experiencias muestran que las posibilidades de las políticas de gestión de la demanda son múltiples y los efectos abundantes, y en muchos casos contrarios entre sí, o para distintos objetivos. Por tanto, hay que realizar una investigación comparativa y un análisis de las experiencias realizadas para extraer conclusiones generalizables a otros ámbitos geográficos, culturales, económicos y ambientales. A todo ello puede contribuir en buena medida la *nueva cultura de la movilidad* que propone el Libro Verde del Transporte Urbano de la Unión Europea (2007).

## 4.4. DEMANDA SOSTENIBLE DE ELECTRICIDAD

### 4.4.1. Gestión de la demanda eléctrica

El consumo eléctrico mundial durante las últimas dos décadas se ha incrementado en más de un 30%, en especial en los países de la OCDE, que gastan el 57% del total, y la tendencia proyectada a 2020 y 2030 continúa siendo ascendente a un ritmo

aproximado de 1,3% (según la AIE). En las sociedades modernas, el alto crecimiento económico y el aumento de la población ha provocado una mayor dependencia eléctrica especialmente en los sectores terciario y residencial. En concreto, en España, el consumo de electricidad en los últimos diez años se ha multiplicado por dos y, el crecimiento de la potencia punta de demanda se ha incrementado en un 70%.

Este escenario, plantea la **necesidad de un nuevo modelo energético sostenible, donde la gestión de la demanda eléctrica y la eficiencia energética contribuyan a aumentar la seguridad del suministro, reducir la demanda, los costes de generación e infraestructuras eléctricas.**

Asimismo, la creciente preocupación medioambiental y las exigencias europeas respecto a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> llevan a prever, para dentro de diez años, un sistema eléctrico en el que las energías renovables no-gestionables cubran casi la mitad de la demanda en término medio. La integración de tal cantidad de generación intermitente es un reto a solucionar en los próximos años, donde se tendrán que aplicar los avances que el progreso tecnológico ofrece en relación a la gestión de la demanda flexible, la generación distribuida y el almacenamiento de energía eléctrica. Es decir, conceptos como los de micro-red que minimicen las perturbaciones en la red de distribución.

La demanda eléctrica coincide en el tiempo con su consumo, puesto que la energía eléctrica no se almacena. Así, el sistema eléctrico debe suministrar en cada momento la potencia que el

consumidor requiere. Por otro lado, como consecuencia de un patrón de consumo poco racionalizado, caracterizado por un alto consumo durante el día y muy bajo por la noche, el sistema eléctrico está actualmente sobredimensionado.

**La principal función de la gestión de la demanda es la planificación de aquellas medidas destinadas a influir en el modo de consumir energía,** de manera que se produzcan los cambios deseados en la curva de demanda.

Estas medidas se clasifican normalmente en tres grandes grupos:

- *Modulación de carga:* consiste en el establecimiento de precios diferenciados según el periodo horario de manera que se incentiva consumir más en horas valle y menos en horas punta. Actualmente se utiliza ampliamente en el sector industrial y en menor medida en el residencial.
- *Reducción de las puntas de consumo:* a través de la "interrumpibilidad", herramienta que tiene el operador del sistema y que consiste en reducir el consumo de clientes industriales en momentos de saturación de la red. Con estos consumidores se firma un acuerdo en el que se establece el tiempo de preaviso, el máximo tiempo de duración y la potencia máxima que se compromete a reducir.
- *Medidas de reducción del consumo de energía:* se refiere a las medidas de eficiencia energética y ahorro energético que permiten reducir el área bajo la curva de demanda, minimizando el coste energético y optimizando el uso de los recursos naturales.

#### 4.4.2. Optimización de la demanda eléctrica

##### 4.4.2.1. Tecnologías de optimización

Desde un punto de vista energético, una gran parte del ahorro proviene de la mejora de la eficiencia de las diferentes tecnologías disponibles, aunque no hay que olvidar la reducción de la demanda que se obtiene mediante un adecuado diseño constructivo o industrial. Es decir, en las primeras etapas de diseño se debe atender al aspecto energético en su conjunto, enfatizando en medidas de conservación de la energía como estudios del entorno (clima, orientación, etc.) y sistemas pasivos que minimicen la demanda, como aislamientos

térmicos, ventilación natural y aprovechamiento de la luz natural, especialmente en el sector terciario.

Por otro lado, para obtener un mayor grado de eficiencia en la transformación de energía eléctrica, como energía final, a energía útil consideramos las siguientes tecnologías:

##### 4.4.2.2. Tecnologías propias de ahorro de energía eléctrica

###### a) Iluminación

En Europa, la iluminación representa un 20% del consumo eléctrico global y en España un 17%. En el sector que mayor repercusión tiene su consumo es el de los servicios, seguido del sector residencial y el alumbrado público.

Según la Unión Europea, el potencial de ahorro energético en dichos sectores se acerca al 40%, por un lado, gracias a los avances tecnológicos y comercialización de lámparas eficientes de bajo consumo y, por otro, a las iniciativas y legislación que favorecen su utilización.

En la tabla 4.3 se muestran las tecnologías más utilizadas en iluminación y sus principales características.

Existe un etiquetado obligatorio que informa de la eficiencia energética según el tipo de lámpara, aunque la elección de la misma dependerá de diversos factores como la potencia, tiempo de uso o calidad de luz<sup>84</sup>.

Tabla 4.3. Principales tecnologías de iluminación.

Tipo de lámpara	Índice reproducción cromática (0-100)	Vida útil (horas)	Eficiencia luminosa (lm/W)
Incandescente	100	1.000	9-17
Fluorescente	60-95	8.000-12.000	65-100
Fluorescente Compacta	85	8.000-12.000	45-70
Halógena	>90	2.000	15-27
Vapor Mercurio	50-60	12.000-16.000	30-60
Vapor Sodio alta presión	20-80	10.000-25.000	50-150
Vapor Sodio baja presión	0	6.000-8.000	160-180
Halogenuro metálico	60-85	6.000-15.000	75-90
Led	60-80	50.000	80-107

<sup>84</sup> Por ejemplo, las fluorescentes compactas tienen un retardo en el encendido y son adecuadas para tiempos de uso prolongados; las lámparas de sodio de baja presión destacan por su alta eficiencia, aunque su reproducción cromática y rendimiento del color es muy bajo por lo que se utilizan para alumbrado público; la tecnología LED (Light Emitting Diode), a pesar de su alto coste, ofrece ventajas como la capacidad de regulación y variación de color además de la posibilidad de mejorar su eficiencia hasta un 40% a medida que se mejore la tecnología.

### b) Electrodomésticos eficientes

Según el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), el 16% del consumo eléctrico es debido a los más de 70 millones de electrodomésticos que hay en las viviendas españolas.

Debido a la importancia de estos consumos, la Comisión Europea propuso una normativa sobre etiquetado energético que entró en vigor en España en 1994. Desde esta fecha todos los fabricantes identifican cada electrodoméstico con un nivel de eficiencia que se indica con una letra, de la A a la G. Al consumo medio se le asignó el punto intermedio entre las letras D y E: la clase A corresponde a un consumo de energía inferior al 55% de la media y la clase G a un consumo 125% superior a la media.

Por término medio, la diferencia de coste entre un electrodoméstico de clase A y otro de clase C se amortiza en cinco años, gracias a su menor consumo.

Asimismo, el mantenimiento en equipos como aires acondicionados es esencial para mantener los niveles de eficiencia, así como buenas prácticas en el uso de electrodomésticos de gran consumo como el frigorífico. Otra actuación que ayuda a reducir el consumo hasta un 5% en viviendas es desactivar el *stand-by* de dispositivos electrónicos.

#### 4.4.2.3. Tecnologías de climatización

La climatización es la carga más importante en el sector servicios y

residencial, alcanzando niveles de consumo del 55% y 60% respectivamente. Al mismo tiempo, otra característica destacable de la climatización es la de ser gestionable, es decir, debido a la inercia de la carga existe la posibilidad de actuar sobre ella durante un breve periodo de tiempo sin alterar de manera significativa el confort.

La máquina frigorífica, por compresión, es la principal tecnología para la generación de frío y en las últimas décadas, la tecnología de bomba de calor ha incrementado enormemente su penetración en los sectores residencial y doméstico<sup>85</sup>.

Encontramos iniciativas de la gestión de la demanda principalmente en EE.UU., a través de la automatización de termostatos inteligentes remotos de climatización. Son programas de gestión activa de cargas, donde la "utility" o empresa agregadora de demanda ofrece un incentivo por la potencia reducida y energía dejada de consumir.

El interés de la gestión de este tipo de cargas es creciente, debido al incremento de demanda de electricidad por la utilización de tecnología eléctrica para la generación de frío y calor.

#### 4.4.2.4. Tecnologías de almacenamiento de energía

En la medida en que el almacenamiento se convierta en una fuente flexible y económica se utilizará como una herramienta más de gestión de la demanda.

<sup>85</sup> La bomba de calor se utiliza en sistemas de refrigeración (funcionando como una máquina de Carnot en sentido inverso), y aprovechando la característica del ciclo reversible en el que opera, es capaz de invertir el ciclo y funcionar como una máquina de calefacción.

Uno de los futuros retos del almacenamiento es contribuir a la integración de energía renovable intermitente y no-gestionable. Así, en los momentos de exceso de generación renovable (periodos valle), fundamentalmente por la noche, las fuentes de almacenamiento se podrán encargar de capturar la energía excedentaria y posteriormente en periodos de saturación o de alta demanda devolverán la energía al sistema.

Las prestaciones del almacenamiento de energía varían considerablemente dependiendo de la tecnología que se utilice. Las podemos clasificar en tres grandes grupos:

- *Tecnologías mecánicas.* Como el bombeo en embalses; volantes de inercia diseñados para funcionar como motor en caso de caída de tensión, o la compresión de aire para posteriormente extraerlo a través de turbinas para poder verter energía sobre la red.
- *Tecnologías electroquímicas.* Baterías avanzadas como las de Lón-Litio, cuyas aplicaciones crecen día a día. Una de las más destacables es su utilización en la alimentación de vehículos eléctricos. Ocupan poco espacio y su vida útil cada vez es mayor, sin embargo no son válidas para aplicaciones de grandes dimensiones por su elevado coste. Asimismo, las baterías de Sulfuro de Sodio (NaS) se encuentran diseñadas para trabajar desde los 500 kW de potencia instantánea hasta aplicaciones muy superiores y pueden emplearse en el nivelado de carga o el recorte de picos o servi-

cios auxiliares dada su rápida respuesta.

- *Tecnologías eléctricas.* Supercondensadores: son dispositivos eléctricos que parten de la idea de almacenamiento de energía de un condensador. Tienen gran capacidad de potencia y un tiempo de recarga muy rápido. Por ello, su función es complementar los problemas de la red en cuestiones relativas a la potencia, no a la energía.

Desde hace unos pocos años han aparecido los ultracondensadores e hipercondensadores cerámicos (con voltajes superiores a los 3000 V) para almacenar energía eléctrica directa por procedimientos electrostáticos.

Los ultracondensadores eléctricos de doble capa se forman con nanotubos de carbono activado y su degradación es muy reducida, se cargan y descargan con extraordinaria rapidez y su vida alcanza decenas de miles de ciclos. Al contrario que las baterías, no interviene ninguna reacción química en el proceso. Son menos pesados, menos contaminantes y más eficientes. Simplemente tienen una capacidad un millón de veces superior a los de los televisores.

Pero esto es sólo el principio. Los hipercondensadores que se están ensayando están hechos de sustancias como el titanato de bario, óxido de aluminio y vidrio y multiplican otra vez por un millón la capacidad de almacenamiento<sup>86</sup>.

<sup>86</sup> Por ejemplo, con una unidad de unos 170 kilos instalada en un automóvil (del tamaño de unos litros, en unos años) se podrá almacenar la energía para una autonomía de unos 480 kilómetros y se cargará en cinco minutos.

#### 4.4.2.5. Tecnologías de control o gestión de la energía

Los sistemas de gestión de la energía con el apoyo de las Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, entendidos como procedimientos que permiten informar al usuario final de cuánto, cómo y dónde se consume energía, son herramientas indispensables para optimizar el consumo energético, tanto en el sector industrial como residencial.

##### a) Sector industrial

En febrero de 2010 se publicó la norma UNE EN 16001 de Sistemas de Gestión de Energía cuya finalidad precisamente es normalizar el procedimiento por el cual las organizaciones gestionan un aspecto tan importante como es la energía.

Desde un punto de vista práctico, los principales elementos de un sistema de gestión energética son: equipos de campo para la captación de medidas, ya sean eléctricas, térmicas o energéticas en general; tecnologías de información y comunicación (TIC), necesarias para transmitir de forma inteligente, eficiente y comprensible la información recogida por distintos dispositivos y software que permita el tratamiento almacenamiento y exposición de la información.

De esta forma se podrá tener un control individualizado de las cargas y aplicar tecnologías de control, tales como secuenciadores de arranque y variadores de frecuencia a las cargas para limitar la demanda máxima y potencia contratada, o medidas de compensación de energía reactiva que eviten sobredimensionar la instalación.

##### b) Sector residencial

A pesar de haber aumentado últimamente la concienciación de los consumidores respecto a los problemas medioambientales, la realidad es que los ciudadanos toman pocas medidas para reducir el consumo de electricidad, en parte debido al escaso conocimiento que se tiene de estos aspectos. Un sencillo Sistema de Control de la Energía que aporte información de manera continua sobre el nivel de consumo contribuye a aumentar la "cultura energética" del usuario y, en consecuencia, posibilita la toma de medidas de ahorro energético.

En el mercado actual se están comenzando a comercializar ampliamente desde aplicaciones de domótica que tienen en cuenta el ahorro energético hasta dispositivos enfocados a la gestión de la demanda eléctrica en particular. Entre ellos, podemos destacar los siguientes:

- *Tecnologías de información básicas.* A través de dispositivos visualizadores sencillos dentro del hogar, como pantallas alfanuméricas o dispositivos que cambian de color según el mensaje que se quiere mandar (por ej. alto consumo). El acceso al dato puede provenir de una conexión directa con el contador, o bien de *sub-metering* (medida indirecta dentro del hogar).
- *Tecnologías de control energético.* El siguiente paso en el control energético centralizado es la creación de una HAN (*Home Area Network*), repartiéndose la señal mediante alguna de las redes inalámbricas tipo mesh (Zigbee, Zwave etc.), o cableadas, tipo X10. Añadiendo una pasarela y gracias a las TIC será posible el acceso al estado del consumo (general

o cargas puntuales) desde terminales fuera del punto de suministro como PC o móviles con acceso a internet.

Para finalizar, debemos resaltar que en un mercado liberalizado como el español, todos los agentes tienen su responsabilidad en la gestión de la energía; sin embargo, el papel del usuario final es cada vez más determinante para la consecución de un desarrollo sostenible.

## **ANEXO 4.1. MEDIDAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA PARA UNA MOVILIDAD SOSTENIBLE**

### **Tarifación de congestión**

Es el cobro a los automovilistas por el uso del viario, un bien escaso, durante periodos de alta demanda (la tarifa sería más elevada en las horas de mayor congestión). El llamado "impuesto pigouviano", o "*congestion pricing*" tiene sólidos fundamentos económicos desde hace casi un siglo, pero su aplicación ha tenido que esperar al desarrollo de las TIC. Ya hay numerosos ejemplos en Europa donde se aplica: después de las ciudades noruegas de menor escala durante la década de 1990, Londres (una tarifa fija de "*congestion charging*"), Estocolmo y Milán como "peajes ambientales", etc. La medida tiene un coste político y de aceptación ciudadana notable y conviene estudiar los efectos desbordamiento o *spill-out*.

### **Política tarifaria para incrementar la ocupación**

La medida se basa en aplicar una tarifa a las vías de acceso a las ciudades (desplazamientos con menor ocupación vehicular) en función del número de ocupantes. Los conductores de los vehículos con una ocupación superior a un umbral (2 ó 3 pasajeros por turismo), se verán favorecidos de descuentos en las tarifas al presentar un uso más racional del coche.

### **Control de parking**

Particularmente efectiva en las áreas urbanas con congestión, toda vez que conducir y aparcar son las dos caras de la misma moneda. El control del parking puede consistir bien en su rotación o bien en el pago, o bien rotación y pago, limitación en cuanto al número de plazas o su duración, prioridades, etc.

### **Prioridad al transporte público**

Para que usuarios del vehículo particular lleguen a convertirse en viajeros de transporte público, el transporte que se les ofrezca como alternativa debe ser rápido, confortable, accesible y económico. En este sentido, la prioridad al transporte público podría venir dada mediante carriles reservados (esta medida se detalla a continuación), priorización semafórica, abonos de transporte público, información en paradas, etc.

### **Plataformas reservadas para el transporte público y vehículos de alta ocupación (VAO)**

El desarrollo de plataformas reservadas para el transporte público es un elemento clave para garantizar un tiempo de viaje similar al vehículo privado y consecuentemente incrementar la competitividad modal del transporte colectivo y los vehículos privados con alta ocupación. El objetivo es premiar con una mayor velocidad comercial a aquellos vehículos con más eficiencia por ocupación y que por tanto presentan un valor más reducido en términos de litros de carburante o emisiones por persona-km transportada. Asimismo, esta iniciativa tiene una doble lectura ya que también es una medida medioambiental al evitar la circulación de los vehículos de transporte público en situaciones de congestión y eliminar las perniciosas operaciones de *stop&go*. La dotación de plataformas reservadas puede ser estática o dinámica, mediante carriles temporales con señalización variable (*Bus Lane Intermitent Priority, BLIP*) para maximizar el uso del carril.

### **Carriles bici**

De uso exclusivo para ciclistas, prestando especial atención a su señalización y seguridad, al objeto de potenciar el uso de la bicicleta. Estos carriles han de formar redes que permitan la realización de itinerarios por toda la ciudad, e incorporar elementos auxiliares de aparcamiento, prioridades en intersecciones, etc.

### **Prioridad peatonal**

Esta medida consiste en peatonalizar determinadas calles o zonas, de manera que únicamente puedan ser transitables a pie, con exclusión del tráfico motorizado (salvo emergencias y determinados vehículos de transporte público, vecinos o carga y descarga). Los comerciantes suelen oponerse inicialmente a esta medida hasta que comprueban el flujo económico que proviene de los peatones en vez de los vehículos.

### **Traffic calming**

Bajo este nombre, se agrupan una serie de medidas basadas en el propio diseño del viario de zonas residenciales (resaltos, glorietas, itinerarios truncados, etc.), destinadas todas ellas a reducir la velocidad del tráfico, eliminar el tráfico de paso y en definitiva hacer el entorno más vivible por los residentes locales. En ocasiones, en cascos antiguos, se ha optado por cerrar físicamente el acceso a zonas con bolardos móviles y semáforos accionados con tarjetas inteligentes.

### **Teletrabajo**

Consiste en el uso de las TIC para sustituir al viaje al centro de trabajo, cambiando movilidad por conectividad e incluye medidas que van desde quedarse un día a la semana en casa trabajando, hasta tener la oficina en casa. Pese a que esta medida ya se contemplaba con un gran futuro a mediados de la década de 1980 y el informe Bangeman de 1994 sobre el impacto de las TIC en nuestra sociedad preveía millones de teletrabajos en Europa para el año 2000, su implementación es lenta aunque creciente, debido al marcado carácter de interacción social de muchos trabajos; el perfil típico del teletrabajador es un profesional liberal.

### **Restricción de accesos**

Se reduce el tráfico motorizado en una zona determinada prohibiendo la circulación de determinados vehículos (como camiones o furgonetas de mercancías) en las horas punta, o a vehículos privados, en zonas residenciales, por ejemplo. El uso de tarjetas inteligentes de identificación ayuda a gestionar esta medida, que indefectiblemente aún necesita elementos físicos como bolardos móviles y semáforos para su implementación.

### ***Carpool* o “coche compartido”**

Uso de un vehículo privado entre varias personas que se ha realizado desde siempre informalmente en la misma unidad familiar o con amistades. La alta ocupación utiliza mejor los recursos tanto privados (compartir gastos del viaje) como públicos (ahorro energético, menos congestión) y justifica ciertas políticas a su favor. A mediados de la década de 1970, tras la crisis energética de 1973-74, se potencia especialmente en California lanzando programas de *carpool* en las autopistas mediante un teléfono público que permite hacer la asignación oferta-demanda. Necesita infraestructuras *park-and-pool*, horarios de trabajo regulares y una serie de ventajas como carriles para vehículos de alta ocupación VAO, plazas de aparcamiento sólo accesibles para VAO, descuentos en peajes, etc. Las TIC permiten pasar de la planificación estática a decisiones entre usuarios con intereses comunes en tiempo real, con la excepción de que al final del día conviene tener acceso (vía *carpool* o vía transporte público) al *park-and-pool* donde se dejó el coche por la mañana. La única experiencia española en este sentido la constituye el carril bus-VAO de la N-VI en Madrid, un gran éxito para el desarrollo del corredor del Escorial con autobús por su alta velocidad y regularidad, pero con poca repercusión en el fomento de la alta ocupación de los VAO que hacen servir el carril para 2 o más ocupantes por vehículo.

### ***Carsharing***

Consiste en la disponibilidad de un coche de alquiler en las proximidades del domicilio, como alternativa a tener el vehículo en propiedad, pasando de costes fijos altos y costes variables, a una estructura de costes variables más altos. Tiene ventajas ahorrando espacio de aparcamiento, y si el servicio es gestionado adecuadamente y el usuario tiene una mentalidad planificadora, puede ser competitivo hasta 5.000 km/año.

### **Planes de transporte para empresas**

Pretenden animar a utilizar modos alternativos de transporte para sus desplazamientos al trabajo o estudio (colegios, universidades, etc.), ofreciendo incentivos al *carpooling*, ayuda económica para la utilización del transporte público, facilidades para los que decidan ir en bicicleta (taquillas, duchas, etc.), autocares de empresa, e incluso el *parking-cash-out*, la conversión del derecho a la plaza de parking del empleado en un aumento de sueldo.

### **Horarios flexibles de trabajo**

Permitiendo a los empleados cierta flexibilidad en sus horarios de trabajo (por ejemplo, algunos podrían trabajar de 8:00 a 4:30, otros de 7:30 a 4:00, y otros de 9:00 a 5:30), supondría un aplanamiento de los periodos de hora punta que influiría, de manera directa, en la disminución de la congestión debida al tráfico, a la vez que facilitaría el cambio modal. También puede incluirse en este tipo la posibilidad de horarios comprimidos de 4 jornadas de 10 horas, en lugar de 5 de 8 horas de trabajo, reduciendo a 4 los días de trabajo. Estas opciones se han probado efectivas en la asignación de los turnos de trabajo de los conductores de autobuses en algunas ciudades y pueden generalizarse a nivel empresarial.

### **Gestión de la distribución urbana de mercancías**

Cuotas semanales o mensuales a comercios y transportistas, reserva de plaza de carga y descarga a vehículos híbridos o de baja emisión, construcción de microplataformas logísticas urbanas (este punto se desarrolla a continuación), campañas en cargadores y clientes para explicitar el coste del transporte de mercancías, tarifas de impacto para grandes comercios, incentivos para la distribución no asistida nocturna o en hora en comercios, etc.

### **Plataformas logísticas**

Las plataformas logísticas son una herramienta clave para la potenciación del intercambio modal en el transporte de las mercancías y por la rotura de vehículos de economías de escala mayores en otros adecuados para la distribución urbana (papel *breakbulk*). Estas plataformas se convierten en puntos estratégicos de consolidación de la carga y de transferencia entre las redes capilares de accesibilidad a los puntos de producción y los mercados de consumo y las redes de larga distancia. Es necesaria una optimización de la programación temporal de las rutas para permitir una mayor transferencia entre modos y vehículos.

### **Gestión de velocidad variable del límite de velocidad**

En el contexto actual del parque móvil, el óptimo de velocidad en términos de consumo de carburante y emisión de CO<sub>2</sub> se sitúa cercano a los 70 km/h. Por lo tanto, una reducción de la velocidad media de circulación en aquellas situaciones en que no suponga la creación de un cuello de botella adicional, conllevará mejoras en términos energéticos aunque éstas serían no muy significativas. Adicionalmente, en caso de que el sistema de gestión variable de la velocidad provoque una uniformización de velocidades dentro del flujo de tráfico en situación de saturación, a pesar de mantenerse la velocidad media de circulación, se consigue una reducción de la varianza de velocidades correspondiente a una reducción del fenómeno de stop&go.

### **Campañas de concienciación**

Se trata de motivar al usuario de la necesidad de un cambio en su actitud a la hora de elegir el modo de desplazarse. Iniciativas de este tipo pueden ser campañas del tipo “Día sin coche”, o “Al trabajo sin mi coche”, o las que promuevan el uso de la bicicleta o de los modos públicos de transporte.

### **Planificación conjunta de usos del suelo y transporte**

Se trata de programar conjuntamente el transporte y desarrollo urbano, de manera que se tenga en cuenta la accesibilidad a cada zona. Algunos países han puesto en marcha programas que condicionan la localización de determinadas actividades a su nivel de accesibilidad en transporte público (planes ABC en Holanda), o al revés, se determina un mínimo de accesibilidad en transporte público en nuevos desarrollos periurbanos que se contemplan

como un suministro de servicio básico más del proceso de urbanización<sup>87</sup>. Un elemento de esta planificación conjunta lo constituye el “urbanismo de proximidad” que se comenta a continuación.

#### **Urbanismo de proximidad**

Estas medidas irían encaminadas a reducir el kilometraje asociado a la movilidad obligada en vehículo privado por medio del acercamiento de la residencias de los trabajadores a su puesto de trabajo. Adicionalmente, la vinculación de la planificación urbanística con la existencia de oferta de transporte público es de vital importancia para garantizar una buena accesibilidad de la red de transporte público en los barrios residenciales.

#### **Permisos negociables de movilidad**

Cada persona dispondría de unos derechos de movilidad que podría negociar, como si de títulos de bolsa se tratara, en función de sus necesidades; es decir, podría comprar o vender los kilómetros a los que tiene derecho según las distancias a las que necesite desplazarse.

#### **Impuestos**

Cualquier medida de tipo fiscal que desincentive el uso del coche, desde una subida de la gasolina hasta un incremento en el impuesto de circulación. Deben ser acordes con el principio de sostenibilidad: gravar el uso más que la propiedad del vehículo.

<sup>87</sup> Ver el Decreto de Movilidad Generada de Cataluña, 2006. Ver el Libro Verde del Urbanismo y la Movilidad (2007) del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



## 5. SOLUCIONES DESDE LA OFERTA

Finalmente, y para completar las piezas necesarias para la construcción de los escenarios energéticos deseables, en esta sección se revisan las perspectivas para las distintas tecnologías de generación de energía, tanto de calor y de electricidad, como para el transporte. En función de ello, y de las soluciones presentadas anteriormente, se caracterizarán los escenarios energéticos deseables de cara al futuro.

### 5.1. TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y ELÉCTRICA

#### 5.1.1. Energías renovables

Las energías renovables, por su distribución territorial, disponibilidad y accesibilidad, porque no se agotan y porque tienen muchísimos menos impactos ambientales y emisiones de CO<sub>2</sub> que las convencionales, **están llamadas a desempeñar un papel decisivo en la configuración de un modelo energético sostenible, en el mundo y en España.**

La energía solar es el origen de todas las energías renovables. Todos los ciclos naturales se mueven con ella, y ese movimiento da origen a las diferentes energías renovables como la hidráulica, la eólica, la biomasa y otras. La energía solar irradiada sobre la Tierra es miles de veces superior a la utilizada, pero convertirla en energía disponible requiere tecnología específica.

Como la oferta del sol es variable, dependiendo de la latitud, la estación del año, que sea de día o de noche, ... hacer disponible la energía solar requiere una tecnología más avanzada que en el caso de las energías convencionales y

requiere también capacidad para su integración y sistemas más baratos y ubicuos. Ese es el gran reto tecnológico, económico y social para ofrecer unas posibilidades de generación de energía disponible diferentes y sostenibles.

Los grandes sistemas generadores, emulando a los grandes centros productores con combustible fósil, son una vía a avanzar. En este caso, además de la necesidad de grandes infraestructuras de transporte, existen problemas de factor de potencia, pérdidas en red (efecto Joule y dieléctricas) derivadas de un entorno síncrono donde todos los productores han de acoplarse en unas condiciones impuestas por la red.

Aunque **son los sistemas más pequeños e integrados los que se muestran más flexibles y con un alto potencial de desarrollo en los próximos años.** Estos sistemas son capaces de ofrecer calor (o frío) y electricidad, transformarla en trabajo mecánico, energía potencial, cinética, ... adaptándola al uso en cada momento o almacenándola para una posterior utilización

La energía eléctrica, dadas sus ventajosas características, se está introduciendo como vector energético esencial con un escenario de demanda desde el 25% actual de electricidad a un 40% en el 2020 y un 75% en 2050. El interés de su uso para los vehículos híbridos enchufables y los coches eléctricos coloca en una posición de importancia aun mayor a la explotación de tecnologías de generación de electricidad libre de carbono.

La nanociencia y la nanotecnología están suponiendo una revolución en el sector energético por sus capacidades para el

almacenamiento, sus aplicaciones en energía solar fotovoltaica y en electrónica de potencia.

La situación tecnológica actual y la tendencia futura se describen a continuación para las principales fuentes de energía renovable.

#### 5.1.1.1. Eólica

Existen diversos tipos de máquinas eólicas para distintas aplicaciones: aerogeneradores, que transforman la energía del viento en energía eléctrica para el autoabastecimiento (pequeñas instalaciones) o el vertido a la red eléctrica (parques eólicos); y aerobombas, que transforman la energía del viento en energía mecánica para el bombeo de agua (usadas principalmente en áreas rurales).

En la actualidad, de manera generalizada, los aerogeneradores son de velocidad variable, de potencia igual o superior a 2 MW y de paso variable de pala. El crecimiento en dimensiones y potencia es lento, pero la tendencia es que los parques sean cada vez más parecidos a las centrales convencionales, con gran fiabilidad y adaptación a los requisitos de la red eléctrica.

**En los últimos cinco años la generación de energía eólica en España ha crecido un 192% habiendo periodos en los que se suministra hasta el 40% de la energía eléctrica**

**que se consume.** Los mejores emplazamientos, aquellos que presentan un viento con velocidades medias más altas y continuadas, ya están ocupados. Las localizaciones que actualmente son susceptibles de desarrollo presentan un recurso inferior, aunque esta deficiencia se compensa con el avance técnico de los aerogeneradores, ya que los nuevos desarrollos han sido diseñados con una mayor altura de buje y un mayor rotor para poder aprovechar vientos de menor intensidad. Estas nuevas máquinas son de mayor potencia y presentan además mejores rendimientos, por lo que puede ser interesante en los próximos años el replanteo de proyectos obsoletos mediante la sustitución de las turbinas existentes por otras nuevas (*repowering*).

Una de las mayores barreras que ha tenido que superar la energía eólica ha sido la de adecuarse a los requisitos de conexión a la red. España es un país geográficamente aislado que no cuenta con interconexiones eléctricas fuertes con el resto de Europa.

El futuro de la eólica pasa por una adecuación de las curvas de oferta y demanda. Para ello es necesario un adecuado *mix* energético con otras tecnologías y una integración con otros vectores energéticos como el hidrógeno, la combinación con distintas energías renovables, fotovoltaica, hidráulica y biomasa (mediante bombeo para regadíos) y el almacenamiento energético en forma de energía potencial (bombeo de agua) o química (baterías)<sup>88</sup>.

<sup>88</sup> En este caso, las baterías de ión-litio para parques eólicos son ya un hecho, con tensiones de varios kW, pudiendo entregar energía de varios cientos de kWh. Las baterías de flujo están apareciendo como alternativa al almacenamiento de energía. Operan como una batería convencional y responden en milisegundos, con un número casi ilimitado de ciclos de carga y descarga. Su capacidad de almacenamiento eléctrico (MWh) es prácticamente ilimitada, su limitación será sólo la capacidad de los embalses de almacenamiento de electrolitos. Su coste por unidad de energía (€/kW) es menor que para las baterías convencionales y el costo por unidad de energía (€/kWh) es similar o menor que el de las baterías de iones de litio. Hoy están disponibles hasta de 10 kW, y se espera que en los próximos años se llegue a una potencia de 100 kW. Las reacciones electrolíticas actuales más prometedoras son de Vanadio Redox, Bromo Zinc, Bromuro de Cerio y Polisulfuro Zinc.

Los sistemas híbridos de energía eólica e hidroeléctrica, también corrigen el factor de la aleatoriedad del viento, pero para ser viables deben de cumplir ciertas condiciones geográficas y ambientales. No es necesaria la proximidad de las centrales eólicas a las centrales hidroeléctricas ya existentes, la mayor parte de las cuales se encuentran en zonas protegidas o en zonas con bajo recurso, ya que la red transporta la energía a suficientes distancias.

La eólica marina está en fuerte crecimiento por su potencial de implantación y su bajo impacto ambiental. Además tiene la ventaja de poder considerarse energía de base pues los aerogeneradores pueden trabajar de forma continua y prácticamente a potencia nominal. Las potencias unitarias son mayores y los rendimientos mejores por lo que el futuro pasa por un desarrollo de esta tecnología. Eso se debe a que los vientos fuera de la costa tienden a fluir a velocidades más altas que los vientos en tierra<sup>89</sup>.

En cuanto a la eólica de menor escala, la tendencia es a desarrollos en la integración de los aerogeneradores con otras energías renovables, tanto para aportar electricidad a sistemas eléctricos aislados o conectados, como para generar hidrógeno y/o desalar agua. Cabe destacar el potencial de crecimiento en la implantación de aerogeneradores de pequeña potencia (100W-100kW) destinados al abastecimiento eléctrico de viviendas,

granjas o pequeños núcleos integrados con la red convencional (generación distribuida)<sup>90</sup>.

### 5.1.1.2. Solar fotovoltaica

España es uno de los países de Europa donde el recurso solar es más abundante y homogéneo. Esta característica permite distribuir la potencia instalada en torno a los grandes centros de consumo, en lugar de ajustar dicha distribución a las características climáticas del territorio, lo que permite reducir las necesidades de infraestructuras de transporte y distribución.

Adicionalmente estas instalaciones no requieren de características geográficas específicas para ser productivas. En esto, la solar fotovoltaica difiere de otras fuentes renovables. **En un escenario futuro en el que se desarrollasen formas de almacenamiento de la energía a gran escala, las instalaciones solares podrían satisfacer la demanda eléctrica total nacional del año 2009, ocupando tan sólo un 1,2% del territorio.**

Sin embargo, su implantación ha sido muy lenta: desde el descubrimiento del efecto fotovoltaico (Becquerel, 1839), pasando por el desarrollo de las células de silicio (1954), hasta la implantación de instalaciones fotovoltaicas de tamaño relevante, ha transcurrido mucho tiempo.

<sup>89</sup> La energía potencial generada a partir del viento es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento, por lo que el aumento de ésta en sólo unos pocos kilómetros por hora puede producir una cantidad significativamente mayor de electricidad. Por ejemplo, en una turbina en un lugar con una velocidad media del viento de 25 km/h se produce un 50% más de electricidad que en otro punto con la misma turbina y una velocidad promedio del viento de 22 km/h. En aguas poco profundas (<30 metros) de las costas europeas ya se han instalado más de 600 MW, especialmente en Dinamarca y el Reino Unido, y se proyectan instalaciones de más de 11.000 MW, con aerogeneradores de hasta diez y más MW de potencia nominal.

<sup>90</sup> Existen prototipos que funcionan con una velocidad de viento muy baja, del orden de 2 m/s y con unos diseños integrados, lo que hará posible una implantación en los núcleos urbanos como apoyo a la generación centralizada para electrificación en zonas rurales y bombeo de agua, bien utilizando exclusivamente un aerogenerador o bien utilizando una combinación de placas solares y aerogeneradores.

**En los próximos años se va a producir una revolución importante en esta industria fotovoltaica, apoyada por la bajada de precios, la nanotecnología y las redes débiles, que mediante generación distribuida convertirán el mapa de nuestras ciudades en pequeñas centrales eléctricas para abastecer total o parcialmente las necesidades del sector residencial y parte del transporte mediante el vehículo eléctrico.**

La integración de este tipo de energía en edificios puede darse incorporando los módulos fotovoltaicos como materiales constructivos, en sustitución por ejemplo de tejas en cubiertas o como elemento decorativo (mediante formas y colores) en el entorno urbano.

Las células de silicio monocristalino están alcanzando rendimientos en laboratorio del 25% (frente al 12-15% comercial actual) lo que hace reducir a la mitad las necesidades de superficie por potencia instalada. Asimismo se trabaja en hacer más finas las células, de manera que con el mismo cristal de silicio se consiga fabricar un número mayor de éstas (tecnologías de lámina delgada). Además, los rendimientos están aumentando por la introducción de nuevas tecnologías, que se están demostrando interesantes en laboratorio y que en pocos años estarán en el mercado<sup>91</sup>.

Se espera que entre 2015 y 2020, a estas velocidades de desarrollo

tecnológico, pudiera conseguirse la "paridad de red". Es decir, sería el momento en el que el precio de la electricidad fotovoltaica se redujera hasta equipararse al que pagamos de la red. Entonces se espera un crecimiento exponencial de huertas solares y del sector doméstico. Los expertos auguran incluso cambios profundos en el mercado eléctrico que tendrá que ser necesariamente más distribuido.

Aunque la normativa actual no contempla la hibridación de la fotovoltaica con otras fuentes, renovables (eólica, biomasa) o convencionales (gas natural), para la generación eléctrica, las nuevas tecnologías impondrán esos cambios

#### Nuevas tecnologías en la fabricación de células fotovoltaicas

Células de concentración, para coleccionar energía en una superficie y se transmite por la superficie de la célula. Se han alcanzado rendimientos del 40%.

Células de arseniuro de galio y semiconductores III-V, utilizadas actualmente en aplicaciones espaciales por su alta resistencia a la radiación. Tienen rendimientos comerciales de más del 20%.

Células de telururo de cadmio, de lámina delgada y con rendimientos similares al silicio monocristalino.

Células de seleniuro de cobre e indio, de lámina delgada.

Células bifaciales capaces de recoger la radiación del albedo o de concentradores.

Células de TiO<sub>2</sub> nanoestructurado que incrementan el área de contacto en las interfases fotoactivas.

Otros materiales en estudio, como CdSe, CuO, Cu<sub>2</sub>O, ZSn<sub>3</sub>P<sub>2</sub>, PSi...

<sup>91</sup> En la actualidad, los desarrollos tecnológicos apuntan en la dirección de la nanotecnología y tecnologías de lámina delgada. Estas tecnologías presentan la ventaja de reducir los costes de producción, permitiendo además un montaje más sencillo. Otras innovaciones a destacar son los desarrollos de lo que se ha venido a llamar "polímeros solares", compuestos químicos que, por sus propiedades, pueden simular el comportamiento de las células fotovoltaicas convencionales. Igualmente destaca la investigación en tecnologías de concentración solar. Asimismo, se cuenta en España con el desarrollo, en fase inicial, de una tecnología innovadora de producción de células solares a partir de proteínas.

legislativos, como ha ocurrido con otros sectores tecnológicos, tales como internet. Es una opción técnicamente interesante que podría contribuir a mejorar las condiciones de suministro de estas plantas de producción.

### 5.1.1.3. Solar térmica de baja temperatura

La energía solar térmica de baja temperatura (hasta 100°C) consiste en la captación de la radiación del sol y su transformación en calor para su aprovechamiento en diversas aplicaciones. Esta transformación se realiza por medio captadores solares planos. La aplicación más generalizada de la energía solar térmica es complementar la producción de agua caliente sanitaria, siendo capaz de cubrir hasta un 70% de las necesidades térmicas a lo largo del año.

También se utiliza como apoyo a instalaciones de calentamiento de piscinas, instalaciones de calefacción por suelo radiante, o instalaciones de producción de frío por medio de equipos de absorción, capaces de aprovechar el calor producido por los captadores durante los meses de verano y convertirlo en frío.

Según los materiales y técnicas de captación empleadas se pueden distinguir tres tecnologías de captadores de baja temperatura: captadores de polipropileno (temperatura de trabajo entre 25-35°C), de placa plana (en un rango de 50-70°C)

y de tubos de vacío (temperaturas de trabajo cercanas a los 100°C).

La normativa para realizar instalaciones solares térmicas en España se basa en la sección HE4 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, que obliga a incluir un sistema solar térmico en todo edificio donde exista una instalación de agua caliente sanitaria (ACS) y/o calentamiento de piscina cubierta, con objeto de satisfacer una determinada aportación solar sobre la demanda térmica correspondiente a dichas instalaciones.

### **El desarrollo de sistemas solares térmicos para refrigeración es una de las aplicaciones más interesantes de la energía solar y con mayor potencial de futuro a medio plazo.**

El interés radica en el hecho de que en estas instalaciones, coincide la mayor disponibilidad de radiación solar (que se produce en los meses de verano) con el periodo en el que existe la demanda de refrigeración<sup>92</sup>.

En un escenario en el que la normativa está obligando a instalar energía solar térmica, la integración arquitectónica es uno de los retos de las instalaciones solares para estos próximos años. Un colector solar de tan sólo 2 m<sup>2</sup> sobre el tejado de una vivienda permite cubrir entre el 50-70% de las necesidades de agua caliente, dependiendo de su ubicación geográfica y la idoneidad de su orientación. Integrar en un tejado colectores híbridos fotovoltaico/térmicos, incluso sustituyendo al propio tejado reducirá notablemente costes y mejorará rendimientos<sup>93</sup>.

<sup>92</sup> No obstante, este tipo de instalaciones se encuentra en sus primeras fases de desarrollo comercial. Aunque existen experiencias en instalaciones de tamaño medio, los sistemas domésticos se encuentran todavía en fase de desarrollo. En general, la tecnología de absorción está diseñada en base a la utilización de gas como fuente de calor, por lo que se requiere el desarrollo tecnológico de máquinas específicamente adaptadas a las instalaciones solares térmicas.

<sup>93</sup> El sistema instalado en la Villa Olímpica de Beijing, por ejemplo, aprovecha el calor sobrante de los paneles fotovoltaicos del techo mediante una instalación térmica logrando una eficiencia solar superior al 50% frente al 10%-15% de los paneles convencionales.

La combinación de la energía solar pasiva (arquitectura bioclimática) con la activa (colectores solares térmicos y fotovoltaicos, e incluso minieólica), está en sus inicios y puede generar una disminución radical de toda la energía consumida en los edificios europeos en muy poco tiempo. En pocos años, será muy común ver tejados, muros, ventanas, calles y aparcamientos solares.

#### 5.1.1.4. Solar termoeléctrica

La energía solar termoeléctrica consiste en la concentración de la radiación solar y su transformación en vapor para la producción de electricidad, si bien la energía captada puede utilizarse también para aplicaciones térmicas o de cogeneración mediante la generación combinada de calor y electricidad por tecnologías de concentración solar.

El calor solar recogido por el día también puede almacenarse en medio líquido, sólido o de cambio de fase como sales fundidas, y otros medios. Por la noche, se puede extraer del medio de almacenamiento para hacer funcionar la central de generación eléctrica. Además se pueden diseñar centrales híbridas con apoyo de combustibles fósiles: Centrales Solares Integradas de Ciclo Combinado (ISCC) para operar a carga media o base.

Las tres tecnologías solares termoeléctricas más importantes son:

- **Concentrador cilíndrico parabólico (CCP) mediante un ciclo Rankine de agua/vapor:** el fluido de transfe-

rencia del calor puede ser un aceite térmico sintético que se calienta hasta 400°C. Un típico almacenamiento térmico consiste en el intercambio de calor entre un tanque frío y otro caliente, llenos de sales fundidas, tales como nitrato sódico/potásico a temperaturas de 221°C y 392°C.

- **Central de torre:** se utiliza un conjunto circular de helióstatos para concentrar la luz solar en un receptor central que se encuentra en la parte superior de una torre.
- **Disco parabólico:** consiste en un conjunto de espejos que forman una figura disco-parabólica en cuyo foco se dispone el receptor solar en el que se calienta el fluido. El fluido es calentado hasta 750 °C y se utiliza para generar electricidad mediante motores Stirling o turbinas Brayton.

Las centrales de torre y los captadores cilíndrico-parabólicos son más apropiados para proyectos de gran tamaño conectados a red, en el rango de 30-200 MW, mientras que los sistemas disco-parabólicos son modulares y pueden ser usados en aplicaciones individuales o en grandes proyectos. Las plantas de canal parabólico encuentran su limitación en la temperatura del fluido de trabajo, siendo el coste de los espejos aproximadamente un 35% del coste de la instalación total<sup>94</sup>.

Un reflejo del heterogéneo grado de madurez tecnológica de las distintas tecnologías lo constituyen los actuales proyectos en desarrollo. Mientras que se pueden enumerar 12 proyectos con tecnología cilíndrico-parabólica en

<sup>94</sup> Nuevas tecnologías, como los colectores lineales de Fresnel, podrían significar un gran avance en este sentido, ya que su configuración permitiría combinar usos como el empleo del suelo debajo de los colectores con fines agrícolas o constituir, por ejemplo, la estructura de un aparcamiento.

distintas partes del mundo que totalizarían más de 500 MW de capacidad solar, los únicos proyectos de torre son los que se planean en España. Respecto a los sistemas de disco parabólico, hay unidades en EE.UU. y España existiendo un gran interés en el desarrollo de esta tecnología en China.

Estas plantas tienen una elevada demanda de agua para el ciclo de potencia (alrededor de 600.000 m<sup>3</sup> para una planta de 50 MW) y requiere terrenos prácticamente llanos (200 hectáreas para una planta de cilindro-parabólicos de 50 MW). Estas circunstancias limitan considerablemente los potenciales emplazamientos. En cuanto al uso del agua, existen tecnologías para la refrigeración del ciclo mediante aire, que reducirían sustancialmente las necesidades de agua y abrirían nuevas posibilidades en cuanto a su localización.

### 5.1.1.5. Biomasa

En el siglo XXI, habrá que alimentar, cada día, y en promedio, a unos diez mil millones de personas, y habrá que conservar los bosques tropicales y templados por la función que ejercen sobre el clima terrestre; y por ser sumideros biológicos de CO<sub>2</sub> y conservadores de la biodiversidad.

Pues bien, además, **la biomasa deberá sustituir en parte la función que realizan los combustibles fósiles para proveer energía térmica y de automoción a la Humanidad.**

Finalmente, si el petróleo desaparece, habrá que producir en biorefinerías muchas sustancias químicas, desde aceites esenciales, medicinas,

sustancias químicas a materiales. Es un reto de grandes dimensiones y, lejos de pensar que la agricultura será una actividad cada vez más marginal en su uso de mano de obra, tecnología e inversiones, la Humanidad deberá basar su sostenibilidad en la explotación racional del medio biológico o no sobrevivirá como especie.

En promedio, sólo el 0,023% de toda la energía solar incidente sobre el planeta se convierte en biomasa. Y las plantas, aunque pueden alcanzar mayores ritmos de crecimiento, necesitan agua, nutrientes, fertilizantes, fitosanitarios, trabajo e investigación para mejorar las cosechas. Los organismos genéticamente modificados podrían ser un camino, pero la cantidad de problemas que abren, como la posibilidad de transferencia genética indeseada a otras especies, la pérdida de biodiversidad y sobre todo el control de la agricultura por unos pocos grupos multinacionales, hacen que, por el momento, sean más una nueva amenaza que una oportunidad.

La competencia de los biocombustibles con la producción de alimentos no debe ocurrir ni es racional que ocurra. Las partes comestibles de cualquier planta siempre son menores. Una planta suministra biomasa suficiente para cumplir la múltiple función de ser proveedora de alimentos y usos alternativos. Los problemas que provocan los conflictos son consecuencia del uso del suelo, de qué cultivos se plantan, del agua y fertilizantes, de la ignorancia tecnológica para saber aprovechar integralmente la planta, y sobre todo de intereses económicos.

Esta competencia entre alimentación humana, animal y usos químicos y energéticos de los productos del

campo es algo que en estas primeras décadas del siglo XXI será necesario resolver. No es aceptable que haya millones de personas que sufran hambre frente al despilfarro energético que las sociedades más desarrolladas realizan<sup>95</sup>. Para aprovechar las superficies agrícolas del planeta de una forma integral y sostenible, serán necesarios muchos acuerdos globales, mucha investigación y aceptación de límites a los despilfarros.

La biomasa se clasifica fundamentalmente según su composición o según su origen. Según su composición, la biomasa puede ser de tres tipos: azucarada (pulpa de frutas, caña de azúcar, remolacha), amilácea (tubérculos de patata, granos de cereal) o lignocelulósica (maderas en general, paja de cereal). Según su origen puede ser: residuos forestales, residuos agrícolas, residuos industriales, residuos sólidos urbanos (RSU), biomasa residual húmeda y cultivos energéticos.

La biomasa vegetal seca de origen forestal es una inmensa oportunidad para los países mediterráneos. El Cambio Climático está conllevando periodos extremos de sequía y altas temperaturas que hacen los bosques muy proclives a devastadores incendios. Grecia, Portugal, España, Francia, así como California o Australia, los han sufrido en estos últimos tiempos. La estrategia de reforestar después de un incendio no es suficiente, porque se tiene la siniestra certeza de que tarde o temprano, y en intervalos cada vez más cortos, volverán a ser arrasados por el fuego.

La única alternativa de largo plazo consiste en que los bosques templados mediterráneos sean gestionados racionalmente, es decir, que sean limpiados, conservados y explotados de manera sostenible. La combinación de medidas detectoras tempranas de incendios, con buenos accesos y limpiezas frecuentes con fines energéticos, conseguirá que los bosques contribuyan en el largo plazo a ser sumideros efectivos de CO<sub>2</sub>, den puestos de trabajo y mantengan el medio natural que soporta la vida de las especies en los climas templados.

La generación de energía con biomasa se basa en procesos de conversión termoquímica. Existen tres tecnologías principales para la producción energética a partir de biomasa (pirólisis, gasificación y combustión) a partir de las cuales se puede producir calor y/o electricidad.

#### **a) La biomasa para usos eléctricos**

Mientras el uso del biogás, de la biomasa térmica y de los biocarburantes evoluciona a un ritmo aceptable, la biomasa sólida para producción eléctrica no ha avanzado como se esperaba. Más del 60% de la electricidad generada procede de plantas instaladas junto a industrias que consumen la electricidad producida a partir de sus propios residuos. Aproximadamente, un 90% corresponde a empresas del sector del papel mientras que el resto son empresas agroalimentarias del sector de extracción del aceite.

<sup>95</sup> Alrededor del 35% del grano mundial se utiliza para alimentar al ganado, base de una dieta con demasiada carne y grasa animal que ha generado graves problemas de obesidad en las sociedades industrializadas y se está extendiendo por todo el mundo. La producción y consumo de carne es ya responsable del 18% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>.

Un uso extendido de la biomasa para generación de electricidad es la co-combustión o co-gasificación que consiste en introducir biomasa sólida o biogás en las centrales convencionales ya existentes. Este sistema se puede integrar con cogeneración aumentando aun más el rendimiento y las ventajas de su uso.

Desde el punto de vista técnico, hay que seguir incrementando el rendimiento de las instalaciones (actualmente en torno a un 20% frente a rendimientos del 35 al 45% para una central de carbón), así como su disponibilidad y flexibilidad frente a diferentes tipos de biomasa.

El biogás es un subproducto obtenido en el tratamiento de ciertos residuos biodegradables: ganaderos, lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), efluentes industriales y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU). Difundir las posibilidades de esta tecnología en las zonas productoras de los residuos ganaderos es fundamental de cara al futuro de estas aplicaciones<sup>96</sup>.

### **b) La biomasa para usos térmicos**

La biomasa genera aproximadamente el 90% del calor que procede de las energías renovables, es decir, la biomasa es la principal fuente renovable de calor.

A escala doméstica, las calderas de biomasa para calefacción o ACS son minoritarias en un mercado en el que

siguen predominando sistemas que utilizan combustibles fósiles. Una normativa adecuada para las instalaciones térmicas de biomasa (leña tradicional y briquetada) en los edificios, que reduzca problemas a la hora de proyectar, ejecutar y legalizar instalaciones en el sector doméstico facilitaría su desarrollo. Tanto en el sector doméstico como en el industrial, son necesarios sistemas de suministro de combustible seguros, con métodos de operación automática y sistemas de limpieza de partículas con niveles, por lo menos, iguales a los existentes en los combustibles convencionales.

En el centro y norte de Europa están muy extendidas las instalaciones de *district heating* con biomasa, que son redes de calefacción y de agua caliente centralizadas capaces de atender las necesidades energéticas de urbanizaciones enteras, edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales e incluso industrias.

### **5.1.1.6. Hidráulica**

El agua es un elemento esencial en el sector energético. **De las fuentes de energía renovable, el agua es el recurso más utilizado para la obtención de energía eléctrica.** El agua como fuente de energía permite un almacenamiento y regulación en su uso. Se utiliza para suministrar las puntas de demanda y para almacenar la energía excedentaria mediante el bombeo.

Se usa actualmente para regular la tensión de la red frente a cambios

<sup>96</sup> En la actualidad se está investigando en mejorar los sistemas basados en la co-digestión anaerobia, esto es, la digestión conjunta de varios tipos de residuos. La utilización del biogás producto de la fermentación anaerobia supone una solución importantísima a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, ya que espontáneamente se produce metano con un efecto entre 20 y 22 veces superior al CO<sub>2</sub> producido en su combustión.

espontáneos o regulación primaria; también para compensar fallos de más de dos horas, o regulación secundaria, e incluso como reserva terciaria en fallos de red de más de diez horas. Da garantía de suministro eléctrico y seguridad al sistema. Esta característica hace que las explotaciones hidroeléctricas adquieran también interés como energía asociada a la utilización de otras fuentes renovables, como sistema de almacenamiento y regulación.

El potencial de desarrollo es elevado en las pequeñas instalaciones minihidráulicas (< 10MW) y microhidráulicas (< 100kW) y muy limitado en las grandes centrales, pues las grandes obras hidráulicas son complejas en su autorización y ejecución -además de presentar elevados impactos ambientales -. La electricidad producida tiene la ventaja de acomodarse perfectamente a las variaciones en carga y en pico de la demanda eléctrica (en unos 5 minutos puede alcanzar la potencia máxima).

En la época actual las principales potencialidades de desarrollo de la hidroeléctrica de pequeña potencia en España son:

- **El reequipamiento técnico y la reconstrucción de pequeñas centrales ya construidas.** En el ámbito rural se puede disponer de forma rentable de sistemas de almacenamiento de agua y su circulación entre depósitos de diferente altura (desde cauces naturales a los freáticos de las aguas subterráneas por ejemplo), proporcionando un almacenamiento energético de alta eficiencia.
- **La construcción de nuevas centrales en zonas aisladas con suministro descentralizado de energía**

**eléctrica.** Centrales de agua fluyente que utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse.

- **Centrales de bombeo o reversibles.** Sólo generan energía en horas punta y la consume en horas valle (noches y fines de semana), mediante un grupo electromecánico de bombeo y generación.
- **Los aprovechamientos a pie de presa.** Aprovechan el caudal del agua que debe fluir por el río en todo momento. Su potencia no suele superar los 2MW en los embalses actuales.

En el plano tecnológico, el sector es muy maduro al haberse aplicado todos los avances obtenidos durante los últimos 150 años. Los últimos avances en minihidráulica se dirigen a la adaptación de mejoras ya probadas en las grandes turbinas, al desarrollo e implementación de sistemas de telegestión de las instalaciones, al uso de nuevos materiales, al desarrollo de microturbinas sumergibles para aprovechamiento de pequeños saltos, al diseño matemático de simulación de flujo en campos tridimensionales y a la estandarización de equipos.

**La integración de energías renovables con sistemas altamente simplificados de electrónica de potencia y corriente continua, junto a la implementación de conceptos de generación distribuida, como plantas virtuales de potencia, darán un salto cuantitativo espectacular a las limitaciones de las propias energías renovables por separado.**

Dicha integración de sistemas de generación y consumo con los sistemas de almacenamiento,

gestionados y adaptados con los correspondientes sistemas de control y comunicación inteligente, permitirá su utilización tanto en configuraciones constituidas como núcleos energéticamente dispersos y aislados, como en su interacción en tiempo real con las redes malladas existentes en el entorno, enriqueciendo las prestaciones y garantías de los sistemas eléctricos convencionales.

Además, estos cambios supondrán una revolución frente a la tradicional dedicación a las actividades agroalimentarias y ganaderas del ámbito rural, porque los usos energéticos de la tierra (biomasa) y el agua (bombeo reversible) proporcionarán una alternativa complementaria, necesaria para el establecimiento de un nuevo tipo de desarrollo rural sostenible y equilibrado con el medio urbano.

#### 5.1.1.7. Geotérmica

La geotermia es el calor acumulado en la corteza terrestre. En la Península Ibérica, el gradiente geotérmico es de unos 3°C cada 100 metros de profundidad. Esta diferencia de temperaturas es la causante de un flujo de calor continuo desde el núcleo hacia la corteza, transfiriéndose la energía térmica por conducción. Hay zonas en las que el gradiente geotérmico es mucho más grande, del orden de 100 y 200°C por kilómetro de profundidad dando lugar a tres tipos de yacimientos geotérmicos: yacimientos de alta entalpía (>150°C), de media entalpía (entre 100 y 150 °C) y de baja entalpía (<100°C).

**El mayor potencial de desarrollo de esta energía renovable en España son los yacimientos de baja entalpía, adecuados para el aprovechamiento directo del calor (calefacción, procesos industriales, balnearios turísticos...).** Se trata de aprovechar el subsuelo como almacén térmico del cual extraer calor durante el invierno y al cual ceder el mismo durante el verano, mediante la utilización de sistemas que emplean una bomba de calor de elevados rendimientos durante todo el año. Se puede aprovechar de dos maneras distintas:

- **Sistema “de profundidad” con perforación:** requieren superficies reducidas aunque en la actualidad sus costes son elevados.
- **Sistema “de superficie”:** son los más utilizados por su sencillez y bajo coste aunque necesitan superficies amplias para la instalación. Puede utilizarse tanto para calefacción y agua caliente sanitaria como para refrigeración. Son realmente muy eficientes<sup>97</sup>.

#### 5.1.1.8. Energías marinas

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares, de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos:

##### a) Energía mareotérmica

Se basa en la conversión de la energía térmica oceánica (diferencia de

<sup>97</sup> Se está avanzando en buscar la reducción de la superficie ocupada en la totalidad por el bucle a enterrar obteniendo la mejor relación entre costes de instalación y rendimiento térmico. A partir de los 2 metros de profundidad, la temperatura del subsuelo se mantiene constante a lo largo de todo el año, a unos 15°C. Esta es la energía que se aprovecha para la climatización de los edificios, captándola a través de serpentines colectores acoplados a una bomba de calor.

temperatura entre el agua de la superficie y el agua de la profundidad). En las zonas tropicales esta diferencia varía entre 20 y 24 °C. Para el aprovechamiento es suficiente una diferencia de 20°C que, viable técnicamente, sólo existe en las latitudes cercanas al Ecuador.

Las posibilidades de esta técnica se han potenciado debido a la transferencia de tecnología asociada a las explotaciones petrolíferas fuera de costa, pero el máximo inconveniente es el económico.

### **b) Energía undimotriz**

Las olas del mar son un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento de la superficie terrestre genera viento, y el viento genera las olas. Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin apenas pérdida de energía. Por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental. La densidad de energía de las olas es un orden de magnitud mayor que la de la energía solar. Las distribuciones geográficas y temporales de los recursos energéticos de las olas están controladas por los sistemas de viento que las generan (tormentas, alisios, monzones).

Las técnicas de utilización energética del oleaje aprovechan estos fenómenos básicos que se producen en las olas, y que son: empuje de la ola que transmite la energía a un pistón (es un sistema poco usado); variación de la altura de la superficie de la ola situando estructuras flotantes que se mueven con las olas; y variación de la presión bajo la superficie de la ola mediante sistemas de columna de agua oscilante

que encierra un volumen de aire que se comprime y expande por la oscilación del agua inducida por el oleaje.

El estado actual de la mayor parte de estos diseños es de tecnología incipiente por lo que hay todavía una serie de cuestiones comunes a investigar, como mejoras en los rendimientos de las turbinas neumáticas, las fluctuaciones de potencia para su integración en la red eléctrica, la mejora en el rendimiento y el desarrollo de los componentes.

### **c) Energía maremotriz**

La energía estimada que se disipa por las mareas es del orden de 22.000 TWh. De esta energía se considera recuperable una cantidad que ronda los 200 TWh. El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico. Los costes de inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas bajas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua puestas en movimiento. Por ello, esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas.

Los ejemplos más claros de viabilidad económica a nivel mundial y que ofrecen los mejores resultados para el diseño y proyecto de una central hidroeléctrica mareomotriz están basados en el almacenamiento de agua en el embalse que se forma al construir un dique, con compuertas y turbinas, en una bahía, cala, ría o estuario. El agua que proporciona la ría prácticamente no interviene en la generación de energía.

Las nuevas tendencias para desarrollar estos aprovechamientos energéticos están influenciadas por algunos aspectos que han ido surgiendo en los últimos años, relacionados, por ejemplo, con el propio entorno de la central, que tiene que permitir combinar la energía maremotriz con otras tecnologías de generación energética, como la hidroeléctrica, térmica, eólica...

### 5.1.2. Cogeneración

En 1882, Thomas Alba Edison aplicó la cogeneración en la primera "gran" central eléctrica de los Estados Unidos, Pearl Station (Manhattan), dando servicio a 59 clientes con un rendimiento del 50%, produciendo electricidad y calor. Hacia 1900, el 50% de la electricidad de los EE.UU. provenía de centrales de cogeneración, pero el bajo precio de los combustibles hizo que el modelo de generación eléctrica centralizada fuera el que actualmente conocemos.

Si se producen más de dos tipos de energía se habla de poligeneración, en lugar de cogeneración. Dos ejemplos son la producción conjunta de calor, frío, electricidad y agua potable, o la llamada trigeneración. En este caso, parte del calor producido en la planta de cogeneración se utiliza para la producción de frío, mediante un ciclo de absorción<sup>98</sup>.

En general, **la cogeneración es adecuada para entidades con consumos térmicos importantes y con un elevado factor de utilización (por ejemplo, con más de 5.000**

**horas/año)**. No obstante, para pequeñas potencias se están desarrollando sistemas de cogeneración en isla (sin interconexión a la red eléctrica general) que pueden llegar a resultar muy rentables.

Aprovechando las economías de escala en estos sistemas, se pueden aprovechar sistemas centralizados de generación térmica y eléctrica en polígonos industriales o en sector residencial y servicios mediante las calefacciones de distrito (*district heating*).

Los sistemas de cogeneración pueden clasificarse atendiendo al motor térmico que se utiliza:

- **Turbina de gas:** la temperatura de los gases de escape en estas instalaciones es muy elevada (del orden de 450-600°C), pudiéndose utilizar para la producción de energía térmica útil, para la producción de vapor o la utilización directa de estos gases en un secadero u horno. Actualmente, el rango de potencias de las turbinas de gas estacionarias va desde los 500 kWe hasta los 25 MWe para aplicaciones de poligeneración. Requieren combustibles limpios, gas o líquido.
- **Motor alternativo de combustión interna (MACI):** el fluido de trabajo es el vapor de agua y la cogeneración consiste en aprovecharlo para el proceso productivo una vez que sale de la turbina en vez de llevarlo al condensador. Se suelen utilizar en instalaciones de tamaño pequeño.
- **Turbina de vapor:** se utilizan en instalaciones de tamaño grande, supe-

<sup>98</sup> Esta opción es muy interesante para los sectores residencial, comercial y servicios, donde es habitual que las necesidades térmicas convencionales (calefacción y agua caliente sanitaria) disminuyan en verano, pudiéndose aprovechar el calor sobrante en equipos de aire acondicionado. En la actualidad se está trabajando en la potenciación de equipos pequeños con tamaños adecuados a todo tipo de edificaciones y necesidades del sector residencial, comercial (generalmente grandes centros comerciales) y de servicios (hospitales, hoteles, etc.), en muchos de estos casos en forma de trigeneración.

rior a 10 MWe. Pueden utilizar biomasa como combustible.

- **Ciclo combinado:** consistente en una turbina de gas, cuyos gases de escape se utilizan para producir vapor en una caldera de recuperación, que a su vez es expandido en una turbina de vapor.

### 5.1.3. Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles más usados en España son por este orden petróleo, gas natural y carbón.

El primero de ellos está muy focalizado en el sector transporte, al que se le dedica un apartado en este documento, en el que se prevé una fuerte revolución en las próximas décadas alentadas por la aparición del vehículo eléctrico. El gas natural se usa en los procesos de cogeneración vistos anteriormente, en las calefacciones del sector doméstico, en la industria en procesos térmicos y en la generación de electricidad mediante ciclos combinados. Las fuentes energéticas mencionadas son importadas en su gran mayoría desde países productores. El carbón se emplea en la industria, pero fundamentalmente en la producción eléctrica y parte de él es de procedencia nacional.

Hay gran disponibilidad de reservas de carbón en Europa y en el mundo, pero la explotación del carbón tiene muy notables impactos ambientales, sobre el territorio y sobre la atmósfera: emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas y, especialmente, emisiones de gases de efecto invernadero.

Se vienen desarrollando e investigando varias tecnologías que tratan de reducir los impactos: tecnologías de gasificación del carbón para aumentar el rendimiento de las centrales mediante los ciclos combinados y la implantación de ciclos supercríticos utilizando vapor por encima de la presión crítica del agua, utilización de lechos fluidos para el uso de residuos como combustibles o de peor poder calorífico, y captura y secuestro de carbono<sup>99</sup>.

#### Métodos de captura de CO<sub>2</sub>

Combustión convencional, quemando gas o carbón, para posteriormente hacer pasar la corriente de gases por un sistema que permita separar mediante absorción química (aminas) y capturar el CO<sub>2</sub> del resto de gases. La concentración de CO<sub>2</sub> en el gas de combustión es pequeña, del orden del 4% en las centrales de gas natural y del 14% en las de carbón. El principal inconveniente de esta técnica es que requiere energía extra para la recuperación, del orden del 20% o más de combustible utilizado para la generación eléctrica.

Gasificación del carbón mediante una corriente de oxígeno puro o vapor de agua, lo que convierte el carbón en una corriente rica en CO y H<sub>2</sub> que tras su combustión se obtiene CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Combustión en presencia de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, en lugar de aire, lo que tiene como objetivo aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en la corriente de gases donde la combustión se realiza con oxígeno puro (oxicombustión) para evitar la presencia de N<sub>2</sub>, componente mayoritario en los gases de escape. La energía consumida (en torno a un 10% más) para la separación del oxígeno del aire es eléctrica. El gas de salida es corriente de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. El rendimiento obtenido es del 30,6% del orden de los logrados con carbón pulverizado supercrítico con captura de CO<sub>2</sub> por absorción.

Los transportadores de oxígeno (donde la combustión se hace en presencia de oxígeno puro, de manera que los gases están formados por CO<sub>2</sub> y agua) y el ciclo calcinación-carbonatación (aprovechando el ciclo calcinación-carbonatación de la caliza, CaCO<sub>3</sub>) son dos tecnologías aplicables para la integración de procesos, en el segundo caso, entre plantas cementeras y centrales térmicas, por ejemplo.

<sup>99</sup> Una vez separado el CO<sub>2</sub> de la corriente de gases, habría que almacenarlo. La opción para una parte sería su posible utilización para la realización de productos o sustancias que lo fijaran de forma permanente. El CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>O convenientemente combinados pueden dar lugar a nuevas cadenas de hidrocarburos, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, para su utilización, por ejemplo, como nuevos combustibles, o como materias primas para la fabricación de polímeros. Otra posibilidad es su uso en el cultivo de algas que puedan servir de fuente energética en forma de biomasa.

El almacenamiento del CO<sub>2</sub> se realizaría una vez que se ha tratado y comprimido para convertirlo en un fluido de alta densidad y tendría que reunir las condiciones de capacidad, seguridad y estabilidad. Son tres las posibilidades que se estudian para el almacenamiento geológico estable: los pozos de hidrocarburos (gas y petróleo), las formaciones salinas y las minas de carbón de difícil explotación.

Al mayor coste energético derivado de la necesidad de energía extra en el proceso de captura, se añade el derivado de su transporte y almacenamiento.

Actualmente la tecnología de captura de CO<sub>2</sub>, cuya restricción más aceptada es el considerable aumento de costes, está en fase de construcción de plantas piloto, subvencionadas por la Unión Europea, que en unos años darán resultados sobre las posibilidades o no de generalización de la tecnología. Respecto al almacenamiento existen incertidumbres, aun en debate, sobre la capacidad, seguridad y estabilidad de los emplazamientos.

### 5.1.4. Energía nuclear

Dada la importancia que ha adquirido la cuestión de las emisiones de gases de efecto invernadero en la generación de electricidad, la energía nuclear -que genera menos emisiones de CO<sub>2</sub> que

los combustibles fósiles, aunque bastante más que las energías renovables- está volviendo al debate energético, que plantea si es o no una opción viable para mitigar el Cambio Climático teniendo en cuenta sus costes, la seguridad, los residuos y otros riesgos.

Hay quienes pronostican un renacer de la energía nuclear por sus bajas emisiones de carbono en relación a los combustibles fósiles, y quienes consideran que el ocaso nuclear es irreversible dados sus altos costes de inversión, que el uranio se agota y que no se encuentra solución a los residuos radiactivos.

Así, mientras que en los países desarrollados desde hace veinte años ha habido una paralización de facto de la construcción de nuevas centrales, con limitadas excepciones, en algunos países en desarrollo se están realizando esfuerzos para construir nuevas plantas nucleares<sup>100</sup>.

Un desarrollo como el previsto significaría que si no hay avances radicales en la tecnología, cada año se instalarán unos 4.5GW y la demanda de uranio crecería en un 28%. Un informe del MIT<sup>101</sup> asegura que la oferta mundial de mineral de uranio es suficiente para el despliegue de 1000 reactores en el próximo medio siglo. No obstante, analistas económicos aseguran que si la demanda de uranio crece linealmente con la capacidad de generación nuclear, y teniendo en

<sup>100</sup> China cuenta actualmente con 11 reactores en funcionamiento, 20 en construcción y 36 en fase de planificación. Hay unas 44 plantas en construcción en el mundo, pero el ritmo es el más bajo de las últimas cuatro décadas, mientras se van cerrando otras muchas. En la UE en 1990 había 164 centrales nucleares, hoy hay 147, muchas de ellas cerca del fin del periodo de vida útil. En enero de 2010 había en el mundo 436 reactores en funcionamiento, ocho menos que en 2002 cuando se alcanzó el máximo histórico. La World Nuclear Association predice que China tendrá 160 GW nucleares en 2030. India ha manifestado que desea pasar desde sus 3.7 GW actuales a 60GW en 2030. La Agencia Internacional de la Energía consideró en 2007 que el parque nuclear de centrales en el mundo iba a aumentar desde 371GW en 2007 a 410GW en 2015 y a 475GW en 2030, con la mayor parte de esta nueva inversión en países asiáticos como China o Corea. Aunque el pronóstico haya que tomarlo con cautela teniendo en cuenta que el desarrollo nuclear ha ido muy por detrás de pronósticos anteriores del sector y de la propia AIE.

<sup>101</sup> Massachusetts Institute of Technology.

cuenta la construcción de nuevas plantas, los actuales recursos mundiales económicamente explotables, que se estiman en 5.5Mt de uranio, se agotarían en 2067 <sup>102</sup>.

La gestión integral de los residuos requeriría un importante programa de I+D a largo plazo para una exploración de alternativas, acoplada con el modelado del ciclo del combustible, y políticas de gestión a largo plazo de residuos, incluyendo el almacenamiento geológico de algunos residuos radiactivos. La decisión de adoptar un ciclo de combustible cerrado, con reutilización y reciclaje del plutonio y el uranio depende de factores económicos y de gestión de residuos, además de las amenazas de proliferación. Dados los supuestos acerca de la disponibilidad de recursos de uranio, el coste de reciclar es desfavorable en comparación con un ciclo abierto de combustible.

La industria nuclear trabaja sobre el desarrollo de la tecnología de reactores reproductores rápidos (*fast-breeder reactors*) para que puedan reutilizar sus residuos. Pero esta tecnología incrementaría notablemente a nivel mundial la proliferación incontrolada de plutonio, lo que sería una amenaza terrorista potencial de primera magnitud, de aquí la fuerte oposición estadounidense. Los reactores de ciclo cerrado de cuarta generación no se esperan en al menos 20-30 años.

Se están produciendo cambios en el enriquecimiento de uranio desde la tecnología por difusión gaseosa a la tecnología de centrifugado y se está trabajando en el enriquecimiento por

láser, con objeto de que la capacidad de enriquecimiento no sea una restricción.

En el enriquecimiento y gestión de residuos, adquieren gran importancia los acuerdos de no proliferación previstos, cuyo propósito sería desarrollar la tecnología mediante un ciclo de combustible cerrado, por países proveedores que se consideraran sin riesgo, para permitir su utilización de forma más segura; pero evidentemente se encarecería el combustible.

---

***Además de los elevados costes de inversión, con largos periodos de amortización, y el agotamiento de las reservas de uranio, las cuestiones que focalizan hoy las polémicas sobre la tecnología nuclear de fisión -que no hacen posible el consenso social sobre su desarrollo futuro- son los riesgos de proliferación nuclear y la producción de residuos radiactivos, actualmente no resueltas.***

---

### **5.1.5. Hidrógeno y pilas de combustible**

La progresiva disminución de las reservas de combustibles fósiles y los problemas medioambientales asociados a su combustión obligan a la búsqueda de nuevas alternativas energéticas. En este contexto el hidrógeno surge como un nuevo “vector energético”, es decir, un transportador de energía primaria hasta los lugares de consumo.

**La ventaja surge cuando el hidrógeno se produce a partir de**

<sup>102</sup> Los principales países productores de uranio son Canadá, Kazajstán, Australia, Brasil, Níger y Jordania. Los reactores de torio, mucho más abundante que el uranio en la corteza terrestre, no son todavía una tecnología aplicable.

**recursos renovables, de forma económica y medioambientalmente sostenible.** Sin embargo, actualmente, el 75% de la producción mundial de hidrógeno se realiza a partir de gas natural mediante el proceso de "reformado con vapor de agua"<sup>103</sup>.

En lo que respecta a la generación de hidrógeno con energías renovables, en el medio plazo se plantea el desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de la biomasa y de los excedentes de electricidad generada en los parques eólicos. Asimismo se apuesta por la investigación para la mejora de los procesos de producción de hidrógeno por termólisis del agua y en los procesos de descomposición catalítica de hidrocarburos, utilizando en ambos casos como fuente energética los hornos solares.

El desarrollo futuro de sistemas que usen hidrógeno como combustible dependerá de los avances logrados en la búsqueda de un método seguro y eficiente de almacenamiento y transporte del hidrógeno.

El hidrógeno presenta buenas propiedades de transporte y almacenamiento comparado con la electricidad. Sin embargo no existe ningún método que resuelva totalmente el problema del almacenamiento del hidrógeno, el cual está relacionado con sus propiedades físico-químicas: gas en contenedores a presión, líquido en depósitos criogénicos, sólido formando hidruros

metálicos y almacenamiento en nanotubos de carbono.

En el medio plazo se plantea el desarrollo de nuevos materiales para almacenamiento y la distribución de hidrógeno sólido, la automatización de los procesos y desarrollo de sistemas de almacenamiento a presiones superiores a 350 bares con nuevos materiales, así como la implantación de una red de estaciones de servicio, atendiendo a criterios de oportunidad, de apoyo a flotas, o de creación de corredores. En el largo plazo se apuesta por la investigación sobre el comportamiento del hidrógeno en mezcla con gas natural, el desarrollo de la logística del hidrógeno y la promoción del aprovechamiento de las infraestructuras para el transporte de gases existentes en la región (gaseoductos de gas natural) para el transporte de hidrógeno.

**Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en eléctrica con alta eficiencia (45-65%) y baja emisión de sustancias contaminantes<sup>104</sup>.**

En el medio plazo, las acciones de investigación se centran en la mejora de los materiales y componentes de las pilas de óxidos sólidos (SOFC). Asimismo se considera necesario el desarrollo de un plan de fomento del uso de pilas en el sector residencial y terciario en zonas aisladas y la promoción del uso de pilas de mayor potencia en municipios o pequeñas empresas<sup>105</sup>.

<sup>103</sup> El hidrógeno puede obtenerse a partir de combustibles fósiles por medio de diversos tratamientos como la oxidación parcial (para hidrocarburos pesados), la gasificación (para el carbón o residuos) y también a partir de diversos procesos de transformación de la biomasa, como el reformado catalítico de bioetanol.

<sup>104</sup> La energía eléctrica se genera combinando H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> mediante una reacción electroquímica sin ninguna combustión, generando como únicos subproductos calor y agua, por lo que de alguna manera se trata de un sistema de cogeneración.

<sup>105</sup> La generación distribuida es una de las aplicaciones que mejor se adapta a las pilas de combustible. Frente al sistema convencional de distribución de energía formado por grandes centrales y largas redes de transporte, la generación eléctrica distribuida utilizando pilas de combustible consiste en disponer de múltiples plantas de pequeño tamaño (<30MW) instaladas en las propias zonas residenciales e industriales, junto a los puntos de consumo, consiguiendo una reducción de las pérdidas de las líneas de transporte y constituyendo un complemento y apoyo a la generación centralizada, mejorando la calidad del suministro.

En resumen, puede decirse que las esperanzas puestas en las tecnologías del hidrógeno apoyadas en la era Bush, se han visto ralentizadas en los últimos años por las enormes inversiones en infraestructuras que entraña, los avances relativos en la investigación de pilas de combustible y almacenamiento que hacen las tecnologías aun muy caras, y en el avance de las tecnologías de producción eléctrica que no requieren infraestructuras diferentes a las que ya existen.

## 5.2. TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE <sup>106</sup>

### 5.2.1. La energía en el transporte

El transporte de personas y mercancías es un elemento indispensable para facilitar el desarrollo económico de un país y la movilidad de sus individuos. Pero, actualmente, la progresiva concentración de la población en áreas metropolitanas cada vez más extensas, la segregación de actividades y la globalización económica han acentuado las necesidades de movilidad.

**La utilización de los recursos energéticos disponibles por parte de los medios de transporte existentes es insostenible.** A escala mundial, el 95% de la energía que emplea el transporte proviene del petróleo y el transporte genera el 23% (6,3 Gt CO<sub>2</sub>) de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la energía<sup>107</sup>. Como dato particular, el consumo energético en Europa asociado al transporte se incrementó en un 33% en el periodo 1990-2006, con un crecimiento medio anual del 2% (de 336 a 446 millones de toneladas de crudo equivalente). Por su parte, el consumo energético del sector transporte en España representó en 2006 el 40,6% del total del consumo energético nacional (31,9% industria y 27,5% usos diversos)<sup>108</sup>.

Esta problemática irá en aumento, ya que el transporte, según explica la Comisión Europea (2006), se presenta como uno de los sectores que representará una demanda energética más importante en Europa.

El consumo energético de un medio de transporte se puede cuantificar de

<sup>106</sup> Las referencias utilizadas para la confección de este apartado han sido:

- EFTE, European Federation for Transport and Energy (2009). Biofuels in Europe. An analysis of the new EU targets and sustainability requirements with recommendations for future policy.
- Enerdata (2009) The impact of lower oil consumption in Europe on world oil prices.
- European Commission (2006) World energy, technology and climate policy. Outlook.
- EEA, European Environment Agency (2009). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2009.
- García-Álvarez, A. (2008) Consumo de energía y emisiones del tren de alta velocidad en comparación con otros modos. Via Libre 515. Fundación de Ferrocarriles Españoles.
- Ministerio de Fomento (2008). Estrategia Española de Movilidad Sostenible. Conjuntamente con Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Monzón, A. y F. Robusté (2010) Capítulo 4.d "Transporte Sostenible" en Energía, Economía y Sociedad, editado por Joaquín Nieto y Pedro Linares. Conama, Madrid.
- RAI (2009) La contribución de las TIC a la sostenibilidad del Transporte en España. Coordinadores: José Ignacio Pérez Arriaga y Ana Moreno Romero. Real Academia de Ingeniería, Madrid. ISBN: 978-84-95662-18-7.
- Thorson, O. y F. Robusté. Walking and cycling in the city. Organización Mundial de la Salud, 1998.
- Vuchic, V. (2007). Urban Transit. Systems and Technology. Ed. Wiley.

<sup>107</sup> RAI, 2009.

<sup>108</sup> Eurostat.

forma aproximada como el producto del factor unitario de consumo del vehículo utilizado (fuerza tractora) y el kilometraje asociado a cada sistema. En términos generales, la industria de automoción ha conseguido mejorar la eficiencia de los vehículos innovando en motores más ligeros y de menor consumo unitario. En Europa, los turismos han reducido este parámetro en un 1,5% acumulativo anual desde 1995.

Sin embargo, el incremento de la demanda de transporte (traducido en un mayor número de viajes y mayor kilometraje), así como el uso de modos de transporte intensivos en energía no renovable (aéreo y carretera) ha contribuido al crecimiento del consumo energético. **Las proyecciones estiman que este crecimiento continúe en un valor medio anual del 1% en el periodo 2000-2030 si no se aplican políticas activas de contención.**

Este hecho pone de relieve la complejidad de aplicar medidas de eficiencia energética. La demanda de transporte es claramente dependiente de los patrones de movilidad de la sociedad, de las políticas urbanísticas, de la economía productiva y de la existencia de infraestructuras y servicios de transporte. De este modo, la mejora de la tecnología de propulsión ha resultado una medida parcial para la eficiencia energética sin una actuación en materia de gestión de la movilidad de la sociedad.

La respuesta a la pregunta de cuál es el medio de transporte más eficiente desde el punto de vista energético, es fácil: la bicicleta, que con un consumo de 0,06 MJ/persona-km presenta más eficiencia que el caminar (0,16 MJ/persona-km) al ser éste un modo

lento de superar la distancia; entre los modos mecanizados, los más eficientes energéticamente son el autobús y el tren de cercanías, ambos alrededor de 0,29 MJ/persona-km<sup>109</sup>.

La pregunta ¿cuál es la energía socialmente más adecuada para superar la distancia?, no posee, sin embargo, respuestas tan directas al tener el problema múltiples aristas: coste social de la energía, consumo unitario, ocupación, forma de conducir, coste del ciclo de vida del vehículo, cadena multimodal puerta-a-puerta, etc.

Lo que sí está claro, en todo caso, son **los problemas medioambientales asociados al uso de combustibles de origen fósil, lo que unido a sus limitadas reservas han planteado la necesidad de diversificación energética.**

### 5.2.2. Fuentes de energía para los vehículos motorizados

#### 5.2.2.1. GLP y gas natural

Como substitutivo del gasóleo y gasolina en turismos, se ha planteado la utilización de GLP, gas licuado del petróleo (mezcla de butano y propano) y en especial del gas natural, que permitirá a corto plazo cubrir la demanda energética y reducir notablemente el problema de las emisiones de gases contaminantes, presentando ventajas en términos económicos y de seguridad del suministro. Además de estas ventajas respecto a otras energías alternativas debido a su capacidad de usar las infraestructuras actuales y necesitar cambios tecnológicos menores en los

<sup>109</sup> Thorson y Robusté, 1998.

vehículos, no obstante, estas fuentes de energía siguen siendo no renovables y por tanto, son un recurso energético no sostenible a largo plazo.

### 5.2.2.2. Biocombustibles

Otra alternativa de diversificación es el uso de los biocombustibles. Los biocarburos que sustituyen a las gasolinas en motores de encendido provocado son esencialmente bioetanol producido por la fermentación de materiales biomásicos, mayoritariamente procedente de grano de maíz (EEUU) y de azúcar de caña (Brasil). Los que sustituyen al gasóleo en motores de encendido por compresión o Diesel, son ésteres metílicos de aceites vegetales principalmente de soja, palma, colza y otros<sup>110</sup>.

Los biocarburos reemplazan el petróleo con combustibles que pueden ser locales, conllevan una reducción de gases de efecto invernadero y suponen un apoyo para la agricultura. Sin embargo, hoy en día existen muchas dudas sobre su impacto en los usos del suelo, en especial en lo que respecta a la deforestación que producen<sup>111</sup> y a los posibles efectos indirectos sobre hambruna en países en vías de desarrollo.

No es aceptable que se talen bosques tropicales para cultivar soja o palma aceitera para producir biocarburos<sup>112</sup>. Por ello, una solución puede venir de la mano de la tecnología, con la fermentación de biomásas no aptas para la alimentación humana, tales como residuos agrícolas. Además, la obtención de aceites a partir de cultivos de algas, alimentadas con corrientes de CO<sub>2</sub> capturado es otra interesante solución. Es decir, los biocarburos de segunda generación, que no entran en competencia con los alimentos (aunque sí indirectamente por el uso de la tierra), pueden contribuir al balance energético de la automoción.

El potencial de crecimiento de los biocombustibles es grande: entre un 11% y un 19% para 2030. La producción local, a su vez, implica una fabricación distribuida, a diferencia del refinado de petróleo. A esto se añade la creación de incentivos considerables para la productividad de la agricultura: son necesarias mejoras en la productividad para el despliegue masivo de los biocombustibles, para así poder minimizar la superficie agrícola utilizada, con implicaciones en el suministro de alimentos y sus precios.

Otra característica clave del futuro de los biocombustibles es reducir la necesidad

<sup>110</sup> El etanol puede usarse en todos los coches en bajas concentraciones, por ejemplo, 10% de etanol. Puede ser utilizado en automóviles especializados, camiones y camionetas conocidas como "vehículos de combustible flexible" en concentraciones de hasta el 85% de etanol, comúnmente llamado "E85". Un derivado del bioetanol, el éster etílico del terbutilo, o ETBE, se utiliza comúnmente como sustitutivo del plomo en las gasolinas para impedir la detonación. España exporta ETBE en grandes cantidades.

Aunque tienen menor potencia calorífica que el gasóleo, los ésteres metílicos de aceites vegetales, por su origen oleoso, mejoran la lubricación del motor y otras prestaciones. Definitivamente contribuyen a una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y ayudan a mejorar las rentas de los agricultores de todo el mundo. Como el bioetanol, no se utilizan puros sino en mezclas variables con gasóleo. Por ejemplo, el "B90", tiene un 90% de gasóleo convencional.

Los fabricantes de automóviles comercializan los vehículos flexifuel que admiten biocarburos de composición variable, desde 0 hasta 100%. No obstante, con biocarburos E85, para motores de gasolina o B90 para los diesel no se necesita ninguna adecuación, y países como Francia incluyen en todos los gasóleos un porcentaje de biodiesel.

<sup>111</sup> EFTE, 2009.

<sup>112</sup> Esto se está haciendo tanto en Borneo, Indonesia, como en la Amazonía, porque estas zonas húmedas son idóneas para el crecimiento óptimo de dichas especies. Sin embargo, hay zonas subtropicales y templadas que pueden ser aprovechadas con otras especies. De la misma manera, si se planta maíz para uso como biocarburo se amenaza la alimentación de las clases más pobres de muchos países (especialmente latinoamericanos, como ya ocurrió recientemente en México).

de agua en los cultivos (siempre excluyendo el riego, por su falta de sentido económico y ambiental), como en el caso de las herbáceas perennes. Este tipo de cultivo reduce además la cantidad de minerales presentes en el combustible, la necesidad de fertilizantes y además aumenta la captura de dióxido de carbono.

La sostenibilidad también requiere que los biocombustibles estén certificados, de manera que se **garantice que su producción se realiza evitando impactos como la deforestación y que no estará en competencia con la producción alimentaria, ni tendrá efectos en los precios de los alimentos.**

Además de la sostenibilidad de los cultivos conviene considerar cómo se usan: no está claro si los biocombustibles no serían más eficientes para generar calor o electricidad que como vectores para el transporte. Se ha propuesto, por ejemplo, redirigirlos hacia la generación térmica y así usar lo ahorrado en gas natural como combustible para vehículos. En todo caso, y dado que el reto de la electricidad verde es también considerable, el uso de cultivos lignocelulósicos parece tener un futuro prometedor, tanto para el transporte como para la electricidad.

### 5.2.2.3. Pilas de combustible de hidrógeno

Los motores con pilas de combustible de hidrógeno (vehículos eléctricos, aunque con hidrógeno como

combustible almacenable en vez de baterías, que luego es convertido en electricidad en la pila de combustible) permiten eliminar al completo los gases contaminantes en consumo final de energía y presentan una relación peso/potencia inferior a sus competidores. Sin embargo, presentan los problemas del almacenamiento del gas en el vehículo y la seguridad necesaria en las estaciones de abastecimiento.

Estos vehículos con pilas de hidrógeno, no se consideran unánimemente atractivos, y desde luego no lo serán a corto o medio plazo, básicamente por la alta pérdida de eficiencia en la producción de hidrógeno y por la alta inversión que se requiere para desarrollar la infraestructura a gran escala para suministrar hidrógeno (que probablemente tendría que ser desarrollada por medio de asociaciones entre gobiernos locales, productores de petróleo y fabricantes de coches).

Sin embargo, algunos fabricantes de coches piensan que todavía no se deberían cerrar las puertas a esta opción: se basan en que la pila de combustible compensa con creces las mayores pérdidas debidas a la producción de hidrógeno y que, además, estos vehículos presentan un mayor par y, por lo tanto, una aceleración mayor. Aunque el vehículo eléctrico parece más apropiado para los coches pequeños, los viajes de larga distancia y los vehículos grandes necesitarán autonomías mayores, algo que es más fácil en el caso de los vehículos con pila de combustible<sup>113</sup>.

<sup>113</sup> De hecho, fabricantes como Mercedes-Benz están ya en la última fase de desarrollo de estos vehículos antes del despliegue en el mercado, y prevén su producción en masa para el año 2020. Sin embargo, para ser más competitivos, necesitan reducir costes en dos órdenes de magnitud.

#### 5.2.2.4. Motores eléctricos e híbridos

Los motores eléctricos con batería son una de las mejores opciones en cuanto a eficiencia energética y por las nulas emisiones finales, y constituyen la apuesta tanto de los fabricantes como de los responsables políticos. Se han utilizado básicamente en el sector ferroviario de pasajeros en ámbito urbano e interurbano (tranvía, metro, cercanías), precisando altos costes de electrificación de la vía. Recientemente, están apareciendo iniciativas de coches, motos, bicicletas, autobuses y camiones ligeros comercializables con motores eléctricos. Estos vehículos precisan de estaciones puntuales de recarga que condicionan su autonomía a unos 100 km.

Los coches eléctricos tienen dos grandes ventajas: superan a los de combustión interna en términos de eficiencia energética<sup>114</sup>, lo que también conlleva menores emisiones de CO<sub>2</sub> y la reducción o eliminación total de la contaminación local. La ventaja del coche eléctrico se hace incluso mayor si se aplica la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS) en las grandes centrales de generación, algo inviable a nivel de vehículo individual<sup>115</sup>.

La razón subyacente tras la ventaja del vehículo eléctrico es que la electricidad es la única opción si la fuente primaria de energía es renovable, eólica o fotovoltaica. Incluso si se tiene que recurrir temporalmente a la quema de combustibles fósiles para el transporte,

es mejor producir la electricidad primero en vez de usar directamente estos combustibles en vehículos de combustión interna, ya que aumenta la eficiencia global del proceso y se controlan mejor las emisiones.

Las razones para apoyar los vehículos eléctricos son, por tanto, convincentes. Sin embargo, hay todavía algunas barreras significativas, todas relacionadas con las baterías del coche: su coste (entre 6.000\$ y 15.000\$), su autonomía y los tiempos de recarga.

El suministro de litio puede ser un problema, pero no parece un obstáculo insalvable. Lo mismo ocurre con la red eléctrica: la red de transmisión es capaz de integrar un gran despliegue de vehículos eléctricos, siempre que haya un control adecuado de las cargas y de la propia red, gestionando su reversibilidad. No obstante, la regulación del sector eléctrico se hará más relevante incluso, a causa del gran crecimiento implicado y la complejidad operativa y costes asociados adicionales.

Un tema clave a resolver en Europa será la sustitución impositiva de los fuertes gravámenes al petróleo en la electricidad para uso en la automoción<sup>116</sup>; su improbable traspaso de una a otra fuente de energía comportará la eclosión de tasas por uso de las infraestructuras, tasas por congestión en los entornos metropolitanos y en definitiva, mayores costes para superar la distancia (independientemente de la fuente de energía)<sup>117</sup>.

<sup>114</sup> Un 29%-12%, si el carbón es la fuente primaria de energía para producir el combustible líquido o la electricidad, 29%-15% si es petróleo, 39%-15% si es gas; todo considerando el ciclo completo well-to-wheel.

<sup>115</sup> Por ejemplo, la introducción de 1 millón de vehículos en España reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un 0,5% y un 5,5% y las de NO<sub>x</sub> entre un 0% y un 4% (el rango de valores se debe a la incertidumbre en cuanto a la tecnología de la generación eléctrica a considerar).

<sup>116</sup> En España, dos tercios partes del precio de la gasolina son impuestos.

<sup>117</sup> Un concepto interesante por su analogía con los operadores de telecomunicaciones, cuyo negocio se centra en "vender minutos de comunicación" más que en "vender teléfonos", lo constituye Better Place ([www.betterplace.com](http://www.betterplace.com)), que propugna que no se vendan "coches" (eléctricos) sino "kilómetros de desplazamiento", quedando en propiedad del operador las baterías que irían mejorando tecnológicamente a su ritmo y sin coste para el usuario.

Adicionalmente, en los últimos años también se han desarrollado motores híbridos que permiten una propulsión eléctrica complementaria a un motor de combustión interna. Proporcionan un servicio más similar al actual, debido a la extensión de su autonomía y a la mayor disponibilidad de combustible. Este hecho permite reducir significativamente el consumo de hidrocarburos y la producción de emisiones contaminantes, y aumentar el rango de uso del vehículo. Los híbridos son un elemento central de las estrategias de muchos fabricantes por su gran ahorro en consumo de combustible. También evitan la necesidad inmediata de baterías grandes y potentes.

Otros combustibles alternativos, como los derivados del carbón o el gas (*coal-to-liquids*, CTL o *gas-to-liquids*, GTL) no merecen ser considerados en este contexto, ya que son peores que los existentes ahora en términos de eficiencia energética total en su ciclo de vida.

**Tabla 5.1. Consumos energéticos de todas estas tecnologías para el caso de turismos. Fuente: Consumo unitario final según vehículo urbano año 2007. ENERDATA (2009).**

Tipo de vehículo	Consumo (MJ/km)
Vehículo convencional	2,47
Vehículo híbrido	1,14
Vehículo eléctrico	0,51
Vehículo con pila de hidrógeno	0,76
Vehículo con combustión de hidrógeno	2,54

### 5.2.3. Consumo de energía por modos de transporte

#### 5.2.3.1. Factores que condicionan el consumo

El factor unitario de consumo de cada medio de transporte depende básicamente de diferentes aspectos que se pueden articular en cuatro categorías:

- **tipo de vehículo:** tecnología de propulsión, control, guiado, peso del vehículo, prestaciones dinámicas y capacidad.
- **canal de circulación:** rozamiento del medio de avance, segregación de circulación, perfil (rampas y cuestas).
- **aspectos operativos del servicio:** programación horaria, condiciones de tráfico, planificación y espaciamiento de paradas, régimen de operación (almacenamiento de energía, *coasting*, etc.).
- **ocupación, velocidad y distancia:** el “factor de carga” como relación entre viajeros y capacidad del vehículo es un contrapeso relevante del transporte colectivo, mientras que la distancia de transporte puede condicionar el modo e incluso la velocidad.

A nivel general, las potencialidades de cada modo de transporte están relacionadas con las economías de escala asociadas al tamaño de cada vehículo y a su capacidad de transporte. En particular, la productividad energética identifica los medios más eficientes y se mide como el número de plazas o cantidad de mercancía potencialmente transportables por unidad de energía consumida.

Sin embargo, la elección individual sobre el modo de transporte incluye otras prestaciones (tiempo de viaje, accesibilidad, fiabilidad, costes fijos...) que en muchos casos potencia la utilización de los modos de transporte más ineficientes energéticamente y medioambientalmente. Este hecho se constata en el consumo energético por modos en la Unión Europea, donde la carretera es el responsable de más del 70% del consumo total del sector transporte.

Ante esta situación, las políticas de gestión de tráfico abogan por crear tasas medioambientales (*pigouvianas*) a los medios más ineficientes para internalizar los costes externos generados por éstos.

### 5.2.3.2. Modos interurbanos

Los modos interurbanos se caracterizan por desplazamientos a largas distancias y con pocas interrupciones o paradas (flujo continuo), hecho que permite mantener una velocidad más o menos constante (fuera de las metrópolis o entornos urbanos y fuera de las paradas).

En todos los modos, los rozamientos o la resistencia aerodinámica al avance son crecientes con la velocidad de recorrido; por este motivo, el consumo energético también sigue esta relación (en vehículos de combustión interna, el consumo energético presenta un mínimo para ciertos rangos de velocidad).

En el transporte interurbano de personas, el ferrocarril es el modo más eficiente desde el punto de vista energético. El vehículo privado presenta unos datos competitivos si se llega a su ocupación máxima. No obstante, el grado de ocupación en entornos urbanos está en el entorno de 1,2 viajeros/vehículo, mientras que en desplazamientos interurbanos no supera los 3 viajeros/vehículo.

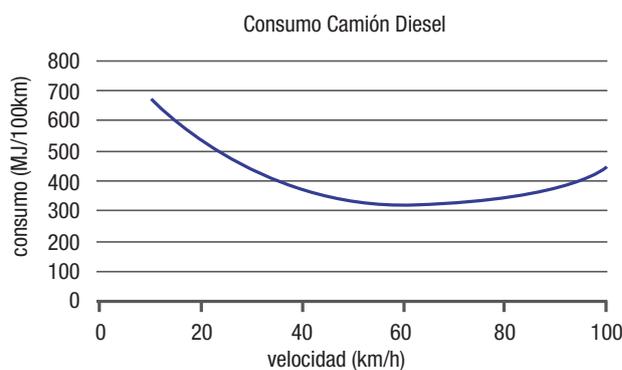
En el caso del transporte de mercancías, el modo marítimo presenta un consumo notablemente creciente con la velocidad. Esta relación es relativamente distinta al transporte por carretera, con una relación cóncava que presenta un valor de consumo mínimo cercano a los 60 km/h. Lo mismo ocurre con el transporte aéreo, cuyo rango de velocidades rentables (para una demanda en equilibrio con unas tarifas que cubran los costes

**Tabla 5.2. Consumos por modo de transporte de personas. Fuente: elaboración propia a partir de EEA (2009) y García-Álvarez (2005 y 2008).**

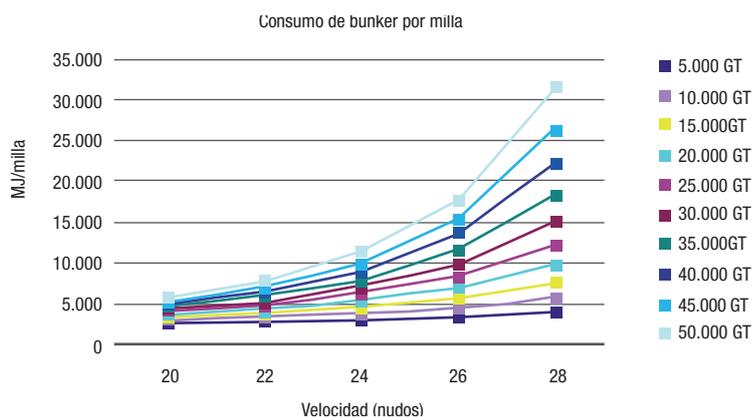
Tipo tren	Consumo kilométrico MJ/km	Capacidad (viajeros)	Consumo unitario (MJ/pax-km)*
Coche (v=100km/h)	1,5	5	0,30
Tren convencional	77	318	0,24
Tren AVE	70	351	0,20
Avión	165	170	0,97

\* Cálculo realizado con una ocupación del 100%.

**Figura 5.1a. Consumo de camión de transporte por carretera Euro VI (Capacidad 80 m<sup>3</sup> o 25 t). Fuente: elaboración propia a partir de CORINAIR, EEA(2009).**



**Figura 5.1b – Consumo por tamaño de buques según capacidad. Fuente: elaboración propia.**



operativos) no debe superar los 1.000 km/h y proscribire los vuelos comerciales supersónicos como ocurrió con el Concorde.

### 5.2.3.3. Modos urbanos

La presencia de situaciones de congestión y la heterogeneidad de las condiciones de circulación en las ciudades hacen que el consumo energético de cada modo de transporte dependa notablemente de la segregación de la vía respecto a otros flujos y en el caso del transporte público, del espaciamiento de paradas.

Sin embargo, la eficiencia energética de cada modo de transporte se basa especialmente en la ocupación de los vehículos asociados a cada modo de transporte. Dejando de lado los modos no motorizados, el transporte público y especialmente los modos ferroviarios son los más sostenibles y de menor consumo energético valorando la capacidad de transporte de personas por unidad de energía consumida.

**Tabla 5.3. Consumos y eficiencia energética en modos de transporte urbano. Fuente: Vuchic (2007).**

Modo	Capacidad vehicular (plazas/vehículo)	Ocupación media (viajeros/vehículo)	Eficiencia energética (MJ/veh-km)	Eficiencia energética (MJ/viaj-km)
Turismo normal	5	1,2-2,8	2,19-3,46	0,78-3
Turismo compacto	4	1,2-2,8	1,63-1,83	0,58-1,5
Carpooling	6	2,0-6,0	2,19-3,46	0,36-1,71
Bus regular	45-70	10-70	6-10,3	0,08-1,02
Trolebús	45-70	10-70	7,82-15	0,11-0,78
Tranvía	80-200	15-200	5,8-18	0,03-1,24
Ferrocarril (antiguo)	130-180	20-180	7,82-13,33	0,04-0,66
Ferrocarril (nuevo)	150-200	25-200	12,4-18	0,06-0,73

Los modos no motorizados tienen una especial función para servir los desplazamientos a distancias cortas y se caracterizan por ser los de mayor eficiencia energética. En particular, como se ha señalado, la bicicleta tiene asociado un consumo energético de 0,06 MJ/pax-km, mientras que el valor asociado al modo a pie es de 0,16 MJ/pax-km<sup>118</sup>.

#### 5.2.3.4. Otras mejoras en el vehículo

Hay tres métodos principales para mejorar la sostenibilidad del transporte desde el punto de vista de la configuración del vehículo: nuevos diseños y materiales para vehículos convencionales, nuevos combustibles (ya comentado) y nuevos motores (también).

El potencial de mejora de los vehículos convencionales es todavía grande y en parte no explotado (aunque algunos fabricantes de coches ya han emprendido acciones en esta dirección). Las mejoras incrementales de bajo coste en motores de combustión interna, como la inyección directa, la desactivación de cilindros, un control más inteligente, el control de la presión de los neumáticos, la aerodinámica o la resistencia en el rodaje pueden mejorar la eficiencia de un 3 a un 10%. Los cambios avanzados (mejoras en carga de turbo o hibridación) también pueden aportar ahorros adicionales. La clave aquí es ser capaz de pasar de una tendencia histórica del diseño, basado en las prestaciones, a otra enfocada a la eficiencia (lo que por supuesto supone grandes retos en cuanto a la psicología del consumidor, marketing, etc.). Otras

consideraciones relevantes, como la relación entre la mejora de las prestaciones de los coches y el riesgo de accidentes implican una profunda revisión de los aspectos culturales y comerciales.

Si la mitad de todas las mejoras en eficiencia fueran utilizadas para recortar el consumo de combustible en vez de potenciar las prestaciones, se estima que el uso de combustible se podría reducir hasta un 13% en 2035. Y si todas las mejoras en eficiencia fueran dirigidas a este propósito la reducción sería, por tanto, de un 26%. La adopción agresiva de tecnologías híbridas (enchufables o no) podría resultar en una reducción del 40% del consumo de combustible en el coche.

La reducción de peso es una parte esencial para esto. Una disminución del 10% en el peso conlleva normalmente una bajada del 7% en el consumo de combustible. Esta reducción se puede alcanzar con la sustitución por materiales ligeros, la fabricación de coches más pequeños y cambios en el diseño. Aplicar estos tres factores al mismo tiempo podría llevar a una reducción del peso entre el 20 y el 35% para 2035.

Sin embargo, hay algunos obstáculos: por ejemplo, la legislación europea en vigor sobre reciclaje desincentiva el uso de materiales compuestos ligeros; y los tests de seguridad no dan resultados que animen a la fabricación de coches más pequeños y ligeros.

El primer factor mencionado podría cambiar si el legislador europeo reconociera que en el ciclo de vida de un vehículo, la mayor parte del impacto (uso

<sup>118</sup> Thorson y Robusté, 1998.

de petróleo, contaminación local o emisión de gases de efecto invernadero) proviene de la fase de conducción, no de la fabricación y reciclado y, por tanto, modificara la norma de acuerdo a esto. En cuanto al segundo factor, la seguridad depende del peso y la velocidad, pero no exclusivamente. Los coches pequeños también se pueden hacer más seguros, especialmente si el parque automovilístico al completo se adapta a un menor tamaño de los vehículos.

En general, se observa ya una bipolarización entre los ámbitos urbanos e interurbanos para el vehículo utilitario: en los ámbitos urbanos, los vehículos son pequeños debido a la baja ocupación (del orden de 1,3 pasajeros/coche de media y 1,1 pasajeros/coche en la hora punta), a las limitaciones de espacio para aparcamiento y a la limitada velocidad de circulación que configura niveles de seguridad buenos incluso para vehículos pequeños. En los ámbitos interurbanos, se tiende a mayores ocupaciones (excepto en contadas ocasiones, como el viajante de comercio), mayor aerodinámica para alcanzar mayores velocidades con menor consumo y mayor seguridad y peso del vehículo<sup>119</sup>.

### 5.2.3.5. La forma de conducción

La forma de conducción condiciona notablemente el consumo<sup>120</sup>. Los

cambios en el comportamiento del conductor se pueden lograr de diversas formas: formación, concienciación, incentivos, información en tiempo real, etc.

El ahorro de combustible se puede alcanzar mediante una gestión adecuada del acelerador, el freno y las marchas. La filosofía reside en reducir al máximo la energía perdida en forma de calor en la frenada mediante el cese de la aceleración en el momento justo en función de limitaciones cercanas; si el vehículo precedente se contempla como un semáforo (rojo si está parado y verde si está en movimiento) y nuestro vehículo lo contemplamos como un semáforo para el vehículo seguidor, una forma de conducir que limita frenadas y aceleraciones puede ahorrar energía<sup>121</sup>.

Algunos ejemplos de de sistemas autónomos que conducen a reducciones de consumo y emisiones son los siguientes<sup>122</sup>:

- **Control de crucero adaptativo (ACC)**, el cual fomenta una circulación más uniforme, lo que redundará en ahorros de consumo superiores al 3%.
- **Sistema *stop and go*** para entornos urbanos o congestionados.
- **Monitorización de la presión en los neumáticos**, dada la influencia de esta variable en la seguridad y el consumo.

<sup>119</sup> Es posible que esta dicotomía funcional se pueda conseguir por alquiler horario o diario de alguno de los dos tipos (o los dos) de vehículos con la fórmula de carsharing descrita en el capítulo anterior "Soluciones desde la demanda".

<sup>120</sup> RAI, 2009.

<sup>121</sup> De las simulaciones, se observa que el ahorro se ve potenciado con una mayor distancia de reacción del sistema mientras que se penaliza el tiempo de viaje. Así, incrementar dicha distancia de 300 a 500 metros, proporciona un ahorro relativo de combustible del 9,8%, aumentando el tiempo empleado en el trayecto en un 2,3% (RAI, 2009). La modificación del comportamiento del conductor también se identifica como una posibilidad para la reducción de las emisiones: de forma orientativa, las mejoras potenciales en la reducción de emisiones se estiman en un 10% por disminución de peso, un 20% por avances del motor, un 10% por la transmisión y un 25% por el estilo de conducción (RAI, 2009).

<sup>122</sup> RAI, 2009.

- **Indicador de cambio de marcha** para hacer trabajar al motor en los regímenes más adecuados, lo que se estima que redundará en una reducción de consumo del 3%.
- **Calculadores de consumo** que proporcionan información instantánea y promediada al conductor sobre dicha variable.

### 5.2.3.6. El papel de las TIC

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) tienen un papel fundamental en la mejora operativa del sistema de movilidad<sup>123</sup>. Para un vehículo propulsado por un sistema energético, las TIC permitirán sacar todo el partido de las circunstancias promoviendo que el trayecto de un punto a otro se realice de forma eficiente en la hora y el día que se ha elegido viajar.

Cuando las TIC permitan a los vehículos interactuar con una infraestructura inteligente<sup>124</sup>, y los vehículos puedan interactuar entre sí<sup>125</sup>, se aumentará la seguridad y se reducirá el coste global del transporte mediante<sup>126</sup>:

- Mayor seguridad, es decir con bajos índices de accidentalidad y mortalidad.

- Mayor regularidad y fiabilidad (*reliability*) en el transporte.
- Mayor eficiencia, asignando los recursos de manera óptima en el sentido económico en cuanto a reparto modal, atribución de medios y selección de tecnologías.
- Minimización de las afecciones urbanísticas o territoriales de los sistemas de movilidad y transporte.
- Minimización de la huella ecológica, y en particular de la emisión de CO<sub>2</sub> y demás GEI en el transporte.
- Mitigación de otras externalidades negativas de consecuencias preocupantes: congestión, irregularidad de los tiempos de viaje, contaminación acústica, etc.

La integración de tres tecnologías preexistentes (GPS, cartografía digital y comunicaciones inalámbricas) permite detectar y transmitir información en tiempo real para tomar decisiones online; si se provee de conocimiento adecuado, las TIC permiten realizar el control adaptativo del sistema semafórico<sup>127</sup>, el guiado de aparcamiento<sup>128</sup>, priorización semafórica para el transporte público (*TSP, transit signal priority*)<sup>129</sup>, corredores de prioridad para

<sup>123</sup> La infraestructura es un elemento estratégico, mientras que el vehículo y la energía es un elemento táctico.

<sup>124</sup> IVI, interacción infraestructura-vehículo: mientras algunos se imaginan este episodio como una carretera con una extensa y cara "piel de sensores pasivos", Google ya ha demostrado de forma experimental que una combinación de GPS, láser y software adecuado permite una conducción automática emulando la visión artificial.

<sup>125</sup> VVI, interacción vehículo-vehículo: alguna muestra de vehículos puede enviar información sobre actuación del limpiaparabrisas o señal del sensor de lluvia, señal del termostato externo, activación de luces, etc., aunque ninguno de estos inputs es ya relevante si se dispone de visión artificial.

<sup>126</sup> RAI, 2009.

<sup>127</sup> En función de las condiciones reales de circulación y teniendo en cuenta el diagrama fundamental macroscópico del tráfico en ciudades, lo que permite mejoras de eficiencia del 5% y reducción de emisiones del 2%-3%.

<sup>128</sup> Detección de las plazas de aparcamiento libres, en superficie o en parkings subterráneos o en altura, información al usuario y guiado para evitar el tráfico de agitación.

<sup>129</sup> Define una coordinación semafórica para la velocidad comercial del autobús, más lenta que la del vehículo privado debido a las paradas.

emergencias, zonas de acceso restringido, información al usuario, mediciones ambientales RWIS (*Road Weather Information System*), información sobre oferta-demanda de

viajes para compartir vehículos<sup>130</sup>, etcétera.

### Experiencias de la aplicación de las TIC a la gestión de vehículos en España

- *Carsharing*: Avancar, Barcelona.
- *Carpooling*: Viajamosjuntos.com. Compartir.org. Shareling.
- *Aparcamiento inteligente o guiado del aparcamiento*. Los primeros inicios datan de una treintena de años en Barcelona, proporcionando información sobre la ocupación de los aparcamientos del centro de la ciudad en los principales viales de acceso. La aplicación micro más espectacular es *Sfspark Smart Parking Management Program* (2009), que detecta las plazas de aparcamiento libres en superficie con sensores RFID adheridos a asfalto (con autonomía de 5 años) y transmite la información a la web, PDA, móvil o pantallas en las calles; el pago se realiza con dispositivos móviles, sin ticket, y se aplica *value pricing* según oferta-demanda y zonas.
- *Congestion pricing*: en Estocolmo, Londres y Milán (además de muchas otras ciudades pequeñas del norte de Europa). En Barcelona se utiliza una política substitutoria vía la tarificación de todo el aparcamiento en superficie (área verde, además de la de alta rotación área azul).
- *Control del tiempo de carga y descarga*. En Barcelona se permite media hora y se regula con un círculo de cartón que el propio usuario coloca en su parabrisas; en este caso el ITS (*Intelligent transport System*) no necesita de TIC.
- *SAE*. EMT de Madrid y TMB de Barcelona, entre otras muchas ciudades.
- *Bicicletas públicas de alquiler*. *Bicing* en Barcelona. También en Vitoria-Gasteiz, Donostia, Sevilla, Zaragoza, Girona, etc.
- *Control adaptativo del sistema semafórico*: en algunos cruces en Madrid y Barcelona.
- *Priorización semafórica para el transporte público*: implantado de forma pionera en Barcelona en la calle Aribau, en 2005.
- *Carriles multiuso*. implantados en Barcelona desde 1992 en las calles Balmes, Muntaner, Travesera de Gracia, etc. En la hora punta se utilizan para circulación, y en la valle para carga y descarga; por la noche se utilizan para aparcamiento de residentes.
- *Corredores de prioridades para emergencias*: bomberos en Barcelona.
- *Zonas de acceso restringido* (excepto para residentes, emergencias, carga y descarga y según unos horarios): en Barcelona se implantan desde 1992 (barrio de la Ribera, proyecto europeo Gaudí).
- *Información al usuario*: la mayoría de los operadores de transporte público de las grandes ciudades disponen de un buen sistema de información al público, pero conviene destacar la iniciativa [www.511.org](http://www.511.org) en San Francisco y [www.trips123.com](http://www.trips123.com) en Nueva York; es probable que estas iniciativas en el futuro corran a cargo de un soporte estándar como Google-Transit.

<sup>130</sup> Con propietario (*carpooling*) o de alquiler (*carsharing*).

#### 5.2.4. Conclusiones

La reducción del consumo energético del sector transporte requiere inevitablemente una gestión de la movilidad (oferta y demanda), además de una apuesta por tecnologías más eficientes.

**Electrificar el transporte es sin duda una opción atractiva y seguramente necesaria.** Sin embargo, se debería ser consciente de lo mucho que queda por hacer. El consumo mundial de petróleo es hoy aproximadamente una milla cúbica. Reemplazar el contenido energético de esa cantidad equivaldría a 5.200 centrales de carbón de 500 MW o 2.600 centrales nucleares de 1100 MW si proviniera de generación eléctrica convencional, o a 1'64 millones de molinos eólicos de 1'65 MW cada uno si proviniera de energía eólica (aunque estos números deben ser ajustados por las ya mencionadas diferencias en la eficiencia de los motores, la magnitud del desafío no cambia sustancialmente).

**En ausencia de una presión regulatoria adicional, llegar a la supresión de emisiones de todo el parque automovilístico requeriría de unos 40 a 50 años,** dado que se suele necesitar 10 años para desarrollar un coche o una tecnología nueva, y hay que tener en cuenta el tiempo que lleva renovar el parque (otros 10 años como mínimo). Como se puede observar, los plazos de tiempo manejados son significativos. Este horizonte temporal permitiría amplios márgenes de tiempo para resolver los problemas tecnológicos y superar otras barreras, pero parece completamente inaceptable desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Teniendo todos estos aspectos, **la opinión más generalizada es que a**

**corto plazo se necesitará ganar tiempo con avances en los coches convencionales actuales, y que en el futuro podría alcanzarse una solución a través del uso de pequeños coches eléctricos, posiblemente alquilados, complementados por vehículos híbridos o a base de hidrógeno para largos recorridos.** Pero también hay acuerdo sobre la necesidad de segmentar el mercado del automóvil para dar el uso correspondiente a cada vehículo.

Principios, tendencias y conclusiones semejantes son de aplicación:

- a los camiones ligeros de transporte de mercancías y a los autobuses.
- al ferrocarril: de elevada eficiencia energética por alta ocupación, cuando viaja lleno, aunque puede mejorar por peso, coeficientes aerodinámicos, frenado regenerativo y mejora en los sistemas de propulsión. Su baja cuota de mercado es debida sólo en parte a problemas infraestructurales y de vehículos, y en mayor proporción a una cultura empresarial no orientada al servicio y deficiencias en organización logística).
- al transporte marítimo: a pesar de su crecimiento tras la crisis, nuevos diseños y combustibles reducirán el consumo y las emisiones de GEI.
- a la aviación: las aeronaves de pasajeros actuales son un 70% más eficientes en el consumo de combustible que las construidas hace 40 años y se esperan avances significativos en las próximas décadas, en buena parte motivados por el incentivo a reducir este importante capítulo de costes en las aerolíneas.

### 5.3. COMPARATIVA DE ACCESO, COSTES E IMPACTOS DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN

Tomando en consideración lo señalado a lo largo del informe sobre los diferentes aspectos que presentan las diversas fuentes de generación (acceso, costes, dependencia, impactos...) se puede establecer el siguiente cuadro comparativo (Tabla 5.4):

### 5.4. REFLEXIONES COMPLEMENTARIAS

**El mundo sigue dependiendo en más de un 80% de los combustibles fósiles**, y en la próxima década no parece que vaya a cambiar demasiado esta situación, porque las tecnologías de ahorro y captura de CO<sub>2</sub> no estarán universalmente disponibles, y la nuclear tiene su cara oculta en la proliferación, el peligro del terrorismo o el almacenamiento milenario de los residuos.

**Las tecnologías renovables sin duda crecerán mundialmente pero, en el corto plazo, probablemente de manera insuficiente** para evitar que la emisión de gases de efecto invernadero, responsables del Cambio Climático, sigan concentrándose en la atmósfera de manera alarmante. Para la necesaria generalización de las renovables se necesitan enormes inversiones en I+D+i que no aparecen en las cantidades requeridas, inversiones que, sin embargo, no se han escatimado históricamente para las energías convencionales, en especial para la energía nuclear.

No obstante, **nuevos conceptos y realidades surgen en el panorama energético mundial:**

- la integración de renovables con generación distribuida apoyada por la electrónica de potencia y las micro-redes.
- el almacenamiento de energía eléctrica en baterías de flujo, supercondensadores, ultracondensadores y, por supuesto, el bombeo reversible.
- la segunda generación de biocarburantes y las posibilidades de la biomasa para la energía, biomateriales y alimentación.
- la fotovoltaica alcanzará en esta década próxima la paridad de red aunque quizás aun no universalmente.
- los sistemas térmicos se diseñarán multipropósitos, produciendo calor y frío a diversas temperaturas, así como agua y energía eléctrica.
- la eólica se extenderá por los mares, las olas suministrarán energía comercial y la geotérmica de baja temperatura será utilizada masivamente en la edificación.

También hay que señalar la importancia de un problema al que no se le ha prestado la suficiente atención: **es muy posible que sean algunos de los minerales estratégicos necesarios para construir y operar las tecnologías energéticas, los que vayan a sufrir escasez en este siglo.**

Aunque la materia tampoco se crea ni se destruye, sí que se dispersa. Y estamos utilizando muchos materiales una sola vez y los dispersamos despreocupadamente, como pasó con el plomo en las gasolinas u hoy con el fósforo en los fertilizantes.

Los materiales se necesitan para todos nuestros diseños energéticos. Hay

Tabla 5.4. Cuadro comparativo sobre beneficios y efectos adversos de las distintas fuentes energéticas.

		Régimen especial		Combustibles fósiles		Nuclear
		Renovables	Hidráulica	Carbón	Petróleo y gas	
Acceso a la energía	Disponibilidad o no del recurso		<sup>1</sup>	<sup>2</sup>		
	Dependencia tecnológica					
	Renovabilidad o no del recurso					
Impactos	Cambio Climático					<sup>3</sup>
	Residuos Radiactivos					
	Contaminación e impactos locales					
Costes	Inversión					
	Operación y Mantenimiento					<sup>4</sup>
	Costes crecientes o decrecientes			<sup>5</sup>		

De más a menos beneficioso:



**Notas:**

1) El recurso agua es renovable, pero limitado: hay saturación en la instalación de grandes embalses.

2) España importa el 76% del carbón (2009), en parte por la deficiente calidad del carbón nacional.

3) Las emisiones de gases de efecto invernadero de la nuclear son menores que las de los combustibles fósiles; no obstante se produce gran cantidad de emisiones tanto en el proceso de construcción y fabricación de materiales empleados, como en la minería y procesamiento del uranio.

4) En los costes de mantenimiento se han considerado los del desmantelamiento de las centrales nucleares.

5) La Captura y Secuestro de Carbono incrementaría los costes actuales.

cada vez más artefactos electrónicos para el transporte, la construcción, etc., y el consumo de materiales aumenta exponencialmente, sin que los yacimientos y minas puedan regenerarse. No hay minería renovable en contraposición a las energías renovables. Además, las minas mejores son las primeras que se extraen, con lo que la energía necesaria para extraer la siguiente unidad de mineral crece exponencialmente, al igual que el impacto ambiental que se genera.

**El siglo XXI verá un enorme desarrollo de las tecnologías de reciclado de materiales**, como hoy se hace estrictamente con los metales preciosos: ya hay más oro en nuestras basuras que en la naturaleza. Y los diseños de los productos que consumamos serán extensamente reciclables, robustos, de bajo consumo energético y pequeños.

---

***Aunque las energías renovables presentan muchas ventajas con respecto a las energías convencionales, como se puede observar en el cuadro comparativo sobre beneficios y efectos adversos de las fuentes de generación, Tabla 5.4, tampoco pueden ser consideradas la panacea. Solamente si además se avanza considerablemente en la mejora de la eficiencia y reducción de la intensidad energética y el ahorro en el uso de materiales y energía, se podría reorientar la economía y la sociedad hacia un futuro sostenible.***

---

La elaboración de escenarios energéticos deseables hacia los que

orientar el futuro de la energía, deberá tener en cuenta dichas consideraciones.



## 6. EL ESCENARIO ENERGÉTICO DESEABLE

En este capítulo se presentan los resultados de una propuesta que permite avanzar hacia un modelo energético más sostenible para España y viable económicamente. Para ello se definen las metas a conseguir en 2020/30, que nos van a permitir alcanzar el objetivo de reducción del 80% en emisiones para 2050.

Esto se consigue incidiendo de forma muy especial en la reducción de la demanda, particularmente en los sectores residencial, servicios y transporte, y en la electrificación de parte de estos sectores. Por otro lado, la oferta se encauza hacia la configuración de un sector eléctrico basado casi exclusivamente en las energías renovables.

Todo ello, en un escenario que, aunque conlleva una considerable reducción de la demanda energética, no contempla un proceso desindustrializador, sino por el contrario, una economía productiva con posibilidades de reorientarse hacia un modelo más sostenible<sup>131</sup>.

### 6.1. REVISIÓN DE ESCENARIOS EXISTENTES

#### 6.1.1. Revisión de escenarios internacionales y nacionales

El propósito de esta sección es dar una visión de algunas de las elaboraciones ya realizadas sobre posibles futuros energéticos en el mundo y en España en el horizonte 2020 y 2050, que incluyen una descarbonización relativa del sistema energético. No pretende realizar una revisión exhaustiva de los escenarios disponibles en la literatura.

En la primera parte de esta sección se revisan las características del escenario 450 de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2009), así como su comparación para la UE con un escenario más avanzado elaborado por el Consejo Europeo de Energías Renovables y Greenpeace. Seguidamente se muestran algunas elaboraciones recientes de escenarios para la economía española.

<sup>131</sup> Para la elaboración de este capítulo se han utilizado principalmente las siguientes referencias:

- Caldés, N, Y. Iechón, M. Labriet, H. Cabal, C. de la Rúa, R. Sáez, M. Varela. Description of the Energy System of Spain. Informes Técnicos CIEMAT nº 1150. Septiembre 2008.
- EURELECTRIC, 2006. Statistics and Prospects for the European Electricity Sector. (EURPROG 2006). 34th edition. Union of the Electricity Industry, 283p.
- Greenpeace International and EREC (2007). Energy [r]evolution, a Sustainable World Energy Outlook. Greenpeace International, European Renewable Energy Council, 212p.
- IDAE, 2010. Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER). Ministerio de Industria Turismo y Comercio. IDAE. Junio 2010.
- Labriet, M., et al., The implementation of the EU renewable directive in Spain. Strategies and challenges. Energy Policy (2010), doi:10.1016/j.enpol.2009.12.015
- MITYC (2009). La energía en España 2008. Ministerio de industria, Turismo y Comercio. 2009.
- MITYC, 2010. mix Energético 2020. Borrador. Julio 2010.
- RES2020 deliverable D2.2 and D2.3. Reference Document on Renewable Energy Sources Policy and Potential. RES2020 Monitoring and Evaluation of the RES directives implementation in EU27 and policy recommendations for 2020. Project no: EIE/06/170/SI2.442662
- Resch, G., Faber, T., Haas, R., Ragwitz, M., Held, A., Konstantinaviciute, I., 2006. Potential and cost for renewable electricity in Europe. Report (D4) of the IEE Project OPTRES: Assessment and Optimisation of Renewable Support Schemes in the European Electricity Market. Vienna University of Technology, Institute of Power Systems and Energy Economics, Energy Economics Group, 75p.
- Toorn, G., 2007. EU Tradewind, WP2-Wind Power Capacity Data collection. Garrad Hassan and Partners Ltd., EIE/06/022/SI2.442659, 38.

### 6.1.1.1. Escenarios internacionales

Hay diversos organismos internacionales que elaboran proyecciones a largo plazo del sistema energético mundial. La Agencia Internacional de la Energía publica periódicamente un informe sobre las perspectivas del sistema energético en el horizonte temporal 2030, contemplando varios escenarios.

En el capítulo 3 ya se ha analizado el escenario de referencia (AIE, 2009)<sup>132</sup>. En éste se contemplan las políticas energéticas en vigor, suponiendo que no se modifican en el futuro. No pretende ser una previsión o una proyección, sino una referencia en el estudio de un escenario de política. En el escenario se tiene en cuenta el efecto de la reciente crisis económica internacional, que se inició en el verano del año 2007.

En segundo lugar, **el estudio recoge un escenario de reducción de emisiones ambicioso, que pretende ser compatible con la limitación del aumento de la temperatura mundial a dos grados. Este escenario se denomina “escenario 450”, por conducir el crecimiento económico subyacente hacia un nivel de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de 450 ppm en términos equivalentes.**

El escenario 450 de la Agencia Internacional de la Energía plantea una transformación radical del sistema energético que permita descarbonizar de modo significativo la economía mundial. Alcanzar un escenario de concentración de emisiones en la atmósfera implica una enorme reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

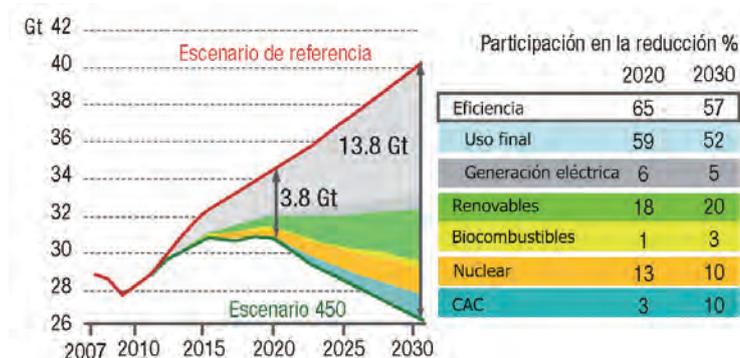
en el sistema energético, como se observa en la figura 6.1. Además, las emisiones de CO<sub>2</sub> deberían alcanzar un pico en el periodo 2015-2020, para empezar a descender de modo notable a partir de ese periodo.

La figura señalada representa además de qué forma se puede lograr semejante esfuerzo de reducción de emisiones dentro del sector energético.

Las distintas tecnologías eléctricas, como las renovables o los biofuegos, tienen un papel destacado (en torno a la quinta parte del total). Sin embargo, es importante destacar que más de la mitad de la reducción se debe a mejoras en la eficiencia y ahorro energético en los usos finales. Estas medidas incluyen actuaciones en edificios, industria y transporte, con cortos periodos *pay-back* e incluso costes negativos de reducción.

Greenpeace y el Consejo Europeo de Energías Renovables han hecho público en junio de 2010 un escenario llamado [R]evolución Energética Avanzada para la Unión Europea<sup>133</sup> que analiza el potencial

**Figura 6.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía en los dos escenarios de la AIE. Fuente: AIE (2009).**



<sup>132</sup> World Energy Outlook. International Energy Outlook. Agencia Internacional de la Energía, AIE. 2009.

<sup>133</sup> [R]evolución Energética. Hacia un suministro energético completamente renovable en la UE 27. Greenpeace y EREC. <http://www.greenpeace.org/espana/reports/100708-01>

de un nuevo desarrollo energético para los próximos 40 años y constituye una propuesta para “avanzar hacia un sistema energético eficiente y renovable para garantizar plenamente la seguridad del abastecimiento energético, crear empleos verdes, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, disminuir los precios de la energía y fomentar la innovación”.

El escenario, tercera edición de la propuesta [R]evolución Energética 2007, es una revisión más ambiciosa que contempla que las energías renovables en 2050 cubran la demanda del 92% de la energía total de la UE y el 97% de la electricidad, y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 95%.

### 6.1.1.2. Escenarios nacionales

Diversos organismos han elaborado escenarios energéticos para la economía española:

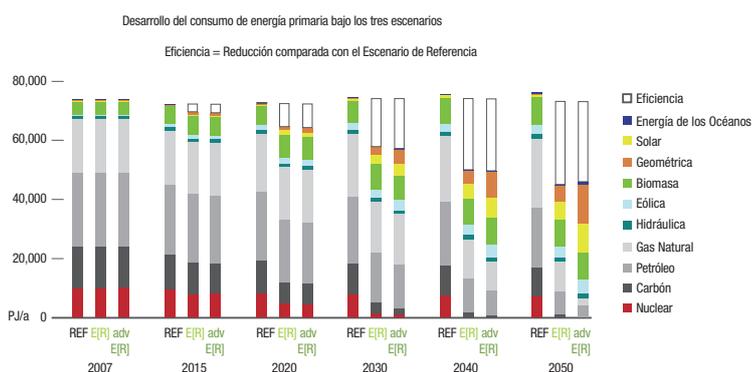
a) **El Gobierno de España ha presentado recientemente un escenario energético para el año 2020**<sup>134</sup>. En el mismo se proyecta una notable caída de la intensidad energética de la economía española en el periodo 2009-2020. Asimismo, mientras que la energía primaria aumenta en dicho periodo en un 4,5%, la energía primaria proveniente de fuentes renovables más que se duplica, aumentando en un 130%.

Respecto al sector eléctrico, la producción bruta de electricidad aumenta en un 23% en el periodo 2009-2020. La producción eléctrica desde fuentes renovables más que se duplica, sobre todo por la contribución de la eólica y de la solar.

b) **El estudio de Prospectiva Energética 2030 presenta unos escenarios calculados con el modelo POLES-España, que ilustra el resultado de un trabajo de modelización**<sup>135</sup>. El modelo energético mundial POLES se utiliza regularmente por la Comisión Europea para la simulación de las consecuencias de diversas políticas climáticas sobre el sistema energético europeo y mundial.

La principal ventaja de utilizar un modelo mundial multi-país como POLES<sup>136</sup> para el estudio del sistema energético de un país concreto es que se realiza un tratamiento sistemático y consistente del funcionamiento de los mercados mundiales de energía, que actúan ciertamente como “condiciones de contorno” para la evolución del sistema energético nacional.

**Figura 6.2. Escenarios comparativos de evolución del consumo de energía primaria en la UE: la columna REF se corresponde con el escenario 450 de la Agencia Internacional de la Energía y la columna Adv E[R] con el escenario [R]evolución Energética Avanzada de 2010, que revisa la primera propuesta de E[R] 2007.**



<sup>134</sup> Propuesta del Gobierno para un acuerdo político para la recuperación del crecimiento económico y la creación de empleo. Gobierno de España. 2010. <http://www.meh.es/Documentacion/Publico/GabineteMinistro/Varios/01-03-10%20DOCUMENTO%20PROPUESTAS.pdf>

<sup>135</sup> Realizado en 2007, está publicado en Németh et al. (2009).

<sup>136</sup> Hidalgo I. Introducción a los modelos de sistemas energéticos, económicos y medioambientales: descripción y paliaciones del modelo POLES. Revista de Economía Mundial 13, 33-75. 2005.

Tabla 6.1. Propuesta del Gobierno de España en la mesa para un acuerdo político para la recuperación del crecimiento económico y la creación de empleo. Gobierno de España (2010).

<b>Mix energético en 2020</b>			
<b>Total nacional</b>		<b>2009</b>	<b>2020</b>
<b>Energía final</b>	Total energía final (ktep)	98.717	101.966
	Intensidad Ef (ktep/millones € 2000)	127,6	102,1
<b>Energía primaria</b>	Total energía primaria (ktep)	131.567	137.826
	Intensidad Ef (ktep/millones € 2000)	169,9	138,0
	Carbón	10.863	10.419
	Petróleo	64.789	53.070
	Gas natural	30.770	32.696
	Nuclear	13.901	14.490
	Energías renovables	11.958	27.900
Saldo eléctrico (Imp. - Exp.)	714	748	
<b>Balance energético (GWh)</b>	Producción bruta	299.616	370.731
	Nuclear	53.340	55.600
	Carbón	39.060	34.380
	P. petrolíferos (incluida cogeneración)	19.268	6.300
	Gas natural (incluida cogeneración)	110.490	108.109
	Bombeo	2.450	8.023
	Renovables	75.009	158.319
	Hidroeléctrica	28.757	33.900
	Eólica onshore	34.900	71.350
	Eólica offhore	0	12.400
	Solar	6.372	29.669
	Biomasa, biogás, RSU y otros	4.980	12.000
	Producción neta	290.316	361.853
	Demanda (bc)	278.316	341.691
Demanda final de electricidad	246.397	300.186	
<b>Potencia instalada (MW)</b>	Potencia total		
	Nuclear	7.716	7.526
	Carbón	11.800	8.130
	P. petrolíferos (incluida cogeneración)	7.612	1.682
	Gas natural (incluida cogeneración)	29.391	37.771
	Bombeo	2.546	5.700
	Renovables	39.721	74.547
	Hidroeléctrica	16.189	16.662
	Eólica onshore	18.300	35.000
	Eólica offhore	0	5.000
	Solar	4.165	15.685
Biomasa, biogás, RSU y otros	1.067	2.200	
% ER / E final (según Directiva EERR)	12,5%	22,7%	
Autoabastecimiento	23,0%	33,6%	

c) En Németh et al. (2009)<sup>137</sup> se recogen los resultados de otros dos escenarios<sup>138</sup>:

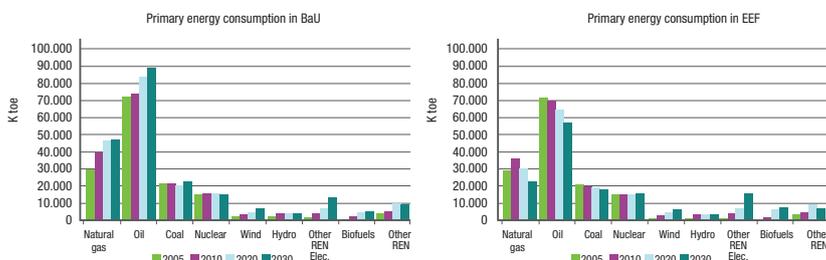
- un primer escenario, denominado **escenario de referencia o BAU** (*business as usual*), recoge la evolución tendencial del sistema energético sin modificar las políticas existentes.
- un segundo **escenario de eficiencia energética (EFF)**, que conduce a un sistema energético en el año 2030 radicalmente distinto al que proyecta el escenario BAU. En el escenario de eficiencia, la intensidad energética es mucho menor, el papel de las energías renovables es mucho mayor y, finalmente, la dependencia de

recursos energéticos externos también es menor. Dicha transformación radical del sistema energético se produce por varias circunstancias: grandes mejoras en la eficiencia energética, y mayores precios internacionales del petróleo y gas natural.

La figura 6.3 representa la evaluación del consumo primario de energía por tipo de combustible en el periodo 2005-2030. La tendencia de los últimos años en cuanto a un aumento del peso de las energías renovables y del gas natural, en detrimento del petróleo y del carbón, continúan en el escenario de referencia. El consumo de energías renovables aumenta notablemente en los dos escenarios, más que triplicándose en 25 años. En el escenario de eficiencia, el consumo de todos los combustibles fósiles decrece en el periodo 2010-2030.

La gran expansión de las fuentes de energía renovable hace que el ratio de dependencia energética exterior disminuya, incluso aumentado la demanda total de energía (figura 6.4). De acuerdo con el escenario de referencia el ratio disminuye desde un 78% en el 2005 hasta un 72% en el año 2030. En el escenario de eficiencia, este ratio cae hasta un 59% en el 2030.

**Figura 6.3 Evolución del consumo de energía primaria por combustibles en el periodo 2005-2030.**



<sup>137</sup> Németh G., Szabó L., Ciscar J.C. & A. Soria (2009). Recent trends and outlook of the Spanish energy system. European Review of Energy Markets- volume 3, issue 1, April 2009.

<sup>138</sup> En las principales hipótesis sobre la evolución de la economía y la población de ambos escenarios se supone que el PIB crece a tasas elevadas, convergiendo gradualmente hacia la tasa tendencial de crecimiento del PIB de la UE, un 2%. La población se estabiliza en un nivel de 46 millones de personas en el periodo 2010-2020, tras el gran crecimiento experimentado en la década de 1995-2005. El número de hogares crece a una tasa menor que el PIB, alcanzando los 20 millones en el 2030.

En el escenario de referencia se alcanzan los objetivos de la Estrategia 2004-2012 de Eficiencia y Ahorro Energético. Esta mejora de eficiencia se modeliza en POLES a través de una mejora exógena del parámetro denominado autonomous energy efficiency improvement (AEEI), que es específico para cada una de las tecnologías energéticas. Las mejoras de eficiencia son mayores en el escenario de eficiencia. Los precios internacionales del petróleo en el escenario de referencia son 51 €/barril en 2020 y 74 €/barril en 2030. En el escenario de eficiencia los precios son 61 €/barril en el 2020 y 94 €/barril en el 2030.

Otros supuestos comunes a ambos escenarios se detallan a continuación. En primer lugar, la vida de las centrales nucleares se extiende hasta el año 2030. En segundo lugar, la producción del sector energías renovables cumple los objetivos de la UE y los compromisos de la legislación española (e.g. el 20% de los recursos primarios proceden de renovables en 2020). En tercer lugar, se supone un precio del carbono de 18€/tC en todos los países europeos para los sectores intensivos en energía que participan en el mercado europeo de emisiones. Finalmente, se supone vigente la estructura actual de subvenciones a las renovables.

En cuanto a los resultados en términos de intensidad energética del PIB (consumo bruto doméstico/PIB), este ratio disminuye un 27% entre 2005 y 2030 en el escenario de referencia y un 40% en el escenario de eficiencia.

En cuanto a la evolución del consumo final por sector en el escenario de referencia las tendencias actuales continúan, a saber: la demanda energética de los sectores transporte, residencial y servicios aumentan por encima del 1% entre el 2005 y el 2030, mientras que la demanda del sector agrario aumenta a una tasa superior al 2%, debido a una intensificación de los cultivos.

Por el contrario, en el escenario de eficiencia, el consumo energético de la industria, el sector residencial y los servicios disminuyen (a unas tasas del 0,3%, 0,5% y 0,8%, respectivamente), como también decrece el consumo energético del sector transporte. Ello se debe por un lado a unos precios internacionales de la energía superiores y a las grandes mejoras tecnológicas en la flota de vehículos que se asumen en el escenario de eficiencia.

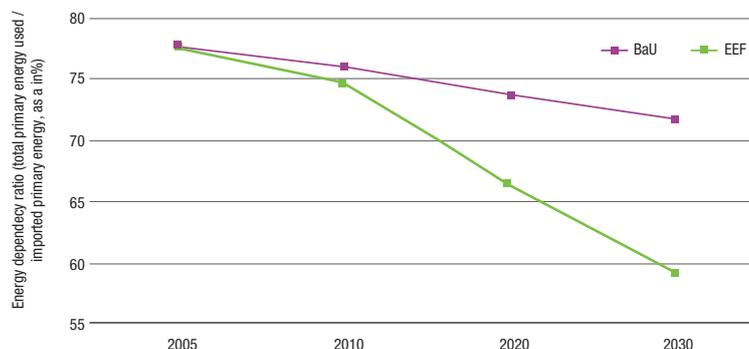
d) **Greenpeace ha elaborado un informe denominado "Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica"**, que asegura que es viable plantearse un sistema de generación basado al 100% en energías renovables, tanto para cubrir la demanda eléctrica como la demanda de energía total, a unos costes totales perfectamente asumibles y muy favorables respecto a los que se pueden esperar en 2050 si se sigue con el actual modelo energético.

Para hacerlo realidad, Greenpeace pide al Gobierno español que establezca objetivos de obligado cumplimiento de planificación energética de medio y largo plazo, entre los que destaca la exigencia de que la contribución de las energías renovables a la generación de electricidad alcance un 50% en 2020 y un 100% en 2050.

### Principales conclusiones del informe "Renovables 100%" de Greenpeace

- Las tecnologías de menor coste en el horizonte 2050 serían las renovables.
- Las centrales renovables repartidas por toda la geografía generan electricidad de modo mucho más regular en el tiempo que si estuviesen todas en la misma zona.
- Hay múltiples combinaciones posibles de sistemas de generación renovables que permitirían cubrir completamente a lo largo del año la demanda de electricidad, e incluso la de energía total.
- Cuanta más variedad de tecnologías renovables se utilicen, menos centrales habría que instalar y mayor será la seguridad de suministro.
- La tecnología termosolar tiene ventajas únicas: su potencial es el mayor, se puede poner en marcha cuando más energía se necesita, permite acumular energía durante el día, se dispone del recurso y de la tecnología, se puede liderar su desarrollo a nivel mundial y puede ser una techno-

**Figura 6.4. Evolución del ratio de dependencia energética.**



logía clave para el desarrollo sostenible en muchas regiones del mundo.

- El uso más apropiado de la biomasa sería como energía de respaldo en centrales termosolares, de forma que estas centrales podrían estar disponibles para generar en todo momento.
- Se necesita muy poca capacidad de acumulación de energía, o incluso ninguna, para gestionar adecuadamente un sistema eléctrico 100% renovable.
- Se pueden desarrollar herramientas para diseñar *mix* de generación eléctrica basados en renovables con costes asociados muy favorables, más económicos incluso que los actuales.
- Para cubrir los escasos momentos en que la demanda sea mayor que la capacidad de generación de un sistema 100% renovable económicamente óptimo, la herramienta más económica y apropiada sería la gestión de la demanda, en vez de instalar más centrales.
- La red de transporte eléctrico no tiene por qué ser una barrera para gestionar un sistema eléctrico 100% renovable.
- Un sistema eléctrico 100% renovable dispondría de gran cantidad de energía sobrante (cuando produce más de lo que se necesita), que si se aprovechase para otros usos energéticos no eléctricos (transporte, edificios...) se lograrían grandes ahorros de energía y se reduciría el coste total.

- Para que las renovables pasen a ser los elementos principales del sistema de generación de electricidad, tendrán que utilizarse de modo diferente al actual (en que funcionan siempre que hay sol o viento), de forma que su funcionamiento se adapte a las necesidades de la demanda. También cambiaría la forma de utilizar la gestión de la demanda.

e) **La Fundación Ideas<sup>139</sup> analiza un escenario de completa descarbonización del sistema eléctrico en el año 2050 prescindiendo asimismo de la energía nuclear.** En él se contempla la viabilidad del cierre de la totalidad de las centrales nucleares y fósiles. Este trabajo utiliza los datos y metodología del estudio realizado por Greenpeace<sup>140</sup>.

El estudio de la Fundación Ideas contempla tres escenarios distintos de evolución de la demanda eléctrica en el año 2050: alta, media y baja. La demanda eléctrica se cubre con diversas tecnologías renovables, siendo la eólica y la solar térmica las tecnologías predominantes. Es importante destacar que las políticas de gestión de la demanda juegan un papel relativamente menor en el análisis realizado. Otro aspecto interesante del estudio es la discusión de un escenario de futuro en el que se produce una electrificación completa del sistema de transporte.

El coste económico, entendido como el coste de capital de la instalación de la

<sup>139</sup> Un nuevo modelo energético para España. Recomendaciones para un futuro sostenible. Fundación Ideas, 2009. [http://www.fundacionideas.es/sites/default/files/Informe\\_Modelo\\_Energetico.pdf](http://www.fundacionideas.es/sites/default/files/Informe_Modelo_Energetico.pdf)

<sup>140</sup> Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica. Greenpeace, 2007. <http://www.greenpeace.org/espana/reports/resumen-conclusiones-100-reno>

nueva capacidad de tecnologías renovables, se estima entre 65.000 millones y 292.000 millones de euros, según se empleen los costes de capital proyectados para el año 2050 o los presentes. Asimismo, se estima que se podrían crear entre doscientos noventa y cinco mil y un millón doscientos mil puestos de trabajo en la transición hacia el nuevo modelo energético.

## 6.2. UNA NUEVA PROPUESTA: ESCENARIOS ENERGÉTICOS DESEABLES 2020 Y 2030 PARA UN ESCENARIO RESPONSABLE DE REDUCCIÓN DE EMISIONES EN 2050

### 6.2.1. Bases e hipótesis para un nuevo futuro energético

Como ya se avanzó anteriormente, la propuesta que se formula en este informe trata de ir más allá en algunos aspectos sobre los supuestos anteriores:

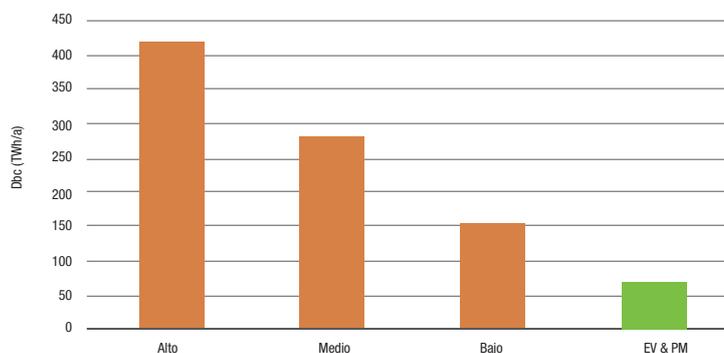
- en primer lugar, la modelización de escenarios  **cubre todo el sector energético**, a diferencia del informe de la Fundación Ideas y otros estudios recientes;
- en segundo lugar,  **trata de integrar todas las opciones presentadas en las secciones anteriores para reducir la demanda, y para utilizar al máximo las tecnologías renovables** (en este sentido, va más allá de los escenarios considerados por IPTS).
- por último, la propuesta también  **avanza respecto a los escenarios preparados por el Gobierno**, en cuanto que alcanza un horizonte mayor, y explicita todos los supuestos de partida.

*Para la realización de este ejercicio se han construido dos escenarios: un escenario base en el que se incluyen sólo las políticas energéticas y medioambientales actuales, y un escenario deseable con el objetivo fundamental de reducir las emisiones en un 80% en 2050, reducción mínima necesaria establecida por la comunidad científica para mantener la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera por debajo de 450 partes por millón y el incremento global de temperatura por debajo de los 2º C.*

Asimismo, el escenario deseable considera la necesidad de cambiar el modelo energético, que actualmente es social, económica y ambientalmente insostenible, por otro sostenible.

La opción debe ir acompañada por  **una adecuada gestión de la transición entre la situación actual y el modelo**

**Figura 6.5. Los tres escenarios de demanda eléctrica proyectada para el sistema eléctrico peninsular en el año 2050. Se muestra también la demanda eléctrica correspondiente a la electrificación total del parque de vehículos en un escenario de población media. Fuente: Un nuevo modelo energético para España. Recomendaciones para un futuro sostenible. Fundación Ideas, 2009.**



**futuro.** Esta transición para lograr los objetivos deseados requiere una metodología *backcasting* (o retrospectiva), situando primero el escenario deseable dentro de lo posible y a partir de ahí diseñando los escenarios intermedios y medidas de transición necesarias para alcanzarlo. A los escenarios temporales resultantes se les ha denominado escenarios deseables.

Este escenario deseable presenta un programa de reducción de emisiones muy exigente, que a partir de 2030 tendría que ser acometido con tecnologías más avanzadas que las actualmente disponibles. Aunque se tiene en cuenta la aparición de soluciones tecnológicas novedosas en los años venideros, hoy no se puede conocer toda su naturaleza y alcance de aplicación de 2030 a 2050; por ello, sólo se presentan los resultados hasta el año 2030 y no se muestran resultados desagregados más allá de este horizonte temporal.

Se trata así de mostrar la composición del sistema energético que será necesaria el año 2030 para poder acometer los objetivos previstos para 2050. Conforme vayan apareciendo nuevas tecnológicas en el panorama energético, habrá que ir actualizando y proyectando en el tiempo este ejercicio de modelización.

Como ya se mencionó anteriormente, **estos escenarios no pretenden predecir el futuro, sino establecer una pauta de respuesta posible del sistema energético futuro, sometido a diferentes restricciones ambientales y haciendo uso de las tecnologías y los recursos disponibles.** Este ejercicio de simulación se ha realizado mediante la utilización del modelo TIMES-Spain, modelo energético de la familia

MARKAL-TIMES desarrollada dentro del programa ETSAP de la Agencia Internacional de la Energía.

Como hipótesis de partida, un futuro energético sostenible **deberá basarse tanto en la gestión racional de la demanda, es decir en el ahorro y la eficiencia energética, como en la optimización de la oferta**, es decir en las energías de fuentes renovables, las únicas sostenibles en este momento.

En el informe se han presentado muchas posibilidades tecnológicas o de cambios de comportamiento que podrían reducir el consumo neto de energía primaria en España. También se han mostrado las posibilidades de acometer cambios en el sector de la oferta de energía (la generación de calor y electricidad, y la propulsión de los vehículos), así como las posibilidades de muchas opciones tecnológicas para generar la energía necesaria de forma limpia y segura, a partir de fuentes renovables, para sustituir a las no renovables como son los combustibles fósiles y la energía nuclear de fisión, que no son sostenibles.

Todas estas alternativas de oferta y demanda se han combinado para construir unos escenarios energéticos deseables de transición para 2020 y 2030, que deberían permitir alcanzar un modelo energético sostenible en 2050.

### 6.2.2. Escenario base

La evolución de las demandas de energía final de los distintos sectores en el periodo de modelización se han calculado en base a la evolución de dos importantes parámetros, el PIB y la población.

La evolución del PIB se ha estimado utilizando la salida de un modelo macroeconómico a nivel europeo, el GEM-E3 (<http://www.gem-e3.net>), cuya ejecución se realizó en el marco del proyecto europeo RES2020. Esta evolución no ha podido ser ajustada al escenario de recesión económica que vivimos actualmente, por lo que el ritmo de la demanda de energía en valores absolutos estará sobreestimada, lo cual ha de ser tenido en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

Las tasas de crecimiento del PIB consideradas en el modelo son las siguientes:

- 2005-2010: 4.7%
- 2010-2020: 3.1%
- 2020-2030: 2.6%

La evolución de la población sigue el ritmo de crecimiento previsto por el INE ([www.ine.es](http://www.ine.es)).

El escenario base incluye los objetivos de penetración de energías renovables marcados por la Directiva 2009/28/EC, donde un 20% del consumo energético final y un 10% del consumo final de energía en el transporte en 2020 han de ser con fuentes renovables.

Asimismo, se considera que las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020 serán un 20% inferiores a las emisiones de 1990. Para ello se ha tenido en cuenta, por una parte, la existencia del mercado de emisiones de CO<sub>2</sub> para los sectores que participan en el mismo mediante la aplicación de una tasa. El valor de la tasa considerada para 2010 ha sido de 20 Euros<sub>2005</sub>/t y de 24 Euros<sub>2005</sub>/t, a partir de 2030 y hasta 2050.

Para los sectores que se encuentran fuera de este mercado se han limitado las emisiones de acuerdo a las indicaciones de la Directiva sobre el reparto del esfuerzo de reducción, es decir, un 10% de reducción sobre las emisiones de 2005 en el año 2020. Adicionalmente, el CO<sub>2</sub> total en 2020 procedente de todos los sectores se ha limitado al 20% de las emisiones que había en 1990. Estos mismos límites se han mantenido en todo el horizonte de modelización hasta el año 2050.

En cuanto a las mejoras en la eficiencia energética, se ha considerado que la eficiencia energética en el sector residencial y de servicios mejorará en un 22% respecto del año 2000. Estas mejoras de eficiencia se basan en la mejora de la envolvente térmica de los edificios y en la optimización del diseño de los mismos para reducir al máximo las demandas energéticas. Se ha estimado que la eficiencia del sector transporte mejora en un 10% respecto de la existente en el mismo año, mediante diferentes medidas tendentes a mejorar los patrones de conducción y a reducir los transportes innecesarios.

Además, en consonancia con los planes en preparación del Gobierno para la introducción del coche eléctrico, se ha supuesto que en 2020 el parque de automóviles contará con un millón de estos vehículos.

Por último, en lo que a energía nuclear se refiere, se ha considerado la no instalación de nuevas capacidades y la extinción de las plantas actuales al final de su vida útil. De este modo, en 2028 no habría más generación eléctrica de origen nuclear.

Estas hipótesis se mantienen constantes hasta el final del periodo de modelización, 2050.

***El escenario base, que resultaría de las políticas en curso, aún representando un cambio considerable respecto a la situación actual, se ha considerado insuficiente pues no permitiría alcanzar la reducción de emisiones requerida ni transformar el sistema energético en una perspectiva realmente sostenible; por ello, en el informe se formula otro escenario posible, más avanzado, denominado escenario deseable.***

### 6.2.3. Escenario deseable

#### 6.2.3.1. Medidas de demanda

Existe todavía un elevado potencial aprovechable de ahorro y eficiencia energética, tal como se ha presentado en las secciones anteriores. Así, en el capítulo 2 se mostró cómo la intensidad energética tiene mucho margen de mejora, a la vista de la distancia actual con otros países de nuestro entorno y la evolución favorable del ciclo inversor y económico, con un sector de la construcción saturado y una concentración que persiste en el turismo.

Así, adicionalmente a las mejoras de eficiencia del escenario base, se han supuesto en este escenario mejoras coherentes con las propuestas realizadas anteriormente en términos de urbanismo, edificación, transporte y consumo eléctrico.

- **En relación con el urbanismo y edificación:** se ha supuesto que cada año, hasta 2050, 500.000 viviendas son rehabilitadas para con-

seguir un ahorro energético del 50% y que todas las nuevas viviendas construidas tienen una demanda energética un 80% inferior a la actual.

Todo ello aporta un ahorro de demanda energética global en el sector residencial y de servicios de un 46% en 2050, en línea con las propuestas efectuadas en el capítulo 4 de este Informe en las que se establecía como objetivo la neutralidad en las emisiones de carbono de estos sectores, mediante el ahorro en el consumo logrado gracias a un nuevo urbanismo, técnicas racionales de edificación, y reducción de la demanda de energía para iluminación, climatización y uso de electrodomésticos.

- **En el sector transporte:** se ha considerado un aumento de la eficiencia en 2020 de un 22% respecto de la existente en el año 2000. Además, se ha supuesto una apuesta decidida por el vehículo eléctrico para el transporte de pasajeros con 2,5 millones de estos vehículos en 2020, 5 millones en 2030 y 15 millones en 2050. Se ha considerado asimismo que el transporte de mercancías experimenta un cambio modal radical hacia el transporte ferroviario. De esta forma, en 2020 un 10% de la demanda de transporte total de mercancías se trasfiere de transporte por carretera a transporte en tren, en 2030 un 30% y en 2050 un 70%.

De nuevo, estas propuestas son coherentes con las formuladas en el capítulo 4 de este Informe en las que se proponía una reducción de emisiones del 25% respecto al caso base mediante mejoras tecnológicas, cambios modales, y uso eficiente de los vehículos.

### 6.2.3.2. Medidas de oferta

El escenario deseable considera una **penetración masiva de energías renovables**, basada en el elevado potencial disponible y la previsible reducción de costes de las mismas (en contraposición a la subida previsible del coste de los combustibles fósiles).

Los potenciales técnicos considerados en este modelo de generación eléctrica de las distintas tecnologías renovables y de producción de biomasa a nivel nacional para la producción de biocombustibles y otros usos, se muestran en las tablas 6.2 y 6.3:

**Se han incluido en el modelo tanto el sistema de primas que actualmente se pagan a las tecnologías eléctricas del régimen especial, actualizadas al año 2009, como las diversas ayudas a la inversión disponibles** para otras tecnologías renovables.

En lo que respecta a los precios de los combustibles fósiles, el precio del barril de petróleo considerado ha sido el estimado por el WEO 2008 en alrededor de 100 \$ por barril en 2010. En la figura 6.6 se representa el precio del petróleo en términos nominales y reales, tanto en su evolución histórica desde el año 1970 como en la simulación hasta el año 2030 en los dos escenarios considerados por la AIE.

Se observa que **los escenarios contemplan un futuro en el que el petróleo será más caro que en las pasadas tres décadas**. Asimismo, el precio del petróleo es menor en el escenario 450 respecto al escenario de referencia debido a una reducción en la demanda de energía, compatible con un nivel de emisiones de gases de efecto invernadero mucho menor que en el escenario de referencia.

**Tabla 6.2. Potenciales técnicos de generación eléctrica de las distintas tecnologías renovables consideradas en el modelo propuesto.**

Energía	Potencial en 2020	Potencial en 2030	Fuente
Solar fotovoltaica	125 PJ	125 PJ	Greenpeace Internacional and EREC (2007)
Solar térmica	5.6 GW	5.6 GW	Greenpeace Internacional and EREC (2007)
Eólica terrestre	33.2 GW	44.2 GW	Toorn (2007)
Eólica marina	7.9 GW	10 GW	Toorn (2007)
Geotérmica	0.8 GW	1.4 GW	Resch et al (2006)
Marina	48 PJ	48 PJ	Resch et al (2006)
Hidráulica presa	13 GW	13.7 GW	Eurelectric (2006)
Minihidráulica	1.9 GW	2 GW	Eurelectric (2006)
Hidráulica de bombeo	5.9 GW	5.9 GW	Eurelectric (2006)
Biomasa	195.5 PJ	195.5 PJ	Resch et al (2006)
Biogás	47.5 PJ	47.5 PJ	Resch et al (2006)
RSU	20.3 PJ	20.3 PJ	Resch et al (2006)

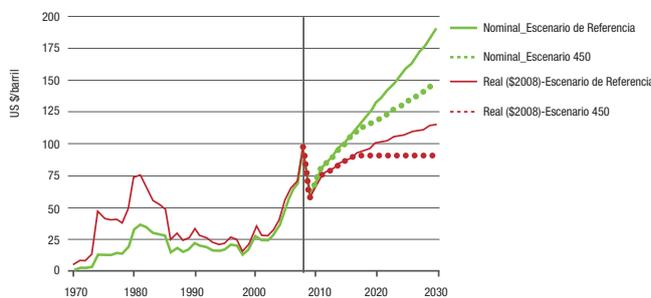
6.2.3.3. Modelo utilizado

Para este trabajo se ha contado con la herramienta TIMES-Spain<sup>141</sup>. **El objetivo de la misma es encontrar, a través de**

**Tabla 6.3. Potenciales de producción de biomasa a nivel nacional para producción de biocombustibles y otros usos considerados en el modelo propuesto. Fuente: RES2020 deliverable D2.2 and D2.3.**

Fuente	Potencial en 2020 (PJ)	Potencial en 2030 (PJ)
Cultivos azucarados	192	300
Cultivos amiláceos	138	215
Cultivos lignocelulósicos	358	569
Cultivos forestales	172	275
Cultivos oleaginosos	111	174
Residuos agrícolas	79	83.7
Residuos forestales	6.7	6.7
Residuos madereros	8	8.4
RSU	59	62.8
Purines	47	50.2
Lejías negras	55	58.6
Otros residuos de madera	32	34
Estiércoles	12	12.6

**Figura 6.6. Evolución del precio del petróleo Fuente: AIE (2009).**



**un ejercicio de optimización, la configuración óptima de tecnologías y combustibles que cubra las necesidades energéticas especificadas para un periodo de tiempo futuro al menor coste.** Para ello cuenta con una extensa base de datos económicos, técnicos y medioambientales de más de 1.000 tecnologías energéticas en los sectores residencial, comercial, transporte, industria y de generación eléctrica.

El modelo está calibrado con los balances energéticos de los años 2000 y 2005 disponibles en Eurostat y completados con otras fuentes de información energética nacionales descritas en Caldés et al (2008) y Labriet et al (2010).

Como se ha dicho anteriormente, se trata de un modelo nacional incluido dentro de un modelo pan europeo, que contempla los intercambios energéticos entre los distintos países dentro del ejercicio de optimización. La ejecución del modelo de forma aislada del resto de los países hace necesario fijar unas condiciones de contorno para estos intercambios energéticos con el resto de Europa. Así se han mantenido constantes los intercambios de electricidad y se han limitado las importaciones y exportaciones de biomasa con el resto de Europa.

Los resultados de la aplicación de este modelo, como ejercicio de exploración del futuro, se presentan en el siguiente apartado, comparando el escenario deseable con el escenario de referencia. **Como parámetros más importantes se analiza el consumo y**

<sup>141</sup> TIMES-Spain es un modelo energético de la familia de modelos MARKAL-TIMES desarrollados dentro del programa ETSAP (Energy Technology System Analysis Programme) de la Agencia Internacional de la Energía. esta herramienta forma parte del modelo energético Pan Europeo TIMES (PET) resultado de los proyectos NEEDS y RES2020 de los programas europeos de investigación 6º Programa Marco e Intelligent Energy for Europe (IEE) y que incluye en su dominio a los 27 países de la UE más Noruega, Suiza e Islandia.

**origen de la energía primaria y final, la dependencia energética, las emisiones de CO<sub>2</sub>, y un estudio más detallado del sector eléctrico. Finalmente, se evalúa la viabilidad económica de la propuesta.**

### 6.2.4. Resultados del escenario deseable

#### 6.2.4.1. Energía primaria

**En el escenario deseable, el consumo de energía primaria en el año 2030 disminuye un 22% respecto del consumo del año 2009,** fundamentalmente por las reducciones en los sectores residencial, servicios y transporte.

La contribución de las energías renovables alcanza el 35%, mientras que la energía nuclear desaparece del escenario energético en 2030.

El carbón y el gas también ven reducida su participación, y se observa también una gran reducción del consumo de petróleo, aunque los combustibles fósiles siguen participando de forma no menor en el sistema, fundamentalmente debido al consumo en la industria (que sigue creciendo en el horizonte considerado según el supuesto realizado de crecimiento del PIB).

#### 6.2.4.2. Consumo de energía final

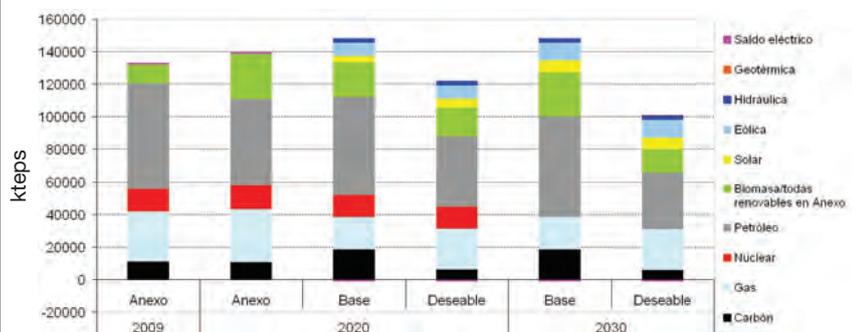
**El consumo de energía final se reduce en el escenario deseable en un 13% en 2030 respecto a 2009.** Las medidas de eficiencia adoptadas en los distintos sectores y la aplicación de las tecnologías más eficientes permiten ahorrar un 26% del consumo energético

final total respecto al escenario base. La electricidad aumenta su participación en el sistema energético desde un 20% en 2008 hasta un 27% en el escenario deseable.

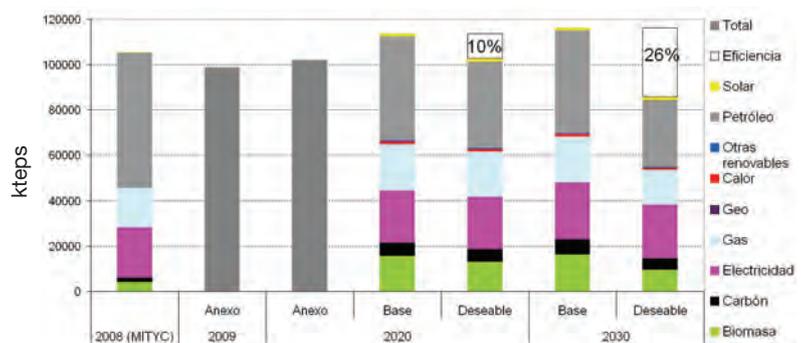
La diferencia en la evolución del consumo de la energía primaria y final es por la mayor eficiencia del sistema energético en el escenario resultante.

La biomasa aumenta su participación en la energía final en ambos escenarios. El carbón sigue presente debido a su consumo en el sector industrial y el gas incrementa ligeramente su tasa de penetración en la energía final. El consumo de petróleo ve reducida su participación desde un 57% en 2009 hasta un 34% en 2030

**Figura 6.7. Consumo de energía primaria en los escenarios base y deseable.**



**Figura 6.8. Consumo de energía final en los escenarios base y deseable.**



en el escenario deseable y mucho más en términos absolutos.

En cuanto a la distribución relativa del consumo de energía final por sectores, **el sector del transporte pasa de contribuir en un 38% en 2008 a un 18% en el escenario deseable.** Los sectores residencial, servicios y agrícola disminuyen también su contribución al consumo energético final del 28% inicial al 24% en el escenario deseable en 2030, y aumenta la participación de la industria que pasaría de un 34% en 2008 al 58% en 2030.

El consumo de energía final **en la industria aumenta en ambos escenarios respecto del año 2008** (en

el año 2030 es un 65% superior en el escenario base y un 36%, superior en el escenario deseable). Sin embargo, en el escenario deseable, para 2030, ya se observa una tendencia a la baja. Así, **en 2030, respecto del escenario base, en el escenario deseable se ahorran 10.500 kteps que suponen un 18% del consumo de energía final en este sector.**

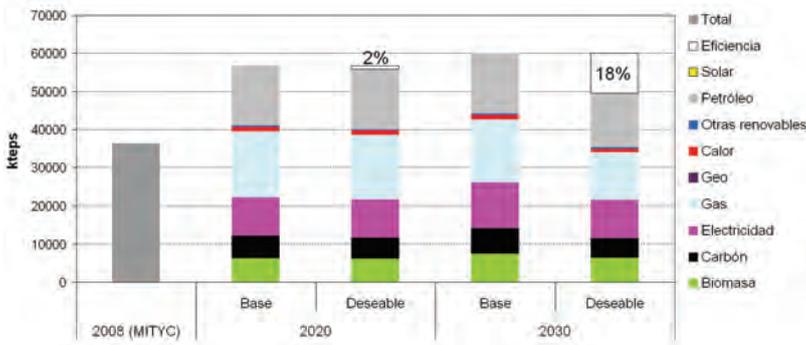
También en 2030, y de forma muy similar en ambos escenarios, el consumo de energía final en la industria se reparte entre petróleo, gas y carbón que juntos suman alrededor de un 64-65% y electricidad que contribuye con un 20%. La biomasa contribuye también de forma notable (alrededor de un 13%). El consumo de carbón en este sector se produce fundamentalmente en la siderurgia y en la industria del cemento pero hace usos de tecnologías más eficientes y provistas de sistemas de captura de CO<sub>2</sub>.

**En el sector transporte, el consumo de energía final se reduce de forma muy importante: en el año 2030 es un 61% menor en el escenario deseable respecto del consumo en 2008.**

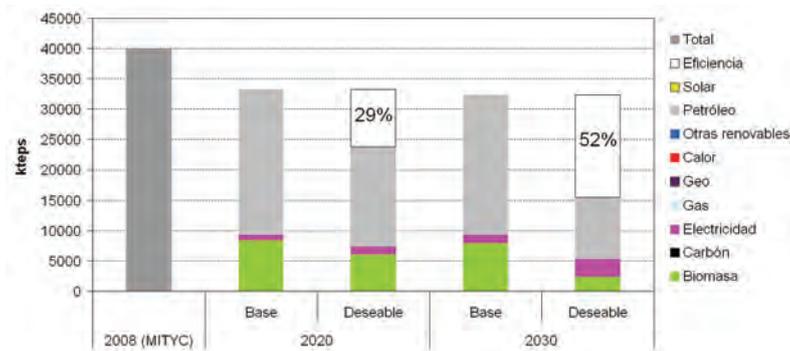
Esta reducción se consigue con la introducción de vehículos más eficientes y eléctricos, el cambio en los patrones de uso y conducción y el cambio modal en el transporte. La participación de la electricidad se ve incrementada debido a la introducción del vehículo eléctrico y el mayor peso del tren, en general electrificado, en el transporte de mercancías. El uso de petróleo se reduce a la mitad en este escenario con respecto al escenario base.

En 2030 la contribución de los biocombustibles es un 15% en el escenario deseable y la contribución de las energías de origen renovable en el transporte es un 26%.

**Figura 6.9. Consumo de energía final por la industria en los escenarios base y deseable.**



**Figura 6.10. Consumo de energía final por el transporte en los escenarios base y deseable.**



**En los sectores residencial, de servicios y agrícola, el consumo de energía final se reduce de forma visible especialmente en escenario deseable con un 45% de reducción respecto al año 2008.**

Esta reducción se consigue con la introducción de tecnologías más eficientes y mejora de la envolvente térmica de los edificios existentes y en la optimización del diseño de los nuevos para reducir al máximo las demandas energéticas.

La contribución del petróleo y el gas en este sector es en 2030 todavía importante, alrededor de un 32% en el escenario deseable. Este mayor peso relativo se debe a la disminución drástica del consumo. El consumo de energías de origen renovable (incluyendo la electricidad que en 2030 es 100% renovable) supone alrededor de un 45% del consumo total en ambos escenarios.

### 6.2.4.3. Dependencia energética

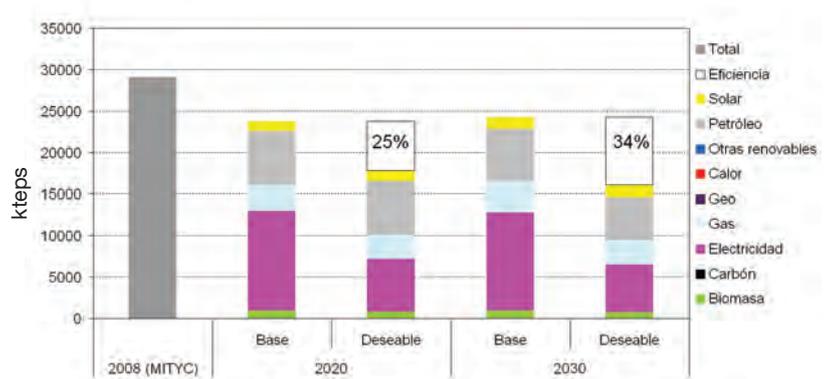
**En el escenario deseable la dependencia energética disminuye considerablemente, debido al ahorro y al cambio de fuentes energéticas.**

Por un lado aumenta el autoabastecimiento, que pasa desde un 17% en 2008<sup>142</sup>, hasta un 32% en 2030. Por otro, disminuye el consumo de energía primaria en un 22%. Teniendo en cuenta ambos procesos, **la importación de energía primaria desciende de manera muy importante a lo largo del periodo de modelización, llegando a ser en 2030 un 38% inferior a la de 2008**, dejando de importar unas 41.833 ktep.

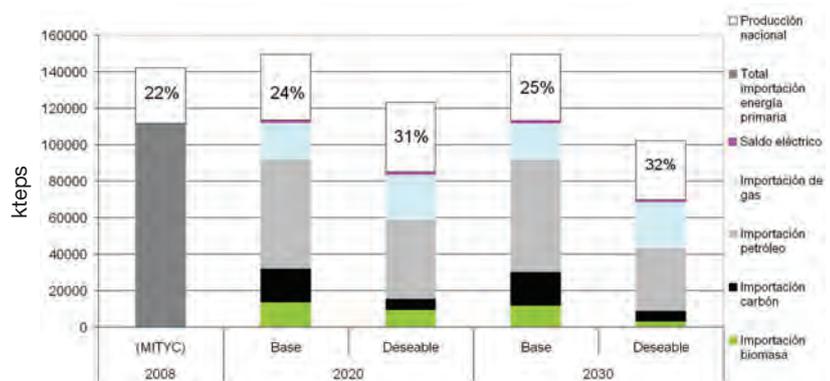
### 6.2.4.4. Emisiones de CO2

Como resultado de la reducción de la demanda y de la utilización de tecnologías bajas en emisiones **en el escenario deseable, la evolución de las emisiones energéticas de CO2 sigue una pauta descendente resultante de las restricciones impuestas al sistema, para alcanzar el 80% de disminución en 2050 respecto a 1990**, de forma que se reducirían un 30% en 2020 y un 50% en 2030.

**Figura 6.11. Consumo de energía final por los sectores residencial, servicios y agricultura en los escenarios base y deseable.**



**Figura 6.12. Importación de energía y grado de autoabastecimiento en los escenarios base y deseable.**



<sup>142</sup> Considerando que la energía nuclear no es autóctona, dada la dependencia tecnológica y que el combustible es importado.

Como se puede observar en la figura 6.13, en el escenario deseable, en 2030, el mayor porcentaje de las emisiones de CO<sub>2</sub> procede del sector industrial, dada su mayor utilización de combustibles fósiles, por lo que será necesario a futuro recurrir a técnicas de captura y secuestro de CO<sub>2</sub> en las actividades industriales para reducir aún más las emisiones.

#### 6.2.4.5. Sector eléctrico

Los resultados obtenidos para el sector eléctrico muestran un rápido crecimiento de las fuentes renovables, que ya en 2020 suponen más de un 70% de la electricidad total

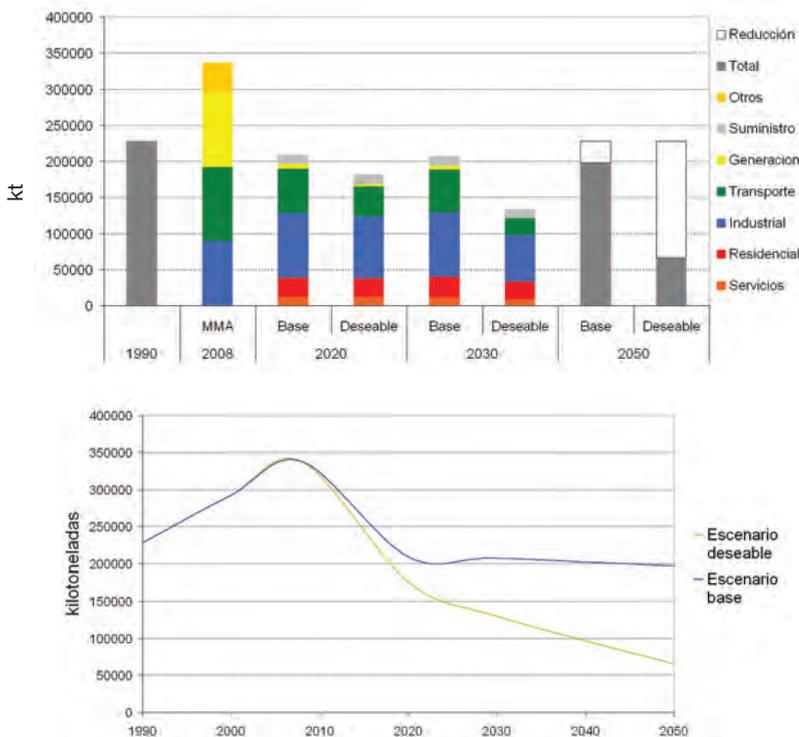
en el escenario deseable y que en 2030 suponen prácticamente un 100%.

Respecto de los resultados para el año 2020, si comparamos el *mix* de generación que aparece en el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) 2011-2020 <sup>143</sup> y el *mix* energético 2020, vemos cómo **el escenario deseable anticipa una mayor penetración (alrededor de un 25-30% superior) de las energías renovables en 2020**. Esta rápida penetración de las energías renovables en el sector eléctrico está marcada por las fuertes restricciones de emisiones impuestas al sistema (30% para 2020 y 50% para 2030) para poder alcanzar el 80% en 2050.

Otra de las consecuencias inmediatas de estas restricciones es la desaparición del carbón del *mix* de generación y una reducción muy importante de la contribución del gas natural, que en el año 2030 desaparece casi completamente. **La energía nuclear desaparece del panorama de generación eléctrica a partir de 2030, al finalizar la vida útil de todas las centrales existentes.**

Entre las renovables destaca la penetración de la energía eólica, que alcanza un 30% en 2020 y alrededor de un 41% en 2030 en el escenario deseable. La electricidad de biomasa alcanza una penetración de alrededor del 4% en 2030. Asimismo se observa la aparición de las tecnologías marinas, que penetran en un 4% en 2020 y mantienen esta participación en 2030. La energía solar alcanza un 16% en 2020 y un 22% en 2030 en el escenario deseable.

Figura 6.13. Emisiones de CO<sub>2</sub> en los escenarios base y deseable.



<sup>143</sup> IDAE, 2010.

En el año 2020 aparece la tecnología de generación eléctrica a partir de hidrógeno en pilas de combustible estacionarias, tecnología que penetra en un 6% y aumenta su participación hasta un 17% en 2030 en el escenario deseable. El hidrógeno utilizado por esta tecnología procede de gasificación de biomasa.

### 6.2.5. Viabilidad económica

Como se puede observar anteriormente, la propuesta realizada permite, partiendo de las medidas posibles de demanda y de oferta propuestas en capítulos anteriores, lograr un modelo energético más sostenible, con una reducción muy sustancial de las emisiones de CO<sub>2</sub> y una disminución de la dependencia energética. Sin embargo, es necesario también evaluar la viabilidad económica de esta propuesta, ya que ella condicionará en gran medida la aceptabilidad de la misma.

Recordemos en primer lugar que las hipótesis de partida, en cuanto a costes de las distintas tecnologías y acciones, eran relativamente conservadoras, habiéndose tomado de fuentes poco sospechosas de radicalidad como la AIE, etc.

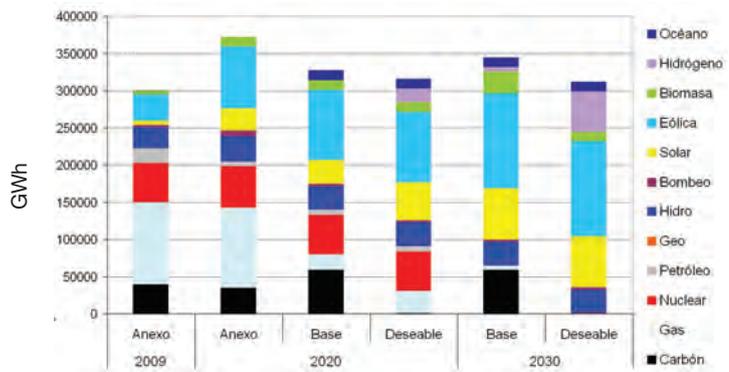
Pues bien, bajo estas hipótesis, **los resultados muestran que, fundamentalmente debido al ahorro de energía, los costes totales de aprovisionamiento energético del sistema se reducen en el escenario deseable respecto al caso base.** Esto es así, en gran parte, como consecuencia del descenso en los costes de operación variables (un 11% inferiores en el escenario deseable) por la reducción en el consumo de combustibles fósiles.

Los demás costes en el escenario deseable, de inversión y de operación fijos, también se ven reducidos, ambos en un 6%, con respecto del escenario base.

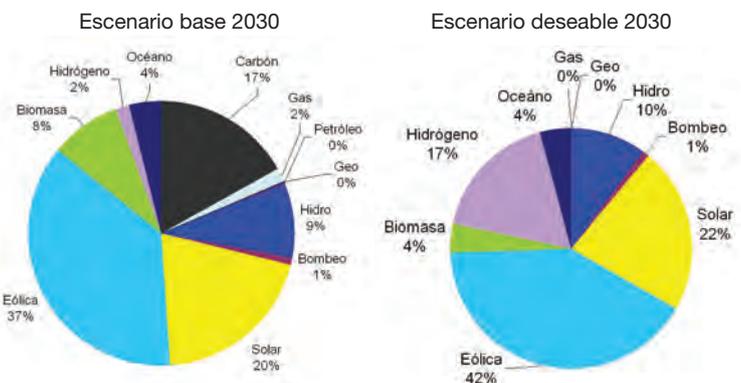
En el caso de las inversiones, éstas tenderán a bajar conforme las nuevas tecnologías, con más presencia en el escenario deseable, se van haciendo maduras y las economías de escala mejoran.

Hay que hacer notar que estos resultados dependen en gran medida de los supuestos de coste de las

**Figura 6.14. Producción de electricidad en los escenarios base y deseable.**



**Figura 6.15. Porcentajes de participación de las distintas fuentes energéticas en la producción de electricidad en los escenarios base y deseable, a 2030.**



medidas de reducción de la demanda. En este sentido, **no hay que caer en falsos optimismos como los reflejados en algunos estudios recientes que defienden que es posible conseguir grandes reducciones a costes negativos o nulos.**

Efectivamente, algunas medidas de reducción de demanda tienen un coste de adaptación, de transacción, o de pérdida de bienestar que hay que considerar para evaluar de forma realista su potencial<sup>144</sup>. Sin embargo, y

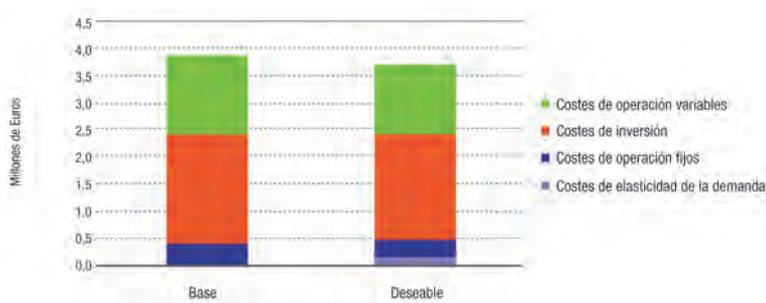
en general, las medidas propuestas en este informe tienen un coste muy reducido desde el punto de vista social, ya que están basadas no exclusivamente en cambios tecnológicos sino en cambios de comportamiento logrados fundamentalmente por la información, concienciación, y mejora de la planificación.

En lo que respecta al sector eléctrico, siempre muy sensible al aspecto económico por los impactos en la competitividad de la industria y por su repercusión en la sociedad<sup>145</sup>, **el mayor peso de la electricidad en el sistema energético y la introducción de las energías renovables en el sistema eléctrico tenderá a subir los costes totales de la generación eléctrica de forma muy marcada hasta el año 2020 en ambos escenarios, pero a partir de entonces empezará a descender ligeramente en el escenario deseable.**

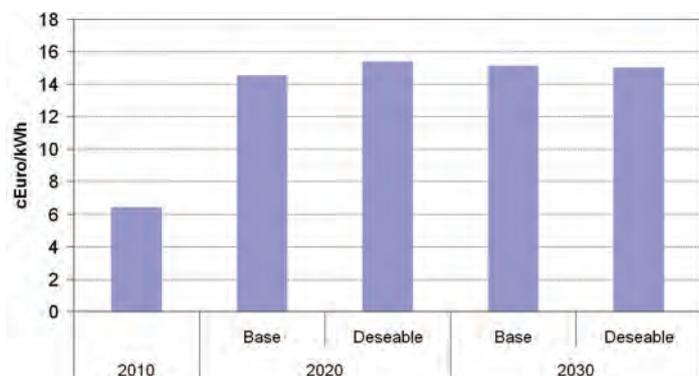
Esto puede ser un obstáculo a la aceptabilidad de la propuesta, como ya se ha mencionado. Sin embargo, es importante considerar no sólo la evolución con respecto a 2010, sino la comparación entre el escenario base y el deseable.

En lo que se refiere al primer aspecto, el coste total del suministro eléctrico aumenta en un 100%. A este respecto hay que mencionar varios elementos atenuantes: en primer lugar, la demanda total de electricidad aumenta mucho, y por tanto el coste unitario (por MWh) no aumenta tanto; en segundo lugar, los costes de la electricidad en España son artificialmente bajos e inferiores, en

**Figura 6.16. Costes del sistema energético en los escenarios base y deseable, a 2030.**



**Figura 6.17. Coste total de la producción de electricidad en los escenarios base y deseable.**



<sup>144</sup> Linares y Labandeira, 2010.

<sup>145</sup> Por otra parte algo nunca justificado racionalmente, ver: [http://www.catedrabbp.upcomillas.es/Documentos/Actividades/GTPES/2010/GTPES\\_Junio\\_2010.pdf](http://www.catedrabbp.upcomillas.es/Documentos/Actividades/GTPES/2010/GTPES_Junio_2010.pdf)

general, a los del resto de Europa, por lo que existe todavía un importante recorrido para la equiparación de estos costes con los países de nuestro entorno.

En todo caso, conviene considerar **que una vez asumido el coste de inversión en renovables, los costes reales del sistema tenderán a disminuir tanto por la disponibilidad de la fuente de energía (el viento, el sol...) como por la evolución de la curva de aprendizaje, mientras que los costes de los combustibles fósiles tenderán a aumentar.**

**Así, lo realmente interesante no es constatar que el coste de generación será inicialmente mayor, pues lo será en todos los casos, sino comparar los escenarios base y deseable: se puede observar cómo a 2030 el coste total de aprovisionamiento de electricidad se reduce, al promoverse medidas de ahorro y al sustituir combustibles fósiles, cuyo coste está previsto que aumente a futuro.** Es decir, que aunque el coste unitario de la electricidad aumenta en 2030 (no tanto como se podría esperar, ya que las energías renovables serán más baratas que en la actualidad, y los combustibles fósiles más caros), **el impacto para el consumidor será positivo globalmente, por el ahorro conseguido para satisfacer unas necesidades equivalentes.**

### 6.3. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en la sección anterior muestran que la propuesta realizada permite avanzar hacia un modelo energético más sostenible para España de forma económicamente viable.

---

***La propuesta que se plantea a través del escenario denominado "deseable" logra reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 50% respecto a 1990 en 2030, y mejora la dependencia energética de un 83% a un 68%, a unos costes inferiores que los que supondría el escenario de referencia o escenario base.***

***Estos logros intermedios permitirían alcanzar una reducción de emisiones en 2050 del 80%.***

---

Esto se consigue mediante **un énfasis muy especial en la reducción de la demanda**, con un 22% de reducción en 2030 respecto a 2009, particularmente en los sectores residencial, servicios y transporte, y de la electrificación de parte de estos sectores. Por el lado de la oferta, las mejoras se logran gracias a **un sector eléctrico casi 100% renovable en 2030.**

En la industria, el supuesto de crecimiento de la actividad económica contenido en el modelo utilizado, lleva a un crecimiento de la demanda de energía, basada todavía (por las características específicas de algunos sectores industriales) en un elevado porcentaje en los combustibles fósiles. Así, **el escenario que se propone, aunque implica una considerable reducción de la demanda energética, no contempla una desindustrialización, sino por el contrario, una economía productiva con mayor actividad industrial**, pero con posibilidades de reorientarse hacia un modelo más sostenible. En el capítulo siguiente se plantearán las acciones concretas que será necesario planificar y acometer para alcanzar este escenario deseable, sostenible y viable.

Tabla 6.4. Tabla comparativa de escenarios.

		2009	2020					2030	
		Mix energético 2020 Anexo	Mix energético 2020 Anexo	PANER escenario referencia	PANER escenario eficiencia energética adicional	Informe Cambio Global escenario base	Informe Cambio Global escenario deseable	Informe Cambio Global escenario base	Informe Cambio Global escenario deseable
Energía final	Total energía final (ktep)	98717	101966	115854	100365	113587	102597	116338	85699
	Intensidad Ef (ktep/millones Euros 2000)	127,5	102,1			83	75	85	48
Energía primaria	Total energía primaria (ktep)	131567	137826	156930	139749	149452	123108	149531	102083
	Intensidad Ep (ktep/millones Euros 2000)	169,9	138			109	90	109	57
	Carbón	10863	10419	10533	10533	18312	6132	18370	5606
	Petróleo	64789	53070	59360	49680	60366	43495	61799	34717
	Gas Natural	30770	32696	45141	39118	20032	24989	20019	25169
	Nuclear	13901	14490	14490	14490	13528	13528	0	0
	Energías renovables	11958	27900	28095	28095	35993	33744	48122	35371
	Saldo eléctrico (Imp- Exp)	714	748	688	2167	1220	1220	1220	1220
Balance eléctrico (GWh)	Producción bruta	299616	370731	424470	400420	327220	315971	344717	312004
	Nuclear	53340	55600	55600	55600	52801	52801	0	0
	Carbón	39060	34380	33500	33500	59105	524	58663	0
	P. Petrolíferos	19268	6300	8721	8721	7216	7232	0	0
	Gas Natural	110490	108109	165791	141741	20698	30375	5827	147
	Bombeo	2450	8023	8023	8023	8023	2885	2885	2885
	Renovables	75009	158319	152835	152835	187886	202475	277161	308772
	Hidroeléctrica	28757	33900		39593	31451	31451	31812	31812
	Eólica on shore	36615	71350		70502	69769	69769	92972	92972
	Eólica off shore	0	12400		7753	24528	24528	35040	35040
	Solar fotovoltaica	6372	29669		14316	19189	15062	52263	52263
	Solar termosolar				15353	16686	16686	16686	16686
	Biomasa, biogás, RSU y otros	4980	12150		10287	26264	44979	48388	79998
	Demanda (bc)	278316	341691	396130	354882	321732	310482	339228	306515
Demanda final de electricidad	246397	300186	359192	317944	294621	296250	316849	301643	

EL ESCENARIO ENERGÉTICO DESEABLE  
ANEXO 6.1. TABLA COMPARATIVA DE ESCENARIOS

Tabla 6.4. Tabla comparativa de escenarios (continuación).

		2009	2020				2030		
		Mix energético 2020 Anexo	Mix energético 2020 Anexo	PANER escenario referencia	PANER escenario eficiencia energética adicional	Informe Cambio Global escenario base	Informe Cambio Global escenario deseable	Informe Cambio Global escenario base	Informe Cambio Global escenario deseable
Potencia instalada (MW)	Potencia total	98886	135086			124027	131720	151839	147148
	Nuclear	7716	7256			7262	7262	0	0
	Carbón	11900	8130			14692	6728	8465	533
	P. Petrolíferos	7612	1682			2654	2654	1641	1641
	Gas Natural	29391	37771			17713	17746	16939	16971
	Bombeo	2546	5700		5700	2736	2736	2736	2736
	Renovables	39721	74547			75169	88362	117419	114163
	Hidroeléctrica	16189	16662		22362	15716	15716	15716	15716
	Eólica on shore	18300	35000		35000	33207	33207	44223	44223
	Eólica off shore	0	5000		3000	7000	7000	10000	10000
	Solar fotovoltaica	4165	15647		8367	10798	23860	36084	36084
	Solar termosolar				5079	5597	5597	5597	5597
	Biomasa, biogas, RSU y otros	1067	2200		1737	2852	2983	5800	2543
% ER / E FINAL (según Directiva EERR)		12,5%	22,7%			27%	30%	33%	41%
Autoabastecimiento		23,0%	33,6%			24%	31%	25%	32%
% crecimiento PIB			2,3		2,5	3,1	3,1	2,6	2,6
Precio petróleo \$/bbl			55-150		55-150	100	100	100	100
Precio CO2			15-30			20	20	24	24

Demanda b.c. (barras de central). Energía inyectada en la red procedente de las centrales de régimen ordinario, régimen especial y de las importaciones, y deducidos los consumos en bombeo y las exportaciones. Para el traslado de esta energía hasta los puntos de consumo habría que extraer las pérdidas originadas en la red de transporte y distribución.

Producción neta. Producción de energía en b.a (bornes de alternador), menos la consumida por los servicios auxiliares y las pérdidas en los transformadores.

## 7. POLÍTICAS PARA EL CAMBIO

Una vez identificados los escenarios deseables, es decir, a dónde queremos llegar, hay que definir cómo hacerlo, cuáles deben ser los papeles de los distintos agentes sociales, cuáles las políticas fiscales, tecnológicas o de otro tipo, necesarias para pasar del insostenible modelo actual al escenario deseable futuro en el que queremos situarnos. A continuación se apuntan las políticas que se entienden, más que necesarias, imprescindibles.

### 7.1. EL PAPEL DE LOS AGENTES SOCIALES: PARTICIPACIÓN, EDUCACIÓN E INFORMACIÓN PARA EL CAMBIO DE DECISIONES HACIA UNA ECONOMÍA BAJA EN CARBONO

#### 7.1.1. La sociedad civil como impulsora del cambio

El Cambio Global está requiriendo un relevante y rápido cambio social en los modelos predominantes de producción y consumo, que afecta a todas las esferas de la sociedad: la tecnología, la base económica, la organización territorial, la base sociodemográfica, la gobernanza, la organización social.

Existe cierto consenso sobre las capacidades tecnológicas para abordar el cambio desde una perspectiva de sostenibilidad. También se ha mostrado su viabilidad económica. Falta la acción política necesaria para reorientar la economía y superar las barreras sociales, de forma que la sociedad en su conjunto -es decir, todos y cada uno de los grupos y agentes sociales que la componen- cambie con la necesaria rapidez sus decisiones dirigiéndolas

hacia nuevos planteamientos económicos, nuevos comportamientos sociales y otros estilos de vida.

Es por ello que los análisis se están desplazando en gran medida desde las tecnologías a los incentivos económicos y, finalmente, al cambio del comportamiento social.

---

***En las sociedades democráticas, la sociedad civil es el motor del cambio social, ya que, para que dicho cambio sea posible, se requiere de una base social suficiente que los apoye y demande a los gobiernos que los promuevan. La interacción entre la sociedad civil y sus organizaciones sociales, las empresas y los gobiernos es clave cuando se trata de producir un rápido y profundo cambio social.***

---

Si la transición hacia la era post petróleo debe dirigirse a conseguir un desarrollo sostenible, no es válida cualquier propuesta energética, sino sólo aquella que sea también económica, social y ambientalmente sostenible. No es posible compatibilizar el escenario previsible de una demanda de 11,4 millones de barriles diarios de petróleo y al mismo tiempo proteger el clima, manteniendo el despilfarro energético, aun incorporando un aumento de las energías renovables y la eficiencia energética. Serán necesarias alternativas a dicho escenario, desplegando las señales que lleven a cambios de comportamiento para un patrón de consumo bajo en carbono como el que precisa una economía baja en carbono.

Las implicaciones sobre el comportamiento social de una economía baja en carbono son enormes en las más diversas esferas de la vida, incluyendo las más básicas.

Hay pautas de consumo que dependen de decisiones individuales, aunque la mayor o menor capacidad de decisión viene condicionada por el acceso a las diversas alternativas. En algunos casos los decisores no son individuales sino empresas o instituciones.

En el caso del transporte, por ejemplo, la capacidad individual se encuentra muy condicionada por opciones decididas por ellas. Así, una estructura urbana y social, con actividades cada vez más segregadas, ha convertido la movilidad en una obligación penosa: las mejoras tecnológicas, las infraestructuras cada vez más modernas y costosas, y vehículos cada vez más veloces, avanzados y eficientes, finalmente sólo consiguen incrementar las necesidades de movilidad, y con ello los costes, los daños y el tiempo dedicado a los desplazamientos.

Hay ayuntamientos que comienzan a planificar el urbanismo teniendo en cuenta criterios de compatibilidad para evitar el exceso de movilidad, a la vez que implementan políticas de movilidad sostenible para los desplazamientos urbanos que reducen los consumos energéticos. También hay empresas que han hecho planes de movilidad para sus empleados, logrando cambios importantes simultáneamente en la accesibilidad y en el comportamiento.

**Las políticas energéticas y climáticas de Cambio Global no pueden centrarse en cuestiones tecnológicas o infraestructuras y oferta sin abordar la gestión y,**

**particularmente, la gestión de la demanda, lo que requiere considerar de forma principal el**

**comportamiento social.** No se trata de que los aspectos tecnológicos no sean importantes; las tecnologías más eficientes o de generación limpia de electricidad o las tecnologías de la comunicación (TICs) son imprescindibles para el cambio, pero deben orientarse también a un uso más responsable y a la implicación ciudadana.

La generación distribuida y el autoconsumo que permiten las energías renovables y no las convencionales, así como las redes inteligentes que permiten las TICs son herramientas extraordinarias para facilitar el ahorro y para gestionar mejor la demanda, incluyendo modificaciones en las relaciones productivas y laborales, pues permiten, por ejemplo, el trabajo no presencial y el uso de videoconferencias, en lugar de reuniones y viajes.

**La sociología y psicología social tienen mucho que aportar en el buen diseño de unas políticas del clima y la energía que, hasta ahora, han ignorado el comportamiento social, basándose en modelos ideales (no reales) de racionalidad.**

El cambio precisa conectar el uso de la energía con la conducta social y la experiencia individual cotidiana. Los cambios necesarios para afrontar el Cambio Climático se han presentado a menudo de un modo negativo, resaltando las restricciones, limitaciones y reducciones, sin señalar paralelamente los aspectos positivos que aportarían esas limitaciones para la nueva reestructuración y la innovación, las nuevas actividades, productos y servicios que aparecerían en una economía baja en carbono.

### 7.1.2. Responsabilidades diferenciadas, pero comunes

Las sociedades contemporáneas se caracterizan por la globalidad, la diversidad y la complejidad. En lo relativo a los agentes sociales incidentes, todo ello se expresa en los múltiples y diversos actores, su diferenciación funcional respecto a los demás, y, por tanto, todos con algún nivel de responsabilidad en materia de energía y Cambio Global. Se trata de responsabilidades comunes, aunque diferenciadas.

El desafío para alcanzar una economía baja en carbono, que implica la reducción del no menos del 80% de las emisiones en las próximas décadas, requiere planificar a largo plazo y lograr respuestas a gran escala.

Las actuaciones tendrán que dejar de ser unidireccionales y los planes tendrán que contemplar el largo plazo, con entramados institucionales, con puentes entre lo público y lo privado, con relaciones multilaterales y bidireccionales por parte de los gobiernos, las instituciones financieras, las empresas energéticas y las nuevas empresas de gestión de la energía, las constructoras, las aseguradoras... Existen actuaciones que ni la Administración o el gobierno, ni los ciudadanos o empresas, por si solos pueden abordar. Todo ello supone definir el espacio del bien común que es el desarrollo sostenible.

### 7.1.3. Los gobiernos y administraciones públicas

Los poderes públicos y los gobiernos tienen un papel clave en el cambio social hacia una economía baja en carbono y el desarrollo sostenible, ya que disponen de la potestad de promulgar leyes, establecer prioridades sociales, diseñar las ciudades y el uso del territorio, los escenarios energéticos de futuro, las señales económicas al mercado y los consumidores... **La acción política, sin ser suficiente, es condición necesaria para hacer posible el cambio hacia un modelo energético sostenible.** Dicha acción influirá en las decisiones y comportamientos de las empresas, de los usuarios y consumidores y de la ciudadanía en su conjunto. Los acuerdos climáticos internacionales han influido en las políticas domésticas, estimulando algunos cambios interesantes, y podrían hacerlo aun más en el futuro.

Una primera indicación de la capacidad de influencia de la acción pública en el resto de la sociedad es la referida a la elaboración de una estrategia concertada sobre modelo energético, de urbanismo y transporte.

En las ciudades conviven los actores principales, que tendrán gran influencia para el cambio o no de modelo<sup>146</sup>. Y ello supone abordar cambios en la planificación y usos del urbanismo. Las ciudades del mañana podrán ser capaces de generar más energía de la que consuman, si se da la correspondiente acción pública que lo facilite y la corresponsabilidad de todos los agentes económicos y sociales, y una ciudadanía que lo haga posible.

<sup>146</sup> Existen ciudades con objetivos de balance cero de CO<sub>2</sub>. Es el caso de Copenhague (520.000 hab.) que lo alcanzará en 2025 o Rivas-Vaciamadrid (75.000 hab.) que se ha comprometido a alcanzarlo en 2030.

**En el campo de la energía, el urbanismo y el transporte, la acción pública para concertar el cambio ciudadano tiene un notable abanico de iniciativas posibles:** una

ordenación del territorio más integrada, unos requerimientos de eficiencia energética e instalación de renovables en los edificios para hacerlos capaces de generar su propia energía (en la dirección de la nueva directiva europea); una sociedad de la información y del conocimiento; una movilidad menos intensiva en energía; una logística que permita un uso más eficiente de las infraestructuras...<sup>147</sup>

Existen, no obstante, barreras de mercado e institucionales que impiden cambios de comportamiento. Por ejemplo, hay tecnologías renovables domésticas cuya adquisición es tan simple como comprar una nevera pero que, en cambio, adoptarlas requieren licencias de generador de energía. Las redes para evacuar biogás y las redes inteligentes de electricidad requieren mayor flexibilidad para facilitar su generalización.

Otra área relevante de la capacidad de acción pública es la relativa a las contrataciones y compras "verdes" por parte de las propias administraciones, no sólo como ejemplos para el conjunto de la sociedad, sino también por su montante en sí mismo, ya que las licitaciones públicas superan el 20% del PIB.

**La contratación pública "verde" es una medida para lograr incorporar en la licitaciones objetivos "bajo en carbono"**. Los criterios

medioambientales deberían incluirse en la contratación de las obras, bienes y servicios necesarios para el desarrollo de la actividad de las administraciones públicas y - dependiendo del contrato- en todas o en alguna de las fases del proceso de contratación: en la selección de los adjudicatarios (requisitos de capacidad técnica del solicitante); apoyo a las pequeñas y medianas empresas, así como a las minorías (criterio de cohesión social), en las características técnicas de la obra, bien o servicio a contratar (cláusulas de obligado cumplimiento en los pliegos técnicos) o en la valoración de las ofertas (introducción de mejoras ambientales y aspectos de cohesión social entre los criterios de valoración).

Cada vez más entidades públicas impulsan modelos de contratación que demandan servicios y productos bajos en carbono. La compra "verde" tradicional tiene aun un largo recorrido. Además del beneficio ambiental, una eficiente y eficaz gestión pública ofrece una mejor gestión del gasto público.

#### **7.1.4. Las empresas**

En los últimos tiempos, algunas empresas están integrando las cuestiones medioambientales en sus estrategias principales, aunque todavía minoritariamente. No obstante, en algunos casos, esta integración es sólo aparente, enfocándose principalmente como marketing de "lavado verde" (*greenwashing*).

<sup>147</sup> Una señal transparente y clara relacionada, por ejemplo, con la cantidad de carbono emitida por los productos y servicios, permitiría cambios de comportamiento. La combinación de diversas medidas como la obligación de que los productos lleven la información correspondiente o la aplicación de los sistemas de normalización (la ISO 14067 la PAS 2050 permiten gestionar la cesta de CO<sub>2</sub> de los productos y servicios a consumir) podrían facilitar el cambio de comportamiento social, con resultados nada despreciables.

***El cambio social de las empresas hacia una economía baja en carbono implica, en primer lugar, una consideración de las mismas no sólo como negocios, sino también como instituciones clave de las sociedades contemporáneas con importancia central en la economía, pero también en todos los demás aspectos de la sostenibilidad: el medio ambiente y la cohesión social.***

De los muchos aspectos que las empresas pueden aportar al cambio social, una cuestión central es la internalización plena de los costes ambientales y sociales del ciclo total de sus producciones (de la cuna a la tumba). Además, deberán hacerse responsables íntegramente del coste de los residuos generados por la fuente de energía que se utilice, durante todo el tiempo en que dichos residuos resulten peligrosos, así como de cubrir completamente el riesgo de daños en caso de accidente.

Las empresas europeas están esperando despejar los horizontes más allá del 2020 para movilizar las inversiones en el cambio de modelo. Pero los intereses a largo plazo no siempre coinciden con los intereses a corto o inmediatos.

La amenaza de las empresas no está en sus obligaciones, con respecto al coste del carbono o las fugas que éste pueda tener, sino en el desarrollo de las tecnologías bajas en emisiones en las potencias emergentes y en los

compromisos de éstas para la reducción de su intensidad energética a la mitad.

Existen ya visiones imaginativas, de nuevas economías con productos y servicios basados en cambios de comportamiento social y de la demanda, hacia productos bajos en carbono, con un impulso a la innovación, a diferencia de otra visión más estática, todavía hegemónica, basada en que los actuales productos se descarbonicen.

La nueva norma sobre neutralidad de emisiones de CO<sub>2</sub> (PAS 2060 y 2080) favorece incluir en la huella de carbono una gestión y proceso de descarbonización, buscando los procesos más óptimos. El resultado que obtiene el consumidor son precios más competitivos con una calidad igual o mejor. **Incorporar a la huella de carbono un crédito de carbono asociado, daría la señal adecuada para impulsar una demanda de productos y servicios bajos en carbono.** Ello estimularía mercados descarbonizados, nuevos servicios y productos que movieran la innovación y las inversiones<sup>148</sup>.

La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) permite organizar los resultados de una empresa en lo que se denomina como *triple resultado*, siguiendo las dimensiones del desarrollo sostenible (económica, ambiental y social). Aunque es una vía voluntaria, va en aumento. Falta avanzar en que estos informes no sean sólo autodeclaraciones de las propias empresas, y en establecer esquemas normalizados y estandarizados de supervisión independiente.

<sup>148</sup> Existen iniciativas de redes de consumidores responsables que acceden a talleres de información sobre los distintos sellos ambientales y la toma de decisión respecto a ellos.

Pero, además, **en las empresas con enfoque de RSC, los empleados estarán más dispuestos a aceptar y adoptar los comportamientos asociados a la sostenibilidad como la manera normal en que las cosas son y deberían ser.** Este elemento ejemplificador ofrece a las empresas una oportunidad única de aportar al necesario cambio de la sociedad, y les permite explorar nuevos puntos de vista y dejar atrás perspectivas viejas y obsoletas para estos nuevos contextos, fomentando el nuevo diálogo sobre los objetivos y responsabilidades de las empresas. Diálogo con los empleados y sus representantes sindicales y diálogo con la sociedad y sus organizaciones representativas.

La generalización de la RSC a todos los tamaños de empresa y sectores económicos; su integración en los sistemas de certificación y el etiquetado de sus bienes y servicios; la selección ambiental y social de las compras y proveedores; el establecimiento de cuentas ambientales de la empresa; la adopción de planes de movilidad responsables para actividades y empleados, el desarrollo de “buenas prácticas” en el uso de la energía por parte de los empleados... todas estas prácticas, significarían una reforma de gran trascendencia en la reducción del consumo de energía y emisiones de la actividad empresarial y en el comportamiento social en su conjunto.

#### **7.1.5. Las organizaciones de la sociedad civil y sus “representados”**

Los individuos desempeñan comportamientos generalmente relacionados con su estatus y función

social, a veces incluso contradictoriamente, dependiendo de su situación social, profesional o laboral, su renta, su ubicación rural o urbana, su origen autóctono o inmigrante, su género... También cuenta su información, su cultura, su función y capacidad de decisión en tanto que consumidores o usuarios.

El comportamiento energético también puede variar: por ejemplo, si es en el domicilio o en el lugar de trabajo puede ser diferente respecto al uso de la electricidad o a las decisiones sobre transporte, como propietario o como usuario... Aunque, en general, el precio es una señal para la adopción de decisiones económicas, a veces la demanda tiene comportamientos muy elásticos, como sucede con los precios de los combustibles.

Así pues, el comportamiento puede diferir según los contextos y diversos roles que un individuo tiene en su vida; aunque a la vez, *grosso modo*, el comportamiento individual, responde en gran medida al comportamiento grupal, según segmentación social. Las propuestas relativas al cambio en el comportamiento deben en consecuencia desagregarse, a efectos de hacerlas aprehensibles.

Igualmente se deben considerar los distintos agrupamientos sociales y las entidades sociales que los representan o intermedian, con sus diferentes niveles de asociacionismo y representatividad: las organizaciones sindicales de los trabajadores, las asociaciones de consumidores y usuarios, las ONGs ecologistas y otras muchas que estructuran a la sociedad civil.

Las organizaciones sociales, como entidades de intermediación entre los individuos, la sociedad y las

instituciones, expresan los intereses de la sociedad civil, influyen decisivamente en la cultura de masas de una sociedad y desempeñan un importante papel en los cambios sociales.

En este sentido, para ayudar y permitir la libre expresión de estos intereses son necesarios una serie de mecanismos transversales:

#### **a) la participación:**

La insostenibilidad ambiental de la situación exige un giro en las políticas públicas y privadas, combinando instrumentos reguladores con incentivos económicos y políticas de participación social para implicar al conjunto de la sociedad en los cambios.

Para que la participación sea efectiva, debe estar legalmente reconocida y formalmente establecida, basarse en procedimientos que garanticen la información y la transparencia de los procesos, que faciliten la adopción de acuerdos; así como disponer de cauces y recursos apropiados tanto profesionales y formativos, como económicos.

La participación puede adoptar múltiples caminos, desde la consulta a través de web hasta los procedimientos de consulta con alegaciones, los presupuestos participativos municipales, los órganos tripartitos laborales, los consejos consultivos sociales y ambientales o la presencia de la sociedad civil en determinadas instituciones específicas energéticas, como la Comisión Nacional de la Energía.

#### **b) la educación:**

La educación es un instrumento clave para la adquisición de conocimientos, de habilidades, valores, capacidad crítica etc. que influyen en las decisiones, comportamientos y estilos de vida. Los sistemas de educación deben orientarse también hacia la sostenibilidad ambiental y energética.

Se debe tener en cuenta que los procesos educativos, desde la infancia, no sólo se configuran por la adquisición de conocimientos en el aula, sino que se obtiene a través de la "imitación" de comportamientos reales de los referentes con credibilidad. Las instituciones educativas formales llevan tiempo implicadas en este proceso, con diferentes intensidades y resultados. Existe una Agenda 21 escolar en el currículo de primaria y secundaria y ciertos cambios en la formación profesional y continua y en la educación superior.

Los resultados están aun muy lejos de lo que el cambio requiere, tanto en el campo de la educación como en el de la formación de profesionales, de forma incluso que la realidad productiva está muy por delante de la estructura formativa: la mayoría de los empleados en energías renovables son titulados superiores o de grado medio pero sus estudios fueron deficientemente diseñados para su función; la construcción y rehabilitación de viviendas en clave de sostenibilidad energética no está contemplada como debiera en la enseñanza de arquitectura y otras profesiones relacionados con la edificación; el transporte se organiza con criterios determinados por los conocimientos en la construcción y funcionamiento de las infraestructuras más que por el conocimiento sobre la gestión sostenible.

**c) información y comunicación:**

Sin una adecuada información, la participación y la implicación responsable no son posibles. El derecho a la información ambiental está reconocido en España por ley (38/1995). La mejora en la información específica sobre la energía a lo largo de los ciclos de generación de productos y servicios y el conocimiento de su huella energética y de emisiones facilitaría la implicación ciudadana. Lo que requiere por una parte políticas específicas al respecto y el cumplimiento de la legislación ya existente y, por otra, que los representantes de la sociedad civil asuman esta labor como principal.

No se trata sólo de informar, sino de comunicar; no se trata sólo de facilitar información inteligible, sino de buscar la respuesta del interlocutor, como único medio de ajustar el mensaje, de asegurarse de que sea entendido.

La importante influencia de los medios de comunicación de masas como transmisores de información y creadores de opinión hace de ellos agentes destacados para el cambio social. Los medios han incluido progresivamente en su agenda el Cambio Climático y su relación con la energía, aunque todavía con notables carencias y contradicciones. Se requieren mejoras tanto en el rigor científico de los contenidos como en el tratamiento la relación, insuficientemente desvelada, entre las decisiones y comportamientos económicos, energéticos y climáticos.

Un poderoso mecanismo de conformación del comportamiento social a considerar es la publicidad que fomenta unas pautas consumistas directas, con sus derivaciones energéticas indirectas, muy lejos del comportamiento responsable. Por su

presencia, persistencia e intensidad la influencia de la publicidad consumista tiene una enorme capacidad para contrarrestar los mensajes hacia el ahorro energético que eventualmente aparecen. Sería necesario un cambio muy drástico y profundo en este campo para neutralizar su influencia en el fomento del consumismo.

**7.1.6. Alianzas, coaliciones y transición justa**

El cambio social no puede ser abordado por un único agente social, por mucho poder que tenga éste. Ni siquiera un gobierno puede asumir la responsabilidad por toda la sociedad. En cierto modo, sociedades menos desarrolladas institucionalmente, por el contrario, pueden tener mecanismos de defensa social más sólidos (fortaleza y memoria histórica, no sólo resiliencia).

Las sociedades tradiciones tienen menos instrumentos sofisticados, pero en cambio más mecanismos culturales y sociales de actuación. Son instituciones cuya legitimidad está en ofrecer seguridad y protección a la sociedad. **El Cambio Climático ofrece una renovada fuente de legitimidad a las instituciones con serios déficit de credibilidad y confianza. El reto del clima y el cambio de modelo energético está en ofrecer la capacidad de los gobiernos de actuar al lado de otros actores sociales, en las global *citizenship* o *local players*.**

Se trata de poder actuar por encima de fronteras y demarcaciones institucionales. Los riesgos del clima tampoco conocen fronteras ni teorías climáticas. Esto puede dar lugar a

puntos de encuentro de opuestos, con objetivos comunes. Actores que en otros ámbitos no habían coincidido se encuentran ante el Cambio Global dando lugar a amplias y muy diversas coaliciones. Gobiernos, autoridades locales, inversores, aseguradoras, empresas de renovables y de servicios energéticos, sindicatos, ONG, universidades, consultorías, fundaciones... encuentran intereses comunes ante los desafíos climáticos y energéticos.

Esta multiplicidad de agentes de la sociedad civil y la perspectiva de puntos de encuentro para el cambio es imprescindible para presionar a gobiernos e instituciones en la perspectiva del cambio, pero también para gobernarlo conjuntamente.

---

***Reducir las emisiones de gases de invernadero en un 80% para 2050 exige una transformación extraordinaria de los modelos de producción y consumo, y por lo tanto una gran transición en la que unas actividades y sectores irán en declive mientras que otros serán emergentes, lo que puede crear situaciones adversas para algunas poblaciones de determinadas áreas territoriales especializadas en las actividades en declive y para los trabajadores de dichas actividades.***

***Todo ello requiere el diseño de escenarios que den previsibilidad a los cambios y el gobierno conjunto de la transición para que sea justa.***

---

La puesta en marcha de mecanismos de transición justa es especialmente necesaria en el medio laboral, donde la larga tradición de diálogo social y

experiencia de relaciones tripartitas (gobiernos, empleadores y trabajadores) debería servir para facilitar que el cambio de modelo energético se desarrolle con criterios de transición justa.

## **7.2. POLÍTICAS FISCALES Y REGULACIÓN**

### **7.2.1. Introducción**

Este apartado se ocupa de describir un conjunto de instrumentos regulatorios que tienen como objetivo la búsqueda de un sector energético más sostenible desde un punto de vista ambiental. Aunque se subraya la importancia de las aproximaciones fiscales a este efecto, el mensaje no puede ser simplista: será necesario combinar adecuadamente distintos instrumentos para la consecución de un objetivo tan ambicioso. Y esto, por supuesto, exige un análisis de las sinergias (positivas) e interacciones negativas que se pueden producir con el uso simultáneo de instrumentos. Pero, además, los instrumentos regulatorios que se mencionarán no cumplen sólo objetivos ambientales sino que pueden contribuir también a otros fines de política energética (reducción de dependencia externa, vulnerabilidades, etc.). Por tanto, habrá que abandonar en este periplo una de las máximas de la regulación económica: un instrumento para un objetivo.

Los variados instrumentos que se contemplan se pueden clasificar en tres grandes grupos: regulaciones convencionales de la actividad económica (también conocidas como de mandato y control), instrumentos económicos o de mercado, y

aproximaciones voluntarias. A continuación se describen y valoran brevemente los distintos instrumentos, siguiendo trabajos previos (Labandeira, León y Vázquez, 2006), para concluir proponiendo la aplicación de una reforma fiscal verde en nuestro país.

### 7.2.2. Alternativas regulatorias para un sector energético ambientalmente más sostenible

#### 7.2.2.1. Regulaciones convencionales

Este mecanismo regulatorio es el más común en la política energético-ambiental y el primero en aparecer. Una regulación de mandato y control toma la forma de una regulación convencional de la actividad económica, a través del establecimiento de normas de obligado cumplimiento para los contaminadores.

Para controlar los posibles incumplimientos, que pueden ser objeto de sanción económica y/o penal, estos mecanismos cuentan con un sistema de monitorización "ex ante" y/o "ex post". Estas regulaciones suelen clasificarse en cinco grandes grupos:

- **normas sobre productos**, que establecen las características que deben cumplir éstos desde un punto de vista ambiental. Por ejemplo, se incluirían aquí aquellas que regulan el consumo energético de los electrodomésticos o el contenido contaminante de los carburantes.
- **normas sobre emisión de contaminantes o estándares de operación**, que son aquellas que regulan, por

ejemplo, los niveles de emisión por unidad de tiempo permitidos a cada contaminador.

- **normas sobre inmisión de contaminantes**, que regulan las concentraciones máximas de contaminación permitidas en cada momento del tiempo en un determinado lugar.
- **normas tecnológicas o estándares de diseño**, que exigen la utilización de una determinada tecnología productiva o la introducción y operación de medidas de descontaminación.
- **normas de planificación**, que son aquellas que regulan, por ejemplo, el uso del territorio o las condiciones de edificabilidad.

El éxito de las regulaciones de mandato y control tiene probablemente que ver con su aparente efectividad ambiental y adaptación al enfoque legalista dominante en las políticas públicas. Sin embargo, esta alternativa también presenta limitaciones que explican la actitud crítica de muchos expertos.

La principal es su dificultad para conseguir siempre resultados eficientes, tanto estática como dinámicamente. La existencia de información asimétrica sobre los costes de descontaminar del contaminador entre regulador y regulado explica la ineficiencia estática, ya que los segundos tienen incentivos a no revelar sus verdaderos costes de descontaminación, obligando al regulador a utilizar una aproximación uniforme que no distinga entre los contaminadores. **La consecuencia es que, para alcanzar un determinado nivel de descontaminación, se incurre en unos costes totales mayores que los estrictamente necesarios, con la correspondiente**

### **pérdida de recursos valiosos para la sociedad.**

Un problema similar, también ocasionado por un inadecuado tratamiento de los incentivos de los agentes, se refiere a la ineficiencia dinámica. En este caso los contaminadores no se ven impulsados a mejorar los límites fijados por el regulador, lo que provoca que tampoco tengan incentivos a promover una innovación tecnológica continua en procesos de producción limpios.

#### **7.2.2.2. Instrumentos económicos o de mercado**

Estos mecanismos producen modificaciones en el comportamiento ambiental de los agentes mediante el juego de los incentivos económicos, descentralizando las decisiones en éstos. Al permitir que los agentes reaccionen en función de sus capacidades y preferencias, estos instrumentos introducen flexibilidad en las políticas ambientales, favoreciendo que las mejoras ambientales se alcancen con el mínimo coste para la sociedad (eficiencia estática).

Puesto que se utilizan incentivos económicos continuos (precios a pagar o a recibir en relación con conductas ambientales), la eficiencia dinámica está también favorecida<sup>149</sup>. Los principales instrumentos económicos son los mercados de derechos de emisión, las subvenciones y los impuestos.

#### **a) Mercados de derechos de emisión**

En este caso, la externalidad se aborda a través de la creación de un mercado en que los agentes intercambian permisos de emisión que adquieren, por tanto, un precio.

En su forma más básica (aunque no única), **el regulador establece el número de permisos a partir de un límite global de emisiones, que se asignan posteriormente entre los contaminadores siguiendo algún criterio**. Cada permiso da derecho a emitir una determinada cantidad del contaminante, y se fija un periodo de tiempo durante el que se puede usar esos derechos o comerciar con ellos. En algunos casos se permite la acumulación (el préstamo) de permisos para utilizar o vender en periodos posteriores, lo que proporciona una mayor flexibilidad en el mercado pero también mayores riesgos ambientales (la posibilidad de concentraciones excesivas en momentos puntuales).

Los mercados de derechos son un instrumento económico de cantidad, ya que inicialmente se fija un objetivo cuantificado, se distribuyen los permisos y, finalmente, surge un precio a partir de las interacciones del mercado. En el caso de los impuestos, el esquema es el contrario: el precio (tipo impositivo) se fija en primer lugar y posteriormente éste origina una cantidad (la contaminación o emisiones) a partir de la reacción de los agentes. De todas maneras, en los mercados se mantiene el enfoque flexibilizador de los instrumentos económicos al seguirse descentralizando las decisiones en los contaminadores, si bien manteniendo

<sup>149</sup> Baumol y Oates, 1988.

el control sobre el nivel agregado de contaminación. Esta es, precisamente, una de sus ventajas cuando existe incertidumbre sobre las curvas de costes marginales de reducir y los daños ambientales son elevados<sup>150</sup>.

La experiencia práctica ha mostrado que no siempre se alcanzan los resultados esperados. Por ejemplo, la experiencia en lo que se refiere mercado europeo de emisiones de CO<sub>2</sub> no es todavía concluyente.

### **b) Subvenciones**

Se trata ahora de un pago que el sector público realiza a los causantes del daño ambiental, un gasto fiscal o presupuestario, para que modifiquen su comportamiento. En teoría es un instrumento de precio, con efectos similares a los conseguidos por los impuestos a nivel individual. Sin embargo, a nivel global se produce un incremento del deterioro ambiental con respecto al caso impositivo porque se alteran las decisiones de entrada-salida<sup>151</sup>.

Una diferencia fundamental con los instrumentos anteriores de política es que no se sigue el principio de 'quien contamina paga', en realidad una guía comúnmente aceptada para la definición de las políticas en este campo. Existen diversas posibilidades dentro de las subvenciones, aunque las menos habituales son precisamente las que ilustran buena parte de los manuales de Economía: subsidios por unidad de emisión reducida. Más normales son los que se dedican a

cubrir una parte de los costes fijos de inversión en instalaciones descontaminantes o los que pretenden fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías limpias (por ejemplo, las primas a las energías renovables).

En ambos casos los subsidios pueden arbitrarse dentro de los impuestos existentes (sociedades, etc.), como gasto fiscal, o como transferencia directa de recursos al contaminador, como gasto presupuestario.

### **c) Fiscalidad**

Un impuesto ambiental es un pago obligatorio que deben realizar los agentes que emiten sustancias contaminantes (a partir o no de un determinado nivel mínimo), siendo calculado por la aplicación de un tipo impositivo (fijo o variable) a una base imponible relacionada con el nivel de descargas al medio natural. Además, cabe destacar que un impuesto es ambiental por sus efectos en términos de ingresos públicos, no porque su recaudación esté afectada a fines ambientales.

Es decir, que un impuesto sea ambiental no, depende del destino que se le de a la recaudación obtenida con el mismo, sino que el impuesto será ambiental si afecta al comportamiento de los agentes de manera que se consiga reducir el nivel de contaminación.

La base imponible del impuesto se calcula preferiblemente de manera directa, midiendo las descargas

<sup>150</sup> Weitzman, 1974.

<sup>151</sup> Algunos contaminadores que dejarían su actividad por falta de rentabilidad pueden mantenerse operativos por este instrumento o puede atraerse a agentes que en otro caso no acudirían

contaminantes, si bien en ocasiones se utilizan sistemas de estimación indirecta u objetiva por razones de viabilidad administrativa. Por su parte, el tipo impositivo idealmente debería estar relacionado con el daño ambiental provocado por la unidad de descarga gravada, sin embargo, esto es muy complicado, principalmente debido a los requerimientos informacionales a que nos referiremos posteriormente.

Esta clase de impuestos, cuyos tipos impositivos pretenden recoger el daño ambiental provocado por las descargas contaminantes, se denominan pigouvianos. En el caso de que el tipo impositivo sea otro, discrecional o no, se denominan coste-efectivos, ya que en todo caso garantizan que el esfuerzo corrector se realice al mínimo coste.

Otras dificultades de los tributos ambientales tienen que ver con sus efectos sobre la competitividad, al encarecer los precios de ciertos productos, y sobre la distribución de la renta.

En relación con esta última cuestión, **los impuestos pueden provocar efectos regresivos si gravan bienes que, como les sucede a los productos energéticos, son consumidos en mayor proporción relativa por parte de los grupos sociales con menores niveles de renta.** Si la principal finalidad de los impuestos ambientales ha de ser corregir las externalidades ambientales, lo que se denomina primer dividendo o beneficio de la imposición ambiental, éstos también pueden generar un segundo dividendo si se utilizan sus ingresos para reducir otros impuestos distorsionantes (que engloba los demás

cambios en el bienestar, de naturaleza extra-ambiental).

La teoría del doble dividendo ha propiciado que en algunos países europeos los impuestos energético-ambientales hayan formado parte de cambios fiscales más ambiciosos, la denominada Reforma Fiscal Verde (RFV) de la que se hablará después.

### d) Aproximaciones voluntarias

Se trata de una serie de actuaciones que tienen como finalidad que los sectores contaminantes se auto-regulen mediante procesos cooperativos que sean menos costosos para la sociedad<sup>152</sup>. En realidad se trata de una nueva generación de política ambiental, donde los aspectos mandatorios se reducen considerablemente (aunque no necesariamente desaparecen). Existen tres grandes opciones para el desarrollo de aproximaciones voluntarias:

- **El sector público puede definir un programa de actuación ambiental al que los agentes, voluntariamente, puedan sumarse.** A cambio, estos obtendrían asistencia técnica, reconocimiento público, acceso a programas de subvenciones públicas o un tratamiento regulatorio más suave (en el sistema de mandato y control o en instrumentos económicos que puedan existir). **Una segunda opción es que el programa de actuación sea fruto de una negociación bilateral** entre el contaminante y el regulador, donde éste utiliza de nuevo la zanahoria o la ame-

<sup>152</sup> OCDE, 2003.

naza del palo para conseguir el cambio voluntario de comportamiento.

- **Un programa que sea una iniciativa unilateral del agente causante del daño ambiental, sin interferencia pública de ningún tipo.** Esto puede producirse mediante el desarrollo y mejora de sus sistemas de gestión ambiental, utilizando prácticas y códigos de conducta de organizaciones más ambiciosas o aplicando procedimientos establecidos por organismos de reconocido prestigio. Una modalidad de iniciativa voluntaria es la adopción de acuerdos con organizaciones sociales que incluyen compromisos de mejora ambiental<sup>153</sup>.
- **Procesos de creación y suministro de información sobre los impactos ambientales que generen los principales contaminadores.** Estos procesos, generalmente definidos y gestionados por el sector público, llevan a los contaminadores a modificar sus conductas sin regulación explícita, para evitar la pérdida de clientes o de imagen. Asimismo, influirán sobre las demás aproximaciones voluntarias, promoviendo iniciativas unilaterales y bilaterales.

La principal ventaja de esta nueva generación de instrumentos es que permiten la comunicación y la cooperación tanto entre los propios contaminadores como entre éstos empresas y el regulador. Esto contrasta con los instrumentos de mercado, de una naturaleza individual, y con las regulaciones de mandato y control, con

preeminencia del regulador. Además, se reducen sobremanera los costes para el regulador, ya que los gastos administrativos serán mínimos, y prácticamente inexistentes aquellos relacionados con la vigilancia y control de contaminadores.

La principales desventajas identificadas son las dificultades para su generalización<sup>154</sup> y su uso con fines exclusivos de “lavado de imagen”, sin que contemple modificaciones reales de comportamiento ni resultados objetivos en la reducción de la contaminación, de lo que son visibles numerosos ejemplos. También se ha identificado una fuerte tendencia a presentar a esta nueva generación de instrumentos voluntarios como alternativa a la regulación, como opuestos y no complementarios con ella, de forma que a menudo aparecen cuando resulta inminente la presencia de una nueva regulación con el objeto de detenerla y suavizar o eludir las obligaciones empresariales.

### 7.2.3. Una reforma fiscal verde para el cambio de modelo energético

Hace casi veinte años que un conjunto de países nórdicos iniciaron sus primeras reformas fiscales verdes (RFV). En esencia, una RFV es un proceso de cambio fiscal generado por la irrupción de impuestos ambientales, cuya recaudación se utiliza para reducir impuestos convencionales que afectan

<sup>153</sup> Ejemplos de este tipo de acuerdos son los alcanzados por algunas empresas con ONGs medioambientales que contienen compromisos empresariales de comportamiento ambiental o el centenar de Acuerdos Marco Internacionales firmados por compañías multinacionales con las federaciones sindicales (Véase el Informe Sustainlabour 2009 ‘Las cláusulas relativas al medio ambiente y a la salud y seguridad laboral en los Acuerdos Marco Internacionales [http://www.sustainlabour.org/dmdocuments/esp317\\_2010.pdf](http://www.sustainlabour.org/dmdocuments/esp317_2010.pdf))

<sup>154</sup> Siguiendo con los ejemplos anteriores: los acuerdos con ONGs ambientales, por ejemplo, son muy escasos; y en el caso de los Acuerdos Marco la gran mayoría son de compañías europeas, sólo una norteamericana y una japonesa.

negativamente a las decisiones de producir, ahorrar y consumir.

Frente a esos impuestos sobre bienes, los impuestos ambientales gravan un mal (la contaminación) y además resultan muy atractivos desde un punto de vista económico porque solucionan un fallo de mercado (la inexistencia de un precio por contaminar) de una forma eficiente y generan incentivos continuos a las mejoras tecnológicas de naturaleza ambiental. Este doble beneficio hizo que las aplicaciones de RFV se extendiesen en los años de cambio de siglo a los principales países del continente europeo (incluyendo Alemania y Reino Unido), también porque se trataba de una solución muy vinculada a los movimientos de reforma fiscal imperantes desde finales de los setenta en el mundo desarrollado.

Tanto el diseño como los resultados de las RFV aplicadas hasta hoy muestran una cierta heterogeneidad. Lo habitual es, sin embargo, una RFV estructurada en torno a la imposición energética y sobre las emisiones de dióxido de carbono, que realiza compensaciones con impuestos sobre el trabajo en busca de más empleo y deja exentos a los sectores industriales sujetos a mayor competencia internacional. La imposición energético-ambiental permite así atacar el problema ambiental más relevante en la actualidad, el Cambio Climático (y colateralmente otros daños asociados a la combustión de productos fósiles), a la vez que garantiza una recaudación estable y abundante.

**Esto no quiere decir que la RFV sea irrelevante desde un punto de vista**

**ambiental sino que sus efectos son de medio plazo, fomentando el cambio tecnológico y el ahorro, dada la gran dependencia fósil de nuestro modelo de sociedad y desarrollo.** De hecho, la evidencia empírica existente indica que las RFV han sido exitosas ambientalmente, en casos reduciendo emisiones y en casos rompiendo sus tendencias alcistas.

Hay varias razones por las que una solución de estas características tiene hoy sentido para nuestro país. En primer lugar, porque las emisiones españolas de CO<sub>2</sub> se encuentran lejos del límite establecido por la distribución comunitaria de reducciones para cumplir con el Protocolo de Kioto. En segundo lugar porque la comunidad científica apunta que España será uno de los países de nuestro entorno más susceptibles a sufrir los efectos del Cambio Climático, dada su extensión costera, su ubicación geográfica y los ya incipientes fenómenos de desertificación.

Pero una RFV no sólo es necesaria y conveniente en España por motivos ambientales. **En un contexto de crisis económica y fiscal, un movimiento de esta naturaleza permite conseguir más recursos públicos y reducir la fiscalidad de los bienes (en particular sobre el trabajo) y gravar los males.** Permitiría, además, lanzar señales adecuadas de largo plazo sobre comportamientos y tecnologías compatibles con una economía sostenible y facilitar la aparición de sectores emergentes en la producción y consumo de energía<sup>155</sup>.

Además, la evidencia empírica ex-ante para la economía española sobre

<sup>155</sup> Del Río y Labandeira, 2009.

impuestos ambientales y reformas fiscales verdes indica que sus efectos son en general positivos, lo que puede servir para justificar y avanzar los resultados de su aplicación futura<sup>156</sup>.

Una reforma fiscal verde podría comenzar en España con una subida gradual, pero significativa, de la imposición energética relacionada con el transporte. España se encuentra por debajo de la media europea en este campo, a distancia abismal de ciertos países como Reino Unido (considerando explícitamente la distinta capacidad económica), por lo que hay margen de actuación.

Un recorrido fiscal que también sería deseable por la fuerte dependencia energética externa española. **En particular, una adaptación ambiental de los impuestos especiales energéticos sería la opción más deseable para instrumentar la subida impositiva, por ejemplo haciéndolos converger hacia gravámenes sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>.** Nuevos impuestos energético-ambientales sobre el transporte y otros sectores difusos, como los contemplados en los últimos meses en países de nuestro entorno, pueden servir así de referencia.

No obstante, como opción de reciclaje de la recaudación adicional parece recomendable seguir las pautas comunes de las RFV ya aplicadas y concentrar los esfuerzos, al menos en un primer momento, en la reducción de

las cotizaciones sociales (siempre sin poner en riesgo la solvencia de los sistemas contributivos de protección social, que dependen de tales cotizaciones, y garantizando las correspondientes prestaciones).

#### 7.2.4. Conclusiones

Las alternativas de regulación para alcanzar un modelo energético sostenible son variadas y algunos instrumentos de mercado parecen también una opción apropiada, por las propiedades coste-eficientes que consigue el uso de los precios.

En particular, y basándonos en los resultados de un conjunto de trabajos académicos aplicados a nuestro país, la aplicación de una reforma fiscal verde basada en impuestos energéticos sobre el transporte presenta muchas ventajas. Sin embargo, como se adelantaba al inicio, para conseguir un sector energético más sostenible ambientalmente hemos de utilizar de forma simultánea muchos instrumentos. Esto plantea problemas (interacciones negativas: una especie de doble imposición) y oportunidades (ganancias por uso coordinado).

<sup>156</sup> Por ejemplo, las investigaciones apuntan a que en España es posible reducir emisiones de forma coste-efectiva con tipos impositivos ambientales asumibles (Labandeira, 1996) para el caso de las emisiones de óxidos de azufre por el sector eléctrico; que para un impuesto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> es mejor aplicar de forma gradual las políticas de reducción de emisiones que concentrar los esfuerzos en un periodo temporal reducido (Labandeira y Rodríguez, 2006); y que las ventajas de extender los precios por emitir a todos los sectores y agentes económicos son claras (Labandeira y Rodríguez, 2010), en contraste con la concentración de reducciones de forma selectiva que implica el actual mercado europeo de derechos de emisión. Además, la aplicación de impuestos ambientales dentro de una RFV permite moderar sus efectos económicos mediante la reducción de la fiscalidad del trabajo (Labandeira, Labeaga y Rodríguez, 2004) y, a diferencia de lo que ocurre en otros países, es posible aplicar este esquema con un coste distributivo reducido (Labandeira, Labeaga y Rodríguez, 2009).

**7.3. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

**7.3.1. Curvas de aprendizaje tecnológico**

La urgencia de los cambios necesarios en el modelo energético ha puesto presión sobre el desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de estas nuevas fuentes energéticas, de tal forma que, no sólo la respuesta al precio de la tecnología es relevante, sino también el tiempo que será necesario para desarrollarla, haciendo preciso el diseño de instrumentos de apoyo.

*Parece cada vez más evidente que las políticas fiscales o de concienciación no serán suficientes para lograr el cambio tecnológico necesario, debido a la dificultad de luchar con tecnologías energéticas*

*como las fósiles, sólidamente establecidas, y también a la presencia de externalidades relacionadas con la innovación.*

*Por lo tanto, es necesario diseñar políticas tecnológicas específicas, tanto a nivel de I+D como de desarrollo de mercados, que permitan a las nuevas tecnologías desarrollarse de forma eficaz y eficiente.*

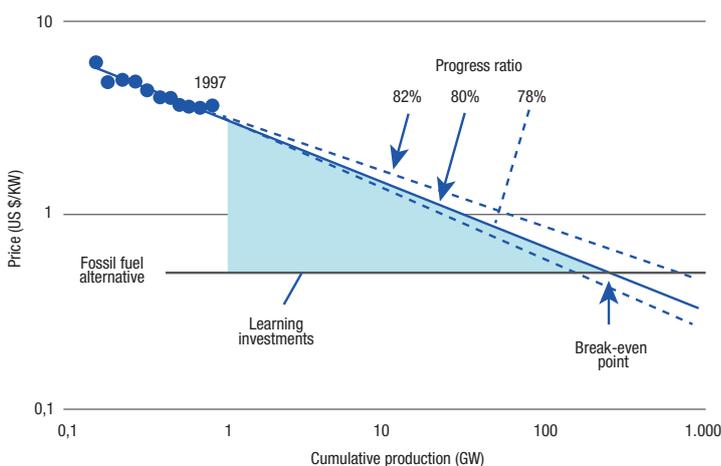
Está demostrado que es posible llegar a una relación matemática sencilla entre el coste de una tecnología y su uso o producción acumulado, dando lugar a lo que se conoce como curva de experiencia o de aprendizaje<sup>157</sup>.

En la figura 7.1 se puede ver la curva de experiencia para la tecnología solar fotovoltaica (con tasa de aprendizaje del 80%). El área sombreada indica el coste de la tecnología hasta llegar al punto de paridad. También se muestran los efectos de la variación en la tasa de aprendizaje, que son elevados por estar los ejes en escala logarítmica.

Pero evidentemente es necesario hacer avanzar a las tecnologías a lo largo de la curva, o incluso lograr desplazamientos hacia debajo de la curva, mediante políticas de apoyo. En la figura 7.2 se muestra cómo funciona el mecanismo del aprendizaje de una tecnología y cómo las políticas de apoyo pueden acelerar el proceso.

En este sentido, podemos distinguir los siguientes tipos de política de apoyo tecnológico:

**Figura 7.1. Punto de paridad (break even) y curva de experiencia de la energía solar fotovoltaica (tasa de aprendizaje del 80%).**



<sup>157</sup> Usando escalas logarítmicas en los ejes de las abscisas y las ordenadas obtendremos líneas rectas para la relación coste-acumulación con una pendiente descendente que nos indica la capacidad de aprendizaje de una tecnología. De esta forma tan sencilla es posible calcular de forma aproximada las posibilidades de reducción del precio de una tecnología y el coste (área bajo la recta) que puede llegar a alcanzar un precio determinado..

- **políticas de apoyo a la I+D+i:** con influencia directa en la pendiente de la curva de aprendizaje, ya que logran desplazar la curva.
- **políticas de apoyo al desarrollo de una tecnología:** primas, certificados, etc. que aumentan la acumulación de la experiencia a través de la producción y/o el uso, y por tanto hacen que la tecnología recorra una curva dada.

Para el desarrollo de las nuevas tecnologías energéticas se necesita una combinación de ambas, de tal forma que las tecnologías menos maduras reciban un fuerte apoyo en forma de ayudas a la investigación y el desarrollo, tratando de alcanzar curvas con fuerte pendiente, mientras que las tecnologías más maduras, con tasas de aprendizaje demostradas necesitan también (pero no solo) de políticas de apoyo al desarrollo para descender los últimos peldaños de la curva de experiencia. La combinación óptima de ambas produce los mejores resultados en cuanto al tiempo de desarrollo de una tecnología, al menor coste posible.

### 7.3.2. Las peculiaridades del I+D+i en el sector energético

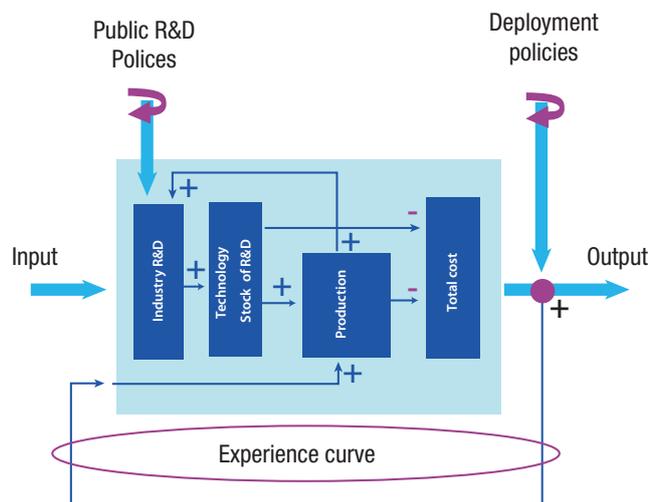
El gasto en I+D en el sector energético, a pesar de lo que pudiera parecer, dada la magnitud del envite actual, ha sufrido una senda negativa desde 1980 que sólo recientemente se está recuperando.

Como se aprecia en la figura 7.3, desde la crisis del petróleo hasta los años 80 hubo un interés creciente por invertir en I+D+i energética. Este esfuerzo decayó con precios baratos del petróleo hasta que, a partir del año 2000, el gasto se ha ido recuperando poco a poco, aunque

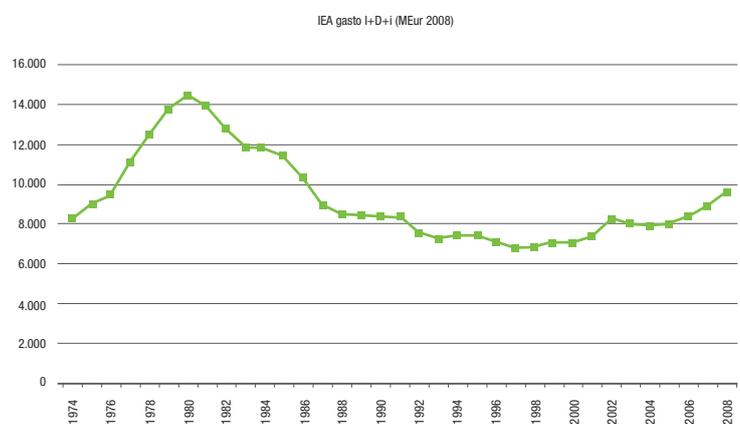
lejos aun de lo invertido en la década de los 80. A esto ha contribuido en parte la liberalización de algunos sectores energéticos, que ha reducido la participación pública en investigación.

A esta reducción de la inversión en I+D+i energética, se le unen las siguientes características de este tipo de proyectos:

**Figura 7.2. Influencias de las políticas públicas en el sistema de aprendizaje. Fuente: Watanabe, 1999.**



**Figura 7.3. Gasto en I+D+i en 2008. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE).**



- **La energía es una *commodity* que proporciona al usuario el servicio requerido independientemente de la fuente desde la que se ha generado.** Esto hace que generalmente no exista una diferencia, salvo la económica, para el usuario entre las fuentes tradicionales y las nuevas fuentes. Por tanto, los proyectos de I+D en el sector energético nacen con una fuerte presión sobre el coste de la energía producida.
- **Los proyectos de I+D+i requieren normalmente una fase de demostración por lo general costosa antes de su introducción al mercado**<sup>158</sup>.
- **El usuario, especialmente de electricidad en países desarrollados, está acostumbrado a una excelente calidad en el servicio,** fruto de años de optimización de las tecnologías energéticas basadas en combustibles fósiles, por lo que la introducción de nuevas fuentes intermitentes en el sistema o el uso de la electricidad en el sector transporte debe proporcionar un nivel de servicio (que no necesariamente de producto o prestaciones) similar al proporcionado por los combustibles tradicionales.
- **Las herramientas, aparatos y equipos de que disponemos y las infraestructuras energéticas están diseñadas en su mayor parte para el uso de energías tradicionales.** Las nuevas fuentes de energía requieren infraestructuras nuevas (infraestructura de puntos de recarga para vehículos, infraestructuras para el hidrógeno,...) o adaptación de las

ya existentes (por ejemplo adaptación de la red eléctrica para escenarios de alta penetración de energía eólica).

### 7.3.3. Políticas de I+D+i para el cambio

A partir de lo recogido en los apartados anteriores se proponen una serie de políticas e instrumentos para fomentar el incremento de la actividad en I+D+i en el sector energético, que permita el desarrollo suficiente de las tecnologías necesarias para el cambio de modelo energético. Las líneas maestras de dichas políticas deberían ser las siguientes:

- Es necesario que se incrementen los recursos destinados a la innovación energética de acuerdo a su importancia. El salto tecnológico que se requiere en el campo energético sólo se conseguirá con un aumento sustancial de los presupuestos para I+D+i. Estos recursos pueden venir, por ejemplo, de las tasas a las externalidades a las tecnologías con mayor impacto.
- La innovación en energía precisa de la colaboración de todos los agentes implicados. Ello permite acumular esfuerzos económicos y tecnológicos. Asimismo, es imprescindible una estrecha coordinación entre el Gobierno de España y los de las Comunidades Autónomas en todas las dimensiones del sistema de I+D+i, promoviendo la especialización y buscando fórmulas de financiación complementaria entre administraciones.

<sup>158</sup> Sirva como ejemplo el coste de una planta de demostración de captura y secuestro de CO<sub>2</sub> que puede alcanzar los 1.000 millones de euros o el de una central de demostración de 3 MW de la tecnología termosolar de generación directa de vapor cuyo coste ronda los 3 millones de euros.

### Políticas de I+D+i para el cambio de modelo energético

#### Políticas específicas de I+D

- Establecimiento de grandes programas públicos de I+D+i de tecnologías energéticas con bajo impacto medioambiental (menores externalidades) para la financiación de los proyectos de demostración previos a la comercialización de la tecnología.
- Proyectos-semilla que permitan financiar iniciativas innovadoras de alto riesgo
- Favorecer los mecanismos de financiación de las empresas de base tecnológica en el ámbito de la energía que permitan sostener a estas empresas durante el elevado tiempo de maduración de sus productos, debido a la competencia de las tecnologías tradicionales.
- Mantenimiento y fortalecimiento de las deducciones fiscales por actividades de I+D+i y actividades medioambientales pues son una verdadera palanca para las iniciativas innovadoras.
- Es necesario establecer políticas que incidan en la recuperación del número de expertos en las distintas áreas técnicas. Sin estas políticas será difícil resolver el problema de la formación de alta calidad en las tecnologías energéticas.
- Premios tecnológicos, que incentiven la innovación radical.

#### Otras políticas de apoyo a la innovación en energía

- Fomentar el desarrollo tecnológico para la adecuación de las nuevas infraestructuras necesarias para el futuro modelo energético, como por ejemplo las redes inteligentes.
- Establecimiento de programas públicos de compra de tecnología (en línea con lo que se hace en otros países tales como Japón) para favorecer el desarrollo tecnológico, minimizando el riesgo.
- Programas de apoyo para tecnologías en fase pre-comercial, vía primas o certificados, para avanzar en las curvas de aprendizaje tecnológico.

## 7.4. EL MARCO INSTITUCIONAL

### 7.4.1. Centrando el tema

En otras partes de este informe se ha mostrado el potencial de distintas líneas de actuación y las oportunidades existentes (desde un punto de viabilidad tecnológica y económica) para transformar el insostenible modelo energético actual, de forma que se pueda conseguir un nivel satisfactorio de seguridad y calidad de suministro, a un precio asequible para los consumidores y permitiendo acceso universal a los servicios energéticos modernos.

Queda por examinar si el marco regulatorio e institucional (ya sea el existente o el previsible de cara al futuro) permitirá sacar partido a todas

estas potencialidades en un horizonte temporal razonable.

La política energética española está fuertemente condicionada por la europea, que finalmente se concretó en el Consejo Europeo de la primavera de 2007 sobre la base de los tres pilares clásicos: “mercados, competencia y eficiencia”, por un lado; “un modelo energético sostenible”, con especial énfasis en lo medioambiental, por otro; y “seguridad en el suministro energético” a Europa, como el tercer elemento.

En principio parece razonable, si no fuese por el olvido de un enorme punto débil en la componente social de la sostenibilidad del modelo energético: la desigualdad en el acceso a formas modernas de energía, con 1.500 millones de personas que no disponen

de electricidad ni combustibles que no sean leña o residuos animales y con pocas perspectivas de mejora de esta situación a medio plazo<sup>159</sup>.

Pero una cosa es formular los principios y otra llevarlos con éxito a la práctica, con las instituciones y los instrumentos regulatorios adecuados. Los mercados de gas y electricidad todavía distan mucho de funcionar eficientemente y con un ámbito geográfico verdaderamente europeo. El mercado de emisiones da lugar a precios del CO<sub>2</sub> demasiado bajos e inciertos en el largo plazo, que no son capaces de provocar sustituciones de combustibles o cambios tecnológicos que tengan relevancia en la lucha contra el Cambio Climático. Y no se ha llegado a plantear en serio todavía una seguridad de suministro energético a escala europea, que permita ir diluyendo las barreras nacionales al respecto.

Otro desafío práctico es armonizar los instrumentos regulatorios que se utilizan para hacer frente a los objetivos múltiples de protección medioambiental (con promoción de las renovables y del ahorro y la eficiencia energética), seguridad de suministro y competitividad económica. Las agencias regulatorias tratan de arreglárselas para compaginar los objetivos de política energética y la realidad de los mercados; un caso paradigmático es el de la integración de las energías eólica y solar en los sistemas y mercados eléctricos.

Hay, no obstante, señales positivas. **El sector energético se mueve (con una sensación de inevitabilidad, posiblemente porque no haya más opción) hacia la adopción de medidas de eficiencia, gestión de la demanda, redes con mayores capacidades de supervisión y control, y fuerte presencia de renovables y de generación más distribuida y cercana al consumo.**

Algunas de las empresas energéticas parecen dispuestas a contribuir, e incluso a liderar, si se les fijan los marcos regulatorios adecuados.

La escena internacional, sin embargo, no da lugar a un optimismo a corto plazo desde el punto de vista institucional y de regulación. Es Europa quien ha ido por delante, al menos fijando objetivos y proponiendo los medios para alcanzarlos, aunque, en los últimos tiempos las vacilaciones sobre el alcance de los compromisos a asumir (si 20% ó 30% de reducción de emisiones para 2030) le ha hecho perder liderazgo, como ocurrió en la cumbre climática de Copenhague 2009<sup>160</sup>. **Serán necesarios en el futuro inmediato acuerdos legalmente vinculantes para construir un régimen climático internacional con objetivos de mitigación más ambiciosos**, sobre todo por parte de los países desarrollados, pero también por parte de algunos de los países emergentes, al menos de aquellos cuyas emisiones están ya por encima de la media mundial.

<sup>159</sup> Véase el World Energy Outlook 2009 de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

<sup>160</sup> Allí, la alianza de intereses entre los EEUU (bloqueados por su incapacidad política de sacar adelante un compromiso suficientemente ambicioso ante la comunidad internacional) y los principales países emergentes (poco dispuestos a reorientar sus pautas de desarrollo) sólo dejaron margen para un resultado insuficiente: el Acuerdo de Copenhague. En dicho acuerdo se asume el marco conceptual del objetivo de evitar un aumento de temperatura superior a los 2° C y de una contribución económica generalizada para la adaptación y mitigación en los países en desarrollo, pero no todavía el de alcanzar un acuerdo legalmente vinculante ni de comprometerse a unos objetivos de reducción coherentes con los objetivos enunciados. Los compromisos de reducción presentados país por país ante Naciones Unidas, en el marco del Acuerdo de Copenhague, llevarían a un calentamiento del planeta entre 3,4 y 3,9 °C, casi el doble de lo recomendable para evitar un Cambio Climático catastrófico.

No se trata en este informe de abordar las políticas climáticas globales en el plano internacional, lo que requeriría un trabajo específico. Aunque sí merecen ser consideradas las políticas climáticas europeas, sobre cuya orientación general se ha alcanzado un apreciable consenso, señalando algunos aspectos que deben incorporarse al actual marco institucional y regulatorio, para alinearlo más eficazmente con el objetivo de un sector energético muy bajo en emisiones de GEI para 2050, que se pueden resumir en la necesidad de:

- adoptar una estrategia energética de largo plazo;
- utilizar instrumentos regulatorios verdaderamente apropiados para alcanzar los objetivos y orientar a los mercados;
- considerar una dimensión geográfica cada vez más amplia, y
- dar prioridad al acceso universal a formas modernas de energía, sin las que una vida digna y la sostenibilidad social no son posibles.

**Las claves del paso a una economía global baja en carbono, que reduce drásticamente tanto el consumo energético como las emisiones en la generación de energía, son la tecnología y los cambios de comportamiento de los consumidores, sean éstos particulares, empresas o administraciones públicas.** Condición

necesaria para el cambio es conseguir que se produzca una transformación tecnológica para la generación y uso de la energía, lo que supone tanto llevar a cabo los necesarios procesos de innovación para poner a punto las nuevas tecnologías limpias, como producirlas y desplegarlas en cantidad

suficiente para transformar verdaderamente el modelo energético.

#### **7.4.2. El papel de los reguladores y de la regulación**

En el marco económico vigente, los mecanismos de mercado pueden ser instrumentos muy potentes tanto para conseguir objetivos de carácter medioambiental, de desarrollo económico y de estrategia energética, como para impedir su desarrollo. Así, un precio global del carbono ayudaría a resolver con criterios de equidad el impacto de un futuro régimen climático internacional sobre la competitividad de los países, dado que beneficiaría a los que menos emiten.

Mientras sea posible aplicar mecanismos de mercado conviene que se establezcan, siempre con la regulación adecuada. Lo que no significa que deban ser la opción prioritaria para todos los países, ya que la situación de unos y otros es, en general, muy distinta, aun entre los países desarrollados.

Sin embargo, los mecanismos de mercado, a pesar de su utilidad en la asignación eficiente de recursos y en ligar distintos sistemas energéticos por medio de transacciones comerciales, puede que no produzcan señales económicas (precios) lo suficientemente fuertes como para ocasionar los cambios que se necesitan en la estructura tecnológica y en los patrones de conducta de los consumidores.

Esto es lo que ocurrirá mientras no se impongan objetivos de reducción de emisiones consecuentes con la verdadera magnitud del problema,

cuesten lo que cuesten. Y éste es uno de los motivos de que se les tenga que suplementar con instrumentos regulatorios adicionales. El otro gran motivo es que los instrumentos de mercado no son adecuados para las actividades energéticas que tienen características de monopolio natural, como es el caso de las infraestructuras de red, ya sean de gas o eléctricas.

Prácticamente todas las tecnologías limpias necesitan (como las convencionales necesitaron en su momento) un apoyo regulatorio específico para que su desarrollo industrial masivo sea viable (esto es, son *policy driven* más que *market driven*) por motivos bien conocidos y debidamente justificados.

Y cada vez resulta más evidente que **las empresas industriales y las entidades financieras han de convertirse en motores del cambio estructural hacia una economía baja en carbono**. Hay varias razones para esto:

- con la actual estructura financiera, el sector privado es imprescindible para proporcionar el elevado volumen de inversión en tecnologías limpias que se necesita en el corto, medio y largo plazo, con las entidades financieras proporcionando la financiación necesaria y los instrumentos de cobertura del riesgo.
- las empresas pueden usar sus valiosos conocimientos y sus recursos materiales y humanos para desarrollar y desplegar en gran escala las medidas de mitigación y de adapta-

ción que se necesitan para luchar contra el Cambio Climático.

- las empresas han sido tradicionalmente el motor de la innovación tecnológica, que es un componente esencial de cualquier futuro régimen global del clima.
- las empresas industriales vienen reconociendo de manera creciente que son parte del problema y que podrían sucumbir si no se adaptan a los cambios, de forma que también deben ser parte de la solución.

Pero esta reorientación no se logrará espontáneamente. Para conseguir esta participación positiva de las empresas privadas es preciso que el futuro régimen del clima proporcione un marco regulatorio claro y los incentivos necesarios.

Hacen falta señales económicas fuertes (precios, impuestos, limitaciones u objetivos) para redireccionar las inversiones hacia las tecnologías apropiadas. El diseño de estos objetivos será un aspecto crítico en el futuro régimen global del clima. La regulación energética para la promoción de tecnologías limpias debe ser *loud, long and legal*<sup>161</sup>.

En definitiva, las empresas privadas deben jugar un papel significativo en todo este proceso, tanto como proveedoras de tecnologías y productos innovadores, como agentes de cambio y también de financiación. Pero, para ello, se exige de los gobiernos credibilidad y claridad en sus objetivos, ambos necesarios para crear

<sup>161</sup> Esto es, los instrumentos regulatorios deben tener un impacto real (*loud*), de forma que las inversiones en energías limpias sean realmente atractivas. Estos instrumentos regulatorios deben mantenerse (*long*) durante un periodo de tiempo que sea acorde a las características financieras de los correspondientes proyectos industriales. Y, por último, los instrumentos regulatorios deben basarse en un marco regulatorio claro, estable y bien fundamentado (*legal*). Kirsty Hamilton, "Unlocking finance for clean energy: The need for 'investment grade' policy", Chatham House briefing paper, Dec. 2009.

el clima necesario de estabilidad y seguridad en las inversiones.

También es objeto de debate el rol que las entidades reguladoras deben jugar en este proceso:

- como simples administradores en la implantación de la estrategia energética de los gobiernos;
- como facilitadores activos de la aplicación de los instrumentos regulatorios más orientados a la sostenibilidad;
- como proponentes creativos de enfoques y mecanismos regulatorios orientados a conseguir un modelo energético más sostenible.

La importancia del tema y la urgencia de la situación recomiendan una combinación de las dos últimas opciones.

### 7.4.3. Planificación y visión de futuro. Regulación y mercados

Una vez que se ha constatado la cortedad de vista de los mercados para anticipar los grandes retos de largo plazo de la encrucijada energética actual, se precisa de un instrumento adecuado para proporcionar esta visión a la sociedad, de forma que pueda adoptar una estrategia energética con conocimiento de causa, de acuerdo a procedimientos democráticos.

Un análisis previo de largo plazo, tanto cualitativo como cuantitativo, es la única base posible para un debate público constructivo que conduzca a consultar a los ciudadanos sobre sus opciones ante las alternativas que se les presenten y a la adopción de las

soluciones que de este debate se deriven.

Este instrumento comprende **una planificación que establezca unos objetivos estratégicos y cree el marco más favorable para su consecución, proporcionando los incentivos y la información suficiente a todos los agentes para tomar las decisiones adecuadas y alcanzar los objetivos citados**, incluyendo la información a los reguladores para determinar las políticas más efectivas.

En lo que respecta al suministro de energía, este análisis debe tomar en cuenta la actual disponibilidad, costes, desempeño técnico y la evolución prevista de las tecnologías de generación, las implicaciones del actual proceso de liberalización de los mercados energéticos, las restricciones medioambientales, la capacidad de respuesta de la demanda en sus dimensiones de ahorro y de mejora de la eficiencia energética, las consideraciones geopolíticas, la repercusión de las distintas estrategias sobre la seguridad del suministro, la capacidad de las interconexiones con mercados externos, el precio estimado de la energía y la competitividad de industrias y servicios, contando siempre con la percepción ciudadana de la situación energética.

Una planificación que ayude a los reguladores a determinar cuáles deben ser los incentivos o penalizaciones a ofrecer a los agentes, para que, dentro de sus competencias, tomen decisiones alineadas con el bien social. La planificación propuesta debe proporcionar las líneas de actuación que permitan cubrir, coordinadamente y de la mejor forma posible, el conjunto de objetivos planteados y la justificación de las decisiones adoptadas al respecto.

Poco se puede decir sobre la estrategia más adecuada en el largo plazo hasta que una entidad solvente ponga sobre la mesa las cuentas básicas y las alternativas existentes con sus implicaciones en coste y emisiones. **La incertidumbre es grande, pero las alternativas no son muchas y algunas de las decisiones clave serán, en definitiva, políticas.** Muchas líneas de actividad que son impensables en el corto plazo pueden ser decisivas en estrategias energéticas en un plazo suficientemente largo.

#### 7.4.4. Integración de políticas y la dimensión internacional

Resulta evidente que las instituciones y la regulación no pueden ya evitar un marcado carácter internacional. Las políticas climáticas tienen que abordarse necesariamente desde una perspectiva global. **Los desarrollos tecnológicos que esperamos que ayuden a enfrentar la encrucijada energética habrán de ser abordados formalmente a escala internacional, incluso compartidos.** En Europa los grandes planes de investigación energética son ya acometidos desde plataformas tecnológicas, que integran a las principales empresas y centros de investigación de cada sector en el ámbito europeo.

Por otro lado, los mercados energéticos eficientes necesitan una amplia dimensión geográfica. En el caso del gas y el petróleo, por la concentración de los mayores recursos en unos pocos países. En el caso de la electricidad, porque los mercados más

amplios mejoran la eficiencia y la fiabilidad, reducen el poder de mercado de las grandes empresas y facilitan la penetración de las energías renovables.

Una presencia masiva de generación intermitente y dispersa debe coexistir con un plan de expansión de las redes de distribución y transporte que facilite su utilización eficiente, junto con señales económicas de localización que indiquen a los futuros inversores los emplazamientos que minimizan la necesidad de reforzar la red. La intermitencia se mitiga con volumen de almacenamiento, respuesta activa de la demanda y capacidad de la red de transporte interno y de las interconexiones.

La magnitud de los recursos que se quieren utilizar en Europa<sup>162</sup> o la utilización en la costa Este de los EEUU de los grandes recursos eólicos del medio Oeste, nos hablan de la dimensión multinacional de la cuestión, a la que el reciente paquete legislativo ha comenzado a dar respuesta en Europa, por medio de la creación de ENTSO-E (y su planificación indicativa de la red) y ACER con su función coordinadora, mientras que en los EEUU es objeto de un debate aún sin soluciones concretas.

#### 7.4.5. Acceso universal a formas modernas de energía

El dilema de la sostenibilidad del actual modelo energético se muestra en toda su crudeza cuando se examina el reparto de tareas entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados.

<sup>162</sup> Generación eólica en el Mar del Norte y el proyecto Desertec para importar electricidad de origen termosolar desde el norte de África.

**El reparto del esfuerzo en la reducción de emisiones no puede ser el mismo para todos los países**, ya que la responsabilidad histórica y actual en el aumento de la concentración de gases de invernadero en la atmósfera no es la misma y las capacidades para la mitigación del Cambio Climático y la adaptación a sus consecuencias tampoco es equivalente.

**En la agenda climática cobra especial importancia el principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas”. Dicho principio demanda soluciones en la línea conceptual de “contracción y convergencia”: contracción en el consumo de recursos energéticos y en emisiones por parte de los países desarrollados y expansión temporal por parte de los países en desarrollo hasta converger en un punto sostenible.**

La figura 7.4 muestra una posible trayectoria de las emisiones globales de GEI hasta 2050 que permitiría mantener un 33% de probabilidad de no exceder los 2°C de aumento de temperatura para 2100. Suponiendo que los países industrializados (Anexo I) se ajustasen a la curva inferior, las emisiones de los países en desarrollo (No Anexo I) tendrían que seguir la curva intermedia, con un fuerte proceso de reducción a partir de 2020. ¿Es esto compatible con sus necesidades de desarrollo y con el objetivo de acceso universal a formas avanzadas de energía? Éste es un problema institucional y regulatorio de primera magnitud.

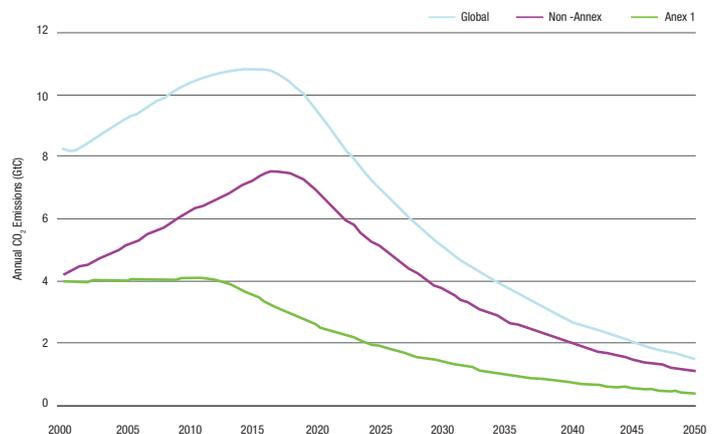
Como se ha reiterado a lo largo del informe, se parte de una situación en la

que el 22% de la población mundial (1.500 millones de personas, un 85% de los cuales viven en áreas rurales) no tenían acceso a ningún tipo de suministro eléctrico en 2008. Según las más recientes estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en 2030 todavía serían 1300 millones, el 16% de la población.

El Proyecto del Milenio de Naciones Unidas ha insistido en la estrecha relación entre el desarrollo humano y el acceso a servicios energéticos modernos, que permiten reducir la pobreza, mejorar la salud y las oportunidades de educación de los niños y promover la igualdad de género. Algunos de los derechos humanos básicos (como un nivel de vida adecuado, la educación o la salud) son imposibles de conseguir sin un acceso adecuado a servicios energéticos modernos.

Conseguir el acceso universal a la electricidad en 2030, por ejemplo, supondría una mayor demanda de electricidad, mayores necesidades de inversión y más emisiones de gases de

**Figura 7.4. Emisiones anuales de CO<sub>2</sub> globales, de los países del Anexo I y de los países No Anexo I.**



efecto invernadero<sup>163</sup>. No es de esperar que el acceso universal pueda deteriorar la seguridad energética, pues apenas afectaría al equilibrio de oferta y demanda en los mercados de gas y petróleo. Se trata, sin embargo, de un esfuerzo formidable, pero que contribuiría decisivamente a mitigar la pobreza.

---

***El servicio eléctrico tiene carácter esencial y la última responsabilidad sobre su suministro corresponde a los estados, que deben velar por todos los ciudadanos, de forma que la inversión privada debe acompañarse de una adecuada intervención de los poderes públicos que, a su vez, han de desarrollar y aplicar un marco regulatorio específico.***

---

La responsabilidad pública no se limita sólo al ámbito nacional, sino que es también una responsabilidad internacional que requiere una contribución financiera por parte de los países desarrollados tal como reconocen numerosos acuerdos multilaterales, particularmente el Convenio de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y los acuerdos derivados, entre ellos el propio Acuerdo de Copenhague.

Las mayores dificultades para el acceso se encuentran en el mundo rural. Los programas de electrificación rural, como todos los que han existido en cualquier país, desarrollado o no,

necesitan ser subsidiados por los respectivos gobiernos y por la comunidad internacional. También por los fondos provenientes del sector privado, a través de instrumentos regulatorios adecuados de financiación.

Aquí, tal vez más que en ninguna otra parte, son imprescindibles unas instituciones y una regulación apropiadas pues, de nuevo, los mercados por sí mismos no son capaces de dar una solución aceptable<sup>164</sup>. Pero, ¿qué temas hay que regular?

Al menos los siguientes:

- las condiciones (deberes y derechos) de las concesiones de distribución;
- el modelo de negocio para el promotor, incluyendo la definición de la propiedad de las instalaciones y la responsabilidad en su mantenimiento;
- los estándares mínimos de prestación del servicio, incluyendo la calidad del servicio y de las instalaciones;
- la coordinación entre la extensión de las redes y el suministro a comunidades aisladas, sin quebranto para el promotor de éstas;
- las condiciones para la ampliación o modificación del servicio;
- la determinación de las tarifas y el modo de cobro;

<sup>163</sup> La AIE en el World Energy Outlook 2009 ha estimado que el acceso universal supondría un incremento del 3% en la producción global de electricidad en 2030, 35.000 M\$/año más (6% sobre el total) en inversiones hasta 2030 y un aumento del 1,3% en las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energético en 2030, aunque solamente del 0,9% si el mix tecnológico fuera el adecuado para estabilizar las emisiones en 450 ppm.

<sup>164</sup> Véase por ejemplo documentación al respecto en la página web de la ONG Energía sin Fronteras, <http://www.energiasinfronteras.org/>

- y el tipo de medición del servicio (con o sin contadores, prepago o no).

Y se debe respetar la especificidad de la regulación para los suministros aislados y las microrredes de la simple extensión de las redes de distribución.

Existe el peligro de que la crisis económica actual pueda afectar a la financiación de los proyectos de electrificación rural en marcha. Esto no debería ocurrir. Las alianzas público-privadas entre empresas energéticas (muy en particular las de energías renovables) agencias de cooperación y administraciones públicas de los países en desarrollo, pueden representar una oportunidad para encontrar soluciones efectivas para su desarrollo.

## 8. CONCLUSIONES

La convergencia de diversas crisis globales (financiera y económica, climática, energética y ambiental) requiere considerar sus interacciones y buscar salidas de conjunto que respondan simultáneamente a todas ellas. La propuesta de Naciones Unidas sobre un *Green New Deal* o Nuevo Acuerdo Verde para salir de la crisis, lanza una propuesta para encontrar soluciones válidas para los países industrializados, los emergentes y los menos desarrollados.

Este informe ha pretendido dar una respuesta desde el punto de vista del sector energético, **un sector que se convierte en vector principal del cambio hacia una economía más sostenible, por sus importantísimas conexiones con la economía, con el medio ambiente y con la configuración de la sociedad.** Así, las decisiones que se adoptan en materia de energía tienen consecuencias muy relevantes sobre el gasto de los hogares, sobre la competitividad de las empresas o sobre la balanza comercial; sobre el clima global y la contaminación regional y local; y sobre la estructura social, el empleo, o la pobreza.

Es en este complejo entorno en el que se revelan las múltiples facetas de la insostenibilidad del modelo energético global y español:

- un modelo que confía en demasía en fuentes energéticas limitadas, con una tendencia de costes y necesidad de inversiones creciente, y que produce elevados impactos ambientales;
- un modelo que sigue permitiendo que casi un tercio de la población mundial siga sin tener acceso a formas avanzadas de energía, factor fundamental para el desarrollo humano;

- un modelo que, a nivel español, y a pesar de los esfuerzos recientes en la promoción de las energías renovables para producción eléctrica, no es capaz de situarse a la altura de sus referencias en Europa, y que muestra una senda creciente de costes, emisiones de CO<sub>2</sub>, o dependencia energética, que sólo la reciente crisis económica ha venido a mitigar.

Afortunadamente, existen alternativas a este modelo. **El ahorro y la eficiencia energética (posiblemente por su olvido histórico) presentan un elevado potencial en España**, y así existen numerosas posibilidades de reducción del consumo energético y de los impactos ambientales asociados desde el urbanismo, la edificación, el transporte o la demanda de electricidad. Esta reducción puede lograrse tanto en términos absolutos (ahorro) como en términos relativos (eficiencia). En el informe se han presentado muchas posibilidades tecnológicas o de cambios de comportamiento en todos estos sectores, que podrían reducir desde hoy el consumo de energía en España el 22% para 2030.

Ahora bien, este esfuerzo no será suficiente. Será también necesario, para poder alcanzar los niveles requeridos de reducción de emisiones, actuar en el sector de la oferta de energía: la generación de calor, electricidad, y la propulsión de los vehículos. De nuevo, el informe ha presentado las posibilidades de muchas opciones tecnológicas, fundamentalmente las energías renovables, para generar la energía necesaria de forma limpia y segura.

**Para que el futuro energético sea sostenible deberá basarse tanto en la gestión racional de la demanda (entendida como ahorro y eficiencia energética) como en la optimización de la oferta, es decir en las energías de fuentes renovables, las únicas sostenibles en este momento, sustituyendo a las fuentes no renovables, como los combustibles fósiles y la energía nuclear de fisión, que no son sostenibles.**

Todas las alternativas de oferta y demanda se han combinado para construir unos escenarios energéticos deseables para 2020 y 2030, que deberían permitir alcanzar un modelo energético sostenible en el medio plazo. El cambio necesario es posible. La opción debe ir acompañada por una adecuada gestión de la transición entre la situación actual y el modelo futuro.

La transición para lograr los objetivos deseados requiere una metodología backcasting o retrospectiva, situando primero el escenario deseable dentro de lo posible y a partir de ahí diseñando las medidas necesarias para alcanzarlo.

**El escenario deseable presentado<sup>165</sup> permite diseñar un futuro energético económicamente viable en el que las emisiones energéticas se reducirían el 30% en 2020 y el 50% en 2030 de forma que puedan reducirse el 80% en 2050.**

La demanda de energía primaria en 2030 sería un 22% inferior a la actual. La reducción vendría del transporte, cuyo consumo de energía final sería en

2030 el 61% inferior al de 2008, y de los sectores residencial, de servicios y agrícola, en los que se reduciría un 45%. La dependencia energética disminuiría considerablemente: el autoabastecimiento, pasaría de un 17% en 2008 hasta un 32% en 2030 y la importación de energía primaria sería un 40% inferior a la actual.

Así pues, el escenario deseable dibuja un futuro en el que el consumo de energía es menor; sin embargo la electrificación del sistema sería un 35% mayor de lo que los es hoy, pasando de un 20% en 2008 a un 27% en 2030. Prácticamente el 100% de la electricidad en esos momentos provendría de fuentes renovables.

Pero para poder lograr estos objetivos no es posible mantener el *status quo* político e institucional. **Es imprescindible adoptar políticas valientes y ambiciosas que rompan la actual situación, que promuevan adecuadamente el ahorro y la eficiencia energética, los cambios de comportamiento necesarios y el desarrollo de las nuevas tecnologías necesarias para el cambio de modelo.**

Por supuesto, algunas de estas políticas tendrán que tener ramificaciones mucho más amplias, abarcando el conjunto del modelo económico. Sin embargo, este informe se ha centrado exclusivamente en las políticas específicas del sector energético.

Las implicaciones sobre el comportamiento social de una economía baja en carbono son enormes en las más diversas esferas

<sup>165</sup> Elaborado con el modelo TIMES-Spain.

de la vida. En las sociedades democráticas, la sociedad civil es motor del cambio social, ya que, para que dicho cambio sea posible, se requiere de una base social suficiente que los apoye y demande a los gobiernos que los promuevan. Las organizaciones sociales (como entidades de intermediación entre los individuos, la sociedad y las instituciones) expresan los intereses de la sociedad civil, influyen decisivamente en la cultura de masas de una sociedad y desempeñan un importante papel en los cambios sociales.

Así, **es necesario lograr, mediante políticas educativas, informativas y participativas, una implicación de la sociedad civil en la percepción de los problemas y de las soluciones existentes**, según el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas.

En segundo lugar, es necesario diseñar políticas que incentiven en la dirección adecuada el cambio de modelo. Fundamentalmente, es necesario que los precios de la energía recojan todos los costes de su uso, para que los consumidores y las empresas puedan alinear sus intereses con los de la sociedad. En esta línea hay dos elementos que parecen esenciales.

Por una parte, **una planificación energética apropiada que establezca adecuadamente los objetivos estratégicos que se persiguen, las ventajas e inconvenientes de los mismos, y las políticas para alcanzarlo**, dando a los agentes la información, restricciones y estímulos necesarios para que contribuyan a alcanzar los objetivos deseados.

En estos momentos resulta especialmente recomendable una

Reforma Fiscal Verde que permita desincentivar las fuentes energéticas no deseadas mediante señales de precio, pero que a la vez no suponga un aumento de la carga fiscal, al reducir otras cargas que pueden ser incluso distorsionantes, como las asociadas al mercado de trabajo.

Desgraciadamente, y por muchas razones, las señales de precio o la planificación no serán suficientes. Por una parte es necesario tener en cuenta la realidad de los mercados y la política; por otra, hace falta un desarrollo tecnológico aun elevado para las energías renovables, que las permitan competir en igualdad de condiciones. Por ello se requieren, además de las políticas citadas, otras que se encarguen de lograr este desarrollo, **bien apoyando las actividades de investigación y desarrollo para las tecnologías menos maduras**, con fondos públicos o creando un entorno favorable a la innovación y la iniciativa privada; **o creando economías de escala para las ya en fase pre-competitiva**.

Finalmente, es imprescindible imbricar todas estas políticas y sus interacciones en un marco institucional adecuado, tanto a nivel nacional como internacional. Las implicaciones de las políticas energéticas sobre unas economías cada vez más interconectadas hacen necesario un esfuerzo global de coordinación y armonización de políticas energéticas y ambientales. Por otra parte, también **es urgente un esfuerzo redoblado a nivel internacional que permita el acceso a fuentes avanzadas de energía a toda la población mundial, como factor clave para su desarrollo**. A nivel nacional, parece más que recomendable lograr un marco regulatorio consensuado a largo plazo,

que dé estabilidad a los inversores privados y a los consumidores, agentes fundamentales del cambio.

La conclusión principal de este informe es que el cambio hacia un modelo energético sostenible no sólo es deseable, sino también posible. Pero es necesario un cambio radical en la forma en que se produce y utiliza la energía, y esto sólo vendrá de un conjunto coherente de políticas públicas e iniciativas privadas, consensuadas a largo plazo por todas las fuerzas políticas en un proceso ampliamente compartido con la sociedad civil.

---

**Se trata, en definitiva, de alcanzar un gran acuerdo institucional, político y social para el cambio hacia un modelo energético sostenible a corto, medio y largo plazo. Y este informe pretende ser en una aportación a este proceso.**

**Como se decía al principio del documento, el objetivo ha sido tratar de reunir buena parte de las voces expertas en materia de energía y sostenibilidad en España, con el convencimiento de que la riqueza y la fuerza que proporciona esta unión de capacidades (que no mera yuxtaposición) compensa de sobra las pequeñas discrepancias conceptuales o estilísticas que se puedan identificar.**

**Porque sólo a través del debate plural, transparente, honesto y bien informado será posible alcanzar el tan necesario consenso en materia energética que necesita España para seguir avanzando en el bienestar de sus ciudadanos, sin comprometer los límites que impone nuestro finito y vulnerable planeta.**

---



06

**Tribunas de opinión**

# I. ¿LA ENERGÍA ES DELICIA ETERNA?



Licenciado en Matemáticas (UCM) y doctor en Ciencias Políticas (Universidad Autónoma de Barcelona), Jorge Riechmann es escritor y profesor de filosofía moral en la UAM. Milita en Ecologistas en Acción y en Izquierda Anticapitalista. Publicó recientemente el ensayo *La habitación de Pascal* (donde pueden encontrarse, ampliadas, reflexiones semejantes a las anteriores) y el poemario *Pablo Neruda* y una familia de lobos.

**Jorge Riechmann. Poeta, traductor literario, ensayista y profesor titular de filosofía moral en la Universidad Autónoma de Madrid.**

“La energía es delicia eterna”, escribía William Blake justo cuando estaba comenzando la época del capitalismo basado en hidrocarburos fósiles, una fase breve y extraña de la historia de la humanidad. Reparemos en que el genial poeta y dibujante inglés situaba su aserto entre las “Voces del Diablo” (dentro de *The Marriage of Heaven and Hell*): desde la atalaya que nos proporciona saber lo que venía después, uno barrunta que tal emplazamiento no debería considerarse en absoluto casualidad. Nos preguntaremos entonces: ¿en qué sentido cabe considerar la energía abundante una suerte de trampa demoníaca?

En el curso veraniego de la Universidad de Zaragoza “Desarrollo sostenible y cambio climático” (celebrado en Jaca del 21 al 23 de julio de 2008), el profesor Díaz Pineda —catedrático de ecología en la UCM, y comprometido con la causa conservacionista desde hace mucho— llamó la atención sobre la trascendencia potencial del trabajo del empresario y genetista Craig Venter en los últimos años. Existen ciertas bacterias (por ejemplo, algunas viven a una profundidad de 2.500 metros en el Océano Pacífico, en zonas de actividad volcánica en las que el agua está a 400° C) que obtienen su energía del dióxido de carbono y producen hidrógeno. “Domar” esta actividad bacteriana con herramientas de ingeniería genética

abriría quizá la puerta a un modelo energético basado en el hidrógeno (un importante vector energético) con vehículos eléctricos movidos gracias a pilas de combustible, por ejemplo; al mismo tiempo se podría “secuestrar” el exceso de dióxido de carbono en la atmósfera.

Una nueva promesa de cuerno tecnológico de la abundancia: ¿todo miel sobre hojuelas? Ante la perspectiva de esa posible abundancia energética el profesor Díaz Pineda añadió una reflexión que sólo sorprenderá a los irreflexivos: no estaba seguro de si esa potencial disponibilidad de hidrógeno abundante y barato sería una bendición, o más bien una maldición para la humanidad.

¿Así que semejante maná energético podría ser una trampa? En efecto, así es. Pensemos que las sociedades industriales del siglo XX enfermaron de exceso de petróleo barato, de manera análoga a como sus ciudadanos y ciudadanas enferman (con sobrepeso y las dolencias asociadas) de exceso de carne y de grasas animales. Si inyectamos un exceso de energía en un sistema complejo, éste será incapaz de asimilarla y acabará desorganizándose... Tal y como sugerían hace ya años James J. Kay y Eric Schneider, “los sistemas autoorganizados existen en situaciones

en las que consiguen suficiente energía, pero no demasiada. Si no consiguen suficiente energía de suficiente calidad (por debajo de un umbral mínimo), las estructuras organizadas no tienen base y no se da auto-organización. Si se suministra demasiada energía, el caos se adueña del sistema, pues la energía sobrepasa la capacidad disipativa de las estructuras y éstas se derrumban. De forma que los sistemas auto-organizados existen en el terreno intermedio entre lo suficiente y lo no demasiado.”

Es la misma dinámica de los sistemas complejos adaptativos la que conduce hacia la virtud de la suficiencia, hacia el término medio (entre la escasez de energía y su sobreconsumo): uno barrunta que Aristóteles se sentiría cómodo entre los modernos teóricos de sistemas complejos.

los restos, hemos sido incapaces de gestionar adecuadamente esa preciosa herencia fósil: una riqueza dilapidada que nos echó a perder. Recordemos la sabia admonición de Lewis Mumford en 1955: “Nos encontramos, pues, en uno de esos momentos en los que es útil recordar la sabiduría popular de los cuentos de hadas antes de que convirtamos el último regalo de la ciencia en un relato de horror. Cuando en esos relatos algún deseo humano profundamente arraigado se ve satisfecho por la magia, existe habitualmente alguna trampa fatal unida al regalo, trampa que bien hace que tal regalo actúe justo en sentido opuesto a lo esperado, bien le quita al receptor el beneficio prometido.”

Parecería que, como antes Blake, el urbanista y filósofo estadounidense nos está previniendo ante

---

## Los sistemas auto-organizados existen en el terreno intermedio entre lo suficiente y lo no demasiado

---

Como indicaba con lucidez Nicholas Georgescu-Roegen hace más de tres decenios, en el planeta Tierra (que es un sistema abierto en cuanto a energía, pero cerrado en lo que se refiere a los materiales), a largo plazo “la materia [y no la energía] puede convertirse verdaderamente en el motivo de escasez fundamental para la humanidad”. En un sistema complejo y cerrado en cuanto a los materiales, que contrarresta el constante incremento de entropía gracias a las fuerzas neguentrópicas de la vida basada en la luz solar y la fotosíntesis, desorganizar el sistema por la vía de inyectarle demasiada energía puede conducir al colapso.

Y tenemos un ejemplo reciente delante de nuestras narices. El petróleo abundante y barato, ese caramelo fósil a la puerta de un colegio, era un regalo envenenado: hoy podemos verlo con toda claridad. Estructuró la economía y la sociedad del siglo XX... con resultados que a la postre se han revelado desastrosos. Como el regalo excesivo que se entrega a un niño pequeño, y que lo malcría para

una tentación demoníaca... Digámoslo con la imagen que antes avanzábamos: para el aquejado de obesidad mórbida, descubrir un nuevo tipo de alimento riquísimo, con concentraciones todavía mayores de azúcares y grasas, no representa una bendición sino todo lo contrario. Como sociedad, el sobreconsumo de combustibles fósiles nos ha llevado a una situación análoga a la de ese enfermo. Carl Amery, el autor de ese libro clave que es *Auschwitz, ¿comienza el siglo XXI?* Hitler como precursor, también nos pone en guardia frente a tentaciones prometeicas: “Es fácil ver que la crisis de la biosfera es al mismo tiempo (y sobre todo) una crisis cultural. El modo en que tratamos al planeta al menos la agudiza y la acelera. El sector más ‘progresista’ de la humanidad aprueba un sistema económico (o se ve arrastrado por él) que contradice el principio básico de todos los sistemas vivos: la sintropía, es decir, el mejor aprovechamiento posible de la energía solar, que afluye constantemente a nuestro planeta. Este sistema económico es por tanto un aliado del desierto, y el estado final en el que desembocará

su actividad roturadora será un mundo hecho de desperdicios, basura y veneno. Ninguna atrevida charla sobre la innovación, la era de la comunicación o instancias similares podrá modificar un ápice este patrón básico de nuestra actividad económica.”

Cabe sospechar que cualquier fuente de energía barata y abundante supondrá una maldición encubierta, aunque ante nuestros ojos miopes aparezca de entrada como una bendición. Como en el caso de las conductas adictivas individuales, debemos renunciar a la gratificación inmediata en beneficio de nuestro verdadero interés a largo plazo.

Durante el siglo XX nos volvimos adictos a la energía barata. Pero la adicción –cualquier adicción–, aunque parezca un buen negocio a corto plazo, lo es pésimo a plazo medio y largo. Hemos construido una “civilización de alta energía” basada en un exuberante derroche de energía fósil; y de alguna forma nos autoengañamos pensando que se podría mantener siempre ese costoso tren de vida. Pero los hidrocarburos fósiles son un recurso finito que hemos derrochado a manos llenas, el “capitalismo fosilista” será un breve experimento en términos históricos, y ahora llega el momento de un despertar que puede ser dolorosísimo –si no somos capaces de encauzar una transición racional hacia otro sistema energético y económico en tiempo récord–.

“Climatizar” es un verbo interesante. Tratamos de conseguir temperaturas de confort para nuestros cuerpos desacostumbrados a las penalidades, empleando ingentes cantidades de energía para calentar o enfriar espacios cada vez más amplios (hasta llegar a las aberrantes situaciones de las pistas de esquí en medio del desierto, como en Dubai, ese emirato árabe donde proliferan empresas con nombres del tipo Limitless World). Pero tratando de climatizar nuestras vidas estamos desclimatizando el mundo. Y las consecuencias que barruntamos son espeluznantes...

El triunfo cultural profundo del capitalismo consiste en hacer creer que la libertad es la libertad de consumo –en vez de la libertad política de los ciudadanos y ciudadanas capaces de

autogobernarse. Para realizar la necesaria transición racional hacia otra sociedad, una que no haga la guerra a la naturaleza, necesitamos mucho más de la segunda libertad –y tendremos que poner algunas trabas a la primera.

## 2. CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍAS RENOVABLES: NO ESPEREMOS AL FUTURO



Licenciado en Ciencias Físicas, José Luis García Ortega trabaja desde 1991 en Greenpeace España, en el área de Energía, como responsable de las campañas de Atmósfera y Energía, Cambio Climático y Energía, Energía Limpia y Proyectos. Ha sido miembro de la delegación de Greenpeace en conferencias de las partes del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y del IPCC. Es miembro del Consejo Nacional del Clima y de su Comisión Permanente, así como del Consejo Consultivo de Electricidad de la Comisión Nacional de la Energía.

**José Luis García Ortega. Responsable Proyectos Energía Limpia de Greenpeace España**



Mar Asunción es licenciada en Biología, Master en Ordenación del Territorio y en Coaching. Hace más de 20 años que trabaja en WWF desde donde ha impulsado la creación de Coalición Clima para aunar esfuerzos y establecer sinergias en la lucha contra el cambio climático. Es miembro del Consejo Nacional del Clima, y desde 2004 participa en las Cumbres de Naciones Unidas de Cambio Climático.

**Mar Asunción. Responsable del Programa de Cambio Climático de WWF España**

El mayor reto al que se enfrenta el mundo a principios del siglo XXI es la amenaza que supone el cambio climático provocado por el aumento de la temperatura media global. El cambio climático ya está aquí, pero la intensidad de este cambio y los impactos que produzca dependerá de las actuaciones que hoy emprendamos para controlar y disminuir las emisiones de efecto invernadero.

El cambio climático y la producción y consumo de energía procedente de combustibles fósiles están estrechamente relacionados, de manera que para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, principal gas causante del problema, es necesario cambiar el modelo energético. Combatir el cambio climá-

tico requiere una transformación hacia un modelo de desarrollo sostenible basado en la eficiencia y en la equidad, así como en la apuesta decidida por las energías renovables. No es sencillo, se requiere un cambio tecnológico y sociológico así como de una voluntad política decidida, pero la inercia de continuar haciendo lo mismo es insostenible.

El cambio climático es un desafío, pero puede ser una oportunidad para abordar un verdadero desarrollo sostenible. Las medidas de ahorro y eficiencia, así como las energías renovables, favorecen un desarrollo autóctono y disminuyen la dependencia exterior, además de crear empleo de calidad.

Además, es imprescindible el flujo financiero y la transferencia tecnológica de los países industrializados a los países en desarrollo para que no tengan que desarrollarse basándose en energías agresivas contra el medio ambiente.

### ES URGENTE ACTUAR

La comunidad científica advierte de que es muy importante que no se supere en este siglo el umbral de aumento de temperatura global de 2°C respecto a los niveles preindustriales. Para ello la concentración de CO<sub>2</sub> eq. deberá permanecer por debajo de 450 ppm. Esto supone que los países desarrollados tendrán que reducir sus emisiones entre el 25-40% para 2020, y el 80% para 2050, respecto a 1990.

Además, existe una inercia en la permanencia de las emisiones en la atmósfera, lo cual implica que para asegurar no traspasar el peligroso umbral de los 2°C, las emisiones mundiales se deberán estabilizar y comenzar a disminuir en los próximos 5 años.

Combatir el cambio climático es responsabilidad compartida pero diferenciada. Los países industrializados, con su modelo de desarrollo basado en un elevado consumo de energía fundamentalmente procedente de combustibles fósiles, son los que más han contribuido históricamente a elevar las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y además son los que disponen de los recursos financieros y las tecnologías para hacer la transición hacia un modelo energético sostenible basado en el ahorro y la eficiencia energética, así como en las energías renovables. Los países en desarrollo, especialmente los de rápido crecimiento como son China, India y Brasil, están aumentando su consumo total de energía aceleradamente, aunque su consumo energético y sus emisiones per cápita son todavía muy inferiores a las de países industrializados. Estos países demandan cada vez más energía, así como los 2000 millones de personas que todavía no tienen acceso a la electricidad, y corresponde a los países industrializados facilitarles apoyo y tecnologías limpias para conseguirla.

En la actualidad gran parte de la población asocia "calidad de vida" con un "alto nivel de consumo", tanto de energía como de productos. Para combatir

el cambio climático es necesario desacoplar estos parámetros. La Tierra nos da señales de que no podemos continuar con este modelo. Si no escuchamos los síntomas y actuamos en consecuencia, sufriremos las consecuencias. Todavía estamos a tiempo, pero es necesario estar dispuestos a cambiar.

### REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

El problema del cambio climático exige una [R]evolución Energética, una transformación que ya ha comenzado. Sin embargo, aún es necesario cambiar el modo en que producimos, distribuimos y consumimos la energía. Los cinco elementos de este cambio son:

- Implementar soluciones renovables, sobre todo mediante la descentralización de los sistemas energéticos.
- Respetar los límites naturales del medio ambiente.
- Eliminar progresivamente las fuentes de energía sucias e insostenibles.
- Promover la equidad en el uso de los recursos.
- Desligar el crecimiento económico del consumo de combustibles fósiles.

Descentralizar los sistemas energéticos, es decir, producir la electricidad y el calor cerca del lugar de consumo, evitará las actuales pérdidas de energía durante la conversión y su distribución. Es esencial la inversión en "infraestructuras climáticas" como redes inteligentes interactivas, superredes capaces de transportar grandes cantidades de energía procedente de los parques eólicos marinos y de centrales de energía solar térmica, y grupos de microrredes renovables para aquellos que viven en lugares remotos.

Hoy en día las fuentes de energía renovable cubren el 13% de la demanda mundial de energía primaria. La biomasa, que se utiliza principalmente para calefacción, es la fuente principal. Las energías renovables suponen el 18% de la generación eléctrica, mientras que su aportación al suministro de

calor supone un 24%, en gran parte debido a los usos tradicionales como la recolecta de leña. Alrededor del 80% del suministro de energía primaria viene de los combustibles fósiles. Para que el suministro de energía sea sostenible se necesitan las siguientes medidas:

1. Aprovechar el gran potencial de la eficiencia energética para garantizar que la demanda de energía final aumente sólo ligeramente. Esta enorme reducción, respecto al gran incremento de consumo que se produciría si no hacemos nada por evitarlo, es importante para ayudar a que las fuentes de energía renovable aporten un porcentaje significativo al total del sistema de suministro energético mundial y así compensar la necesaria desaparición progresiva de la energía nuclear y poder reducir el consumo de combustibles fósiles.
2. Dar un papel mucho más importante a la electricidad en el sector del transporte y al hidrógeno producido por la electrólisis derivada del excedente de la electricidad renovable. Tendrá que haber más sistemas de transporte público que utilicen electricidad; el transporte de mercancías también debe ir pasando de la carretera al ferrocarril.
3. Incrementar la generación combinada de calor y electricidad (cogeneración) para mejorar la eficiencia de la conversión de energía, usando gas natural y biomasa. A largo plazo, sin embargo, el papel de la cogeneración será más limitado, debido al descenso en la demanda de calor que se lograría con usos más eficientes y al gran potencial para producir calor directamente de las fuentes de energía renovable.
4. Mantener el papel pionero del sector eléctrico en el uso de energía renovable. Para 2050, alrededor del 95% de la electricidad mundial puede venir de fuentes renovables. Un porcentaje importante de la generación de energía fluctuante procedente de la eólica y solar fotovoltaica se utilizará para dar electricidad a las baterías de los vehículos y producir hidrógeno como combustible secundario para el transporte y la industria. Las estrategias de gestión de carga y gestión de la demanda servirán para equilibrar la energía disponible.
5. Ir reemplazando, en el sector de suministro de calor, los combustibles fósiles por tecnologías modernas

más eficientes, especialmente por la biomasa, captadores solares y geotérmica. La energía geotérmica y la energía solar de concentración en el cinturón solar del planeta tendrán un papel cada vez mayor en la producción industrial de calor.

6. Hacer realidad el gran potencial del sector transporte para ser más eficiente, mediante el cambio de carretera a raíl y el uso de vehículos mucho más ligeros y pequeños. Dado que la biomasa se utilizará principalmente para instalaciones fijas, la producción de biocombustibles dependerá de la disponibilidad de materia prima sostenible. A partir de 2020 el papel de los vehículos eléctricos propulsados por fuentes de energía renovable será cada vez mayor.

Con todo ello, para el 2050, el 80% de la demanda de energía primaria mundial se cubrirá con fuentes energéticas renovables.

Además del imperativo ambiental, la revolución energética basada en las renovables conlleva muy importantes beneficios sociales y económicos. De este modo, podemos disponer de energía a menor coste, con más empleo y menos emisiones. En cuanto al coste, la energía renovable no tiene costes de combustible, por lo que los ahorros financieros totales que se obtendrían en costes de combustible serían mucho mayores que la inversión adicional que se requeriría. Estas inversiones se pueden evaluar en una cantidad igual a la actual de subvenciones pagadas a los combustibles fósiles globalmente en tres años. Las fuentes de energía renovable producirán electricidad sin costes adicionales en combustible a partir de 2030, mientras que los costes del carbón y del gas seguirán siendo una pesada carga para las economías nacionales. En cuanto al empleo, se crearán un 33% más de empleos en el sector eléctrico de los que se crearán si seguimos como hasta ahora. Y en cuanto al CO<sub>2</sub>, las emisiones mundiales gracias a la [R]evolución Energética alcanzarían su cénit en 2015 y caerían a partir de entonces. Comparadas con 1990, las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuirán más del 80% para 2050 si el suministro energético se basa casi completamente en energías renovables.

Un futuro energético sostenible es posible, y es necesario para evitar los peores efectos del cambio climático. Pero hace falta voluntad política. Esperar no es una opción.

### 3. LA ENERGÍA FUENTE DE EMPLEO



Con una amplia trayectoria sindical en el sector del metal, Llorenç Serrano ha desempeñado distintas responsabilidades sindicales desde los años 90, entre ellas la Secretaría de Políticas Sociales en CCOO de Catalunya. Es miembro del Consejo Asesor de Medio Ambiente del MARM, vicepresidente del patronato de Fundación ISTAS-CCOO y miembro del Consejo Rector de la "Cátedra Universidad Empresa Sindicato: Trabajo Ambiente y Salud" de la Universidad Politécnica de Madrid.

**Llorenç Serrano i Giménez. Secretario de Medio Ambiente de la Confederación Sindical de CCOO**



Licenciada en Derecho y Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales, Isabel Navarro inició su trayectoria en UGT, en 1998, en la Federación de Trabajadores de la Tierra en Albacete. Después de ocupar distintos cargos en la Federación Agroalimentaria en 2009 fue elegida Secretaria de Cambio Climático y Medio Ambiente, puesto que desempeña en estos momentos.

**Isabel María Navarro Navarro. Secretaria de Cambio Climático y Medio Ambiente**

Es un hecho indiscutido que para mitigar en lo posible los efectos del calentamiento global debemos actuar en el sector energético. En España, a los argumentos ambientales para hacerlo se suma la necesidad de reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Estos suponen el riesgo de precio volátil, disponibilidad futura incierta, son causa de una transferencia de renta al exterior importantísima y, además, está la cuestión de seguridad del suministro. En este proceso tenemos también la oportunidad de poner en pie un sector industrial propio con capacidad de liderazgo mundial. Tanto los argumentos ambientales como los economicistas nos empujan hacia el objetivo de una economía baja en carbono. Las sociedades que se pongan en cabeza

de ese camino se aprovecharán de las oportunidades que ello supone y minimizarán los riesgos del cambio.

La experiencia demuestra que en los sectores donde se han tomado medidas –obligaciones y estímulos– se han conseguido reducción de emisiones y ahorro de energía. Ha sido así en el sector de generación eléctrica y en el industrial que tienen, todavía, trecho que recorrer. En cambio, los sectores domiciliario y del transporte, no cambian su negativa tendencia, en coincidencia con el hecho de que no se han adoptado políticas ambiciosas y contundentes para ello. Tenemos pues, necesidad de políticas fuertes a largo plazo y previsibles, especialmente en el campo energético,

donde los proyectos –tanto públicos como privados- necesitan de largos plazos de maduración y de importantes recursos económicos.

La actual crisis económica ha puesto la cuestión energética sobre la mesa. Ha acelerado fenómenos que, pese a que previsibles, no hemos atendido adecuadamente. Así, podemos concluir que ha terminado la era en que nuestra demanda energética crecía sin parar. Cuando se produzca la recuperación económica es de esperar –y deseable- que España contenga su demanda energética como resultado combinado de medidas de ahorro y eficiencia y por la sustitución del patrón de desarrollo intensivo en energía y recursos por otro basado en conocimiento y servicios de calidad. Los distintos escenarios así lo prevén, incluso los menos intensivos en ahorro y eficiencia y los de expectativas demográficas más altas. La contracción de la demanda producto de la crisis, no ha hecho sino acelerar el momento en que se hace evidente que nuestro parque de generación eléctrica comporta que muchas plantas estén produciendo por debajo de la actividad para que fueron concebidas. Es este un fenómeno reciente, y ha tenido consecuencias evidentes en el grado de crispación con que se ha defendido el uso de determinadas tecnologías respecto a otras.

La crisis, y el debate surgido del fenómeno descrito anteriormente, también han puesto en primer lugar de nuestras preocupaciones el precio de la energía. Evidentemente, el precio de la energía –y de la electricidad- es una variable a contemplar cuando se trata de uno de los costes más importantes en sectores industriales sometidos a una dura competencia exterior. Sin embargo, es de lamentar que se haya conducido este debate como si la única variable ajustable en la formación de la tarifa eléctrica fuese la remuneración de las renovables. Ello conlleva implícitamente –y en ocasiones de forma explícita- a responsabilizarlas de este mayor costo. Añádase a ello la generalización a todo el sector de los comportamientos especulativos e ilegales que se han dado y tenemos un estado de opinión que corre el riesgo de estrangular un sector determinante para nuestras mejores expectativas de futuro.

Esta visión reduccionista e interesada es doblemente negativa, por injusta y porque oculta ele-

mentos relevantes de nuestra realidad energética sobre los que deberíamos actuar y no lo hacemos.

En primer lugar el sector transporte. Un sector que ya es el primero en emisiones en España. El más dependiente de los combustibles fósiles. Nuestra política de transporte no puede limitarse a procurar la electrificación del transporte por carretera. Ahorro y eficiencia en transporte no es contar con motores más eficientes y vehículos más ligeros. Para ello, debemos reducir la movilidad innecesaria realizada con vehículo privado, es decir potenciar el transporte público, colectivo, compartido y los modos ecomovibles. Y también es necesario el reequilibrio modal del transporte de mercancías y personas entre carretera y ferrocarril. Es entonces cuando la electrificación de las motorizaciones dará sus mejores frutos. Siendo una cuestión relevante cómo generaremos la electricidad demanda.

Quizá en el aumento de la demanda eléctrica que suponga la electrificación del transporte, encontraremos la tregua para el agitado mix eléctrico español. Hacerlo requiere de políticas integradas a todos los niveles que no se están tomando con la diligencia y visión requeridas.

En segundo lugar, un debate circunscrito al precio de la tarifa eléctrica relega a un segundo plano los riesgos a largo plazo que nuestro actual modelo energético supone. Corremos el riesgo de pagar en el futuro las consecuencias de ello. En política energética errar sobre la adecuada jerarquía de cada cuestión puede sernos fatal. En nuestra opinión, esta claro que en el largo plazo debemos abastecernos de fuentes de energías limpias y autóctonas. Así cumpliremos los compromisos globales que tarde o temprano se adoptaran, eliminaremos incertidumbres y mejoraremos nuestra cuenta exterior. Si tenemos posibilidades de hacerlo poniendo en pie un tejido industrial propio, exportador de bienes de equipo y conocimiento debemos aprovechar la oportunidad. Debemos ahondar en aquellas tecnologías más fáciles de desarrollar en nuestro país y de extender al resto del mundo. Ello no debe hacerse a cualquier precio. Ese horizonte plantea hoy cuestiones a resolver, no muy distintas de las que –aún cuando se decía que no era posible- hemos superado. Para hacerlo necesitamos una agenda integrada con

objetivos y medidas muy diversas dirigidos a tal fin. Si tenemos esa visión seremos capaces de encontrar los ritmos adecuados y conjugar los intereses diversos y legítimos.

Creemos que el nuestro no es un punto de vista voluntarista. Conocemos los problemas que se dan en la realidad, somos conscientes de que los consumidores españoles hemos pagado la maduración de la energía eólica y fotovoltaica junto a los de unos pocos países. Pero quienes lo hemos hecho hemos conseguido una posición de ventaja, también resultados en empleo, que han valido la pena. Ese esfuerzo no se puede lanzar ahora por la borda, ni tan siquiera frenarse porque la ventaja conseguida se volatilizaría. Por supuesto estamos contra toda especulación o ilegalidad, creemos que la remuneración a las renovables debe atender a su maduración e incentivar la permanente mejora de los rendimientos. Pensamos que quizá deben fijarse "cupos" para poder prever el monto de las primas a medio y largo plazo, que quizá debemos pensar en fórmulas de apoyo que no recaigan sólo en la tarifa. Pero el sector necesita todavía en sus fases de investigación, desarrollo, fabricación y generación un mercado propio para seguir desarrollándose. Se ha dado una "arrancada de caballo y parada de burro" con funestos resultados para el empleo y las expectativas del sector. Las dificultades achacables a la crisis financieras son una parte de las razones, otra se debe a políticas que no han estado a la altura, en todas las administraciones ha habido muestras de ello.

Y con el resto del sector eléctrico, ¿qué? Pues, aunque suene duro decirlo, un papel subsidiario. Una subsidiariedad, empero, hoy por hoy y por mucho tiempo imprescindible. Debemos asumir que el desarrollo futuro de las renovables no será como añadido a nuestro parque de generación sino desplazando a otras tecnologías, lo que nos llevará a reformar la remuneración y establecimiento de precios en el mercado eléctrico. Debemos investigar para que las tecnologías "sucias" lo sean menos, aun a riesgo de que la evolución de las renovables deje sin sentido estos esfuerzos. Debemos poner en cuestión la conformación del precio de la energía. Si se trata de precio, ¿por qué remuneramos igual todas las tecnologías y no el precio del coste de generación de cada kilowatio? Pongamos en cuestión todo, no sólo las

primas a las renovables. Ciertamente es que las centrales térmicas –que actúan como respaldo de las renovables– funcionan menos horas de las previstas y con intermitencias que acrecientan su desgaste, quizá debemos remunerarlas por estar, no por producir, ¿pero, entonces, deberán los poderes públicos fijar cuántas plantas, dónde y de qué potencia? Depende de nuestra capacidad de acumulación, pero ¿cuándo llegará a ser incompatible la rigidez de las centrales nucleares con la variabilidad de las renovables? Ninguno de estos interrogantes tiene una respuesta unívoca. Resolver bien muchas cuestiones nos permitirá alejar el punto en que las complementariedades de las que venimos acaban siendo incompatibilidades. Aún así, todo lo que hagamos debemos hacerlo sabiendo que ese momento llegará. Estas y otras cuestiones demandan un debate amplio, transparente y con participación social más allá de los intereses legítimos –frecuentemente contrapuestos– de las empresas y subsectores de la energía. Necesitamos una visión a largo plazo, social y políticamente compartida, pero que debe ser consecuente con los compromisos ya adquiridos y con lo que la comunidad científica nos demanda a los países desarrollados.

Sin esa visión a largo plazo, los más vulnerables sufrirán: la gente trabajadora y los territorios sin alternativas. El sindicalismo internacional defiende la inclusión del concepto de "transición justa" en las conversaciones sobre cambio climático. También es de aplicación para nuestra política energética. El camino a una economía baja en carbono está lleno de oportunidades para generar empleo, pero también habrá sectores que lo perderán. No es suficiente que el resultado neto sea positivo, deben crearse condiciones para que los nuevos empleos lo sean de calidad y para que las personas que trabajan en sectores que decaerán puedan transitar a las nuevas actividades sin merma de derechos. Debemos desarrollar políticas para el cambio, con recursos surgidos del actual sistema eléctrico, de los combustibles fósiles y otros recursos públicos y privados que podamos movilizar. Políticas a largo plazo que no se limiten a ser una reestructuración del empleo con el cierre en el horizonte. Ello es imprescindible para vencer resistencia y legítimos temores, para que el cambio de modelo productivo comporte apoyo social. Su más potente motor.

## 4. LA CIUDAD DESPILFARRADORA O LA CIUDAD SATISFACTORA. LA NECESIDAD DE UN PLAN PARA NUESTRAS CIUDADES



Doctor arquitecto por la UPM, coordina el Master Oficial en Planeamiento Urbano y Territorial de la UPM. Es miembro del consejo asesor de la revista URBAN, del consejo director de la biblioteca "Ciudades para un futuro más sostenible", del comité director de los Cuadernos de Investigación Urbanística del Instituto Juan de Herrera, fundador de la "Iniciativa para una Arquitectura y Urbanismo más Sostenibles" (IAU+S), representante de la UPM en GBC España y miembro del comité científico de ASA (Asociación Sostenibilidad en la Arquitectura).

**Agustín Hernández Aja. Director del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAM) de Universidad Politécnica de Madrid (UPM)**

La necesidad de un cambio en el actual modelo de producción y consumo llama a las puertas de nuestras ciudades, mientras éstas, ajenas a ello, continúan gastando como en el pasado. En los últimos años no se ha producido un solo cambio sensible en el comportamiento de las ciudades y sus ciudadanos. Revestidas del modelo de la ilusión de la fiesta continua basan toda su esperanza en una pronta recuperación económica y ésta en la sustitución del modelo productivo clásico por el comercio y el turismo. Una ciudad ha de ser divertida, bulliciosa, brillante, abierta a cientos de miles de visitantes, se trata de crear una ciudad para los otros no para sus ciudadanos.

Esta ciudad resulta ser un gran depredador de recursos, este consumo hace mucho tiempo que ha dejado de satisfacer las necesidades de sus habitantes, sometidos a un continuo estrés, abrumados por la oferta continua de productos e informaciones, obligados a moverse constantemente (al trabajo, al ocio, a sus vacaciones), consumiendo un tiempo que podrían utilizar para cualquier otra cosa. Debemos reconocer que ya no existe relación entre el incremento del consumo de energía y recursos y la mejora en la satisfacción de nuestras necesidades.

Para el mantenimiento de la organización social (cultural, económica y productiva) de la especie humana solo contamos con administrar de la mejor manera posible la capacidad de reciclaje que realiza la biosfera, con aprovechar como fuente de energía los excedentes de la energía del sol (ya sea en forma de energía solar directa o indirecta como el viento), y con el consumo cuidadoso de los recursos no renovables contenidos en la corteza terrestre, que deberíamos de administrar como lo que son, rarezas relativas que cada vez costará más obtener.

La previsión de una crisis de recursos, no es una novedad ni un secreto conocido solo por unos pocos, es una realidad explicitada desde hace mucho tiempo y que desde los años 70 aparece en las agendas de los organismos internacionales. Es cierto que entre los años 70 y 90, la crisis desapareció de nuestros ojos gracias a la capacidad del sistema tecno-industrial de simular prosperidad allí donde solo había sobreexplotación gracias a la utilización de gigantescas cantidades de energía. Nos hemos comportado como si en medio de un desierto encontrásemos un pozo y lo que se nos hubiese ocurrido fuese convertir el desierto en una playa sin considerar siquiera de cuánta agua disponíamos.

En los últimos años la certeza de la escasez ha llevado a las grandes empresas (en especial a las petroleras) a diseñar una estrategia post-petróleo estableciendo escenarios de futuro y cambio de negocio, sin que en paralelo nuestras ciudades hayan hecho lo mismo. Porque, ¿cuáles son los planes de nuestras ciudades? Los planes son continuar con la estrategia del crecimiento, tanto en población (si no crecemos seremos pobres y débiles) como en Producto Interior Bruto (que tiene una relación directa con el consumo de recursos no renovables). Si centramos nuestra vista en las ciudades españolas, podemos ver que sus Planes Generales de Ordenación Urbana y, en el caso que existan, sus Planes Estratégicos, cifran toda su esperanza en diseñar (aún ahora) nuevos crecimientos en lugares cada vez más alejados de la ciudad consolidada, sobre localizaciones que tienen indudables valores ambientales y ecológicos (que quedarán así degradados), todo ello al servicio de un modelo de movilidad creciente basado en la creación de nuevas infraestructuras que dividen y fragmentan el territorio y debilitan la base ecológica.

Las ciudades españolas hace tiempo que han abandonado la ordenación de lo local y de definir las relaciones con sus espacios próximos con el fin de reducir los costos de su funcionamiento. En estos momentos todos sus esfuerzos se dirigen de manera acrítica a poner sus espacios, sus edificios, sus calles y territorios a disposición de las demandas de los agentes externos. Las ciudades centran su futura prosperidad en vender viviendas para inversión, en atraer turistas, en diseñar espacios para “nuevas” actividades (sin definir la sustancia de lo nuevo), en un marco de finanzas municipales debilitadas, en el que los tejidos productivos se van deshaciendo poco a poco sin que aparentemente nadie se preocupe de ello. Determinan que el proyecto no es atender a las necesidades de la mayoría de su población sino la apuesta por el mantenimiento y atracción (aunque solo sea en el corto plazo de la estancia turística) de los grupos de rentas más altas. Este proyecto hace que todos los recursos se dirijan a operaciones sofisticadas o de gran intensidad de recursos, aun a costa de reducir los presupuestos en las políticas sociales y en la conservación y mejora de la ciudad consolidada. Prueba de ello es el incremento de Barrios Vulnerables en las ciudades españolas; según los datos provisionales del Observatorio de la

Vulnerabilidad del Ministerio de Vivienda (en colaboración con el Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio de la Universidad Politécnica de Madrid), el número de barrios vulnerables (en ciudades de más de 50.000 habitantes y capitales de provincia) fruto de la explotación de los datos del Censo de 1991 era de 376, mientras que el análisis del Censo de 2001 afloraba 627, lo que supone que una década de planificación urbanística e inversiones públicas empeoró las condiciones relativas al interior de la ciudad existente. ¿Qué habrá ocurrido 10 años después, en los que la producción de nuevas viviendas y la creación de nuevas infraestructuras ha multiplicado las de la década anterior?

¿Para qué hemos diseñado las ciudades? Parece que para consolidar un modelo de desigualdad, gracias a una planificación que ha dedicado todos sus recursos a consolidar una ciudad despilfarradora e insostenible, que no parece preparada para afrontar sin trauma una transición a un modelo de menor disponibilidad de recursos y energía. Necesitamos un Plan, un plan en todas sus dimensiones, la social, la ambiental y la de la Ordenación Urbanística. Un Plan que nos presente los escenarios posibles, que establezca los límites de nuestras acciones y establezca puntos de control para revisar las políticas y proyectos en curso. El tiempo de la intervención mediante instrumentos sectoriales como las Agendas 21, las Auditorías Ambientales, la Evaluación Ambiental o los Sistemas de Calificación (energética o de sostenibilidad) ha pasado; estas herramientas no pueden por sí solas prepararnos para enfrentarnos al cambio, son herramientas contextuales que se limitan a proponer o calificar las mejoras en un marco de consumos crecientes; nos ayudan, por ejemplo, a determinar qué vivienda o qué coche tienen un mejor consumo relativo de energía y/o materiales frente a la solución tipo, pero no son un marco crítico de referencia externo al propio sistema que evalúan, no se involucran en determinar qué hace falta y cuanto podemos gastar en ello. Todas las herramientas serán bienvenidas cuando tengamos un proyecto distinto al proyecto del crecimiento continuo, cuando dispongamos de un Plan que priorice la resolución de las necesidades de los ciudadanos frente al incremento de los pseudosatisfactores que dicen resolverlas, un plan que nos fije objetivos y construya una red de relaciones con los espacios de los que las ciudades obtenemos los

recursos (ya sea cerca o en otro continente), que busque que la ciudad produzca una parte significativa de los medios para satisfacer sus necesidades sin recurrir a degradar otros espacios.

Un nuevo modelo, el Plan de Ciudad Satisfactora, que aúne las dimensiones de Ordenación Urbana, Gestión Ambiental, Gestión Económica y Gobernanza, superando las divisiones sectoriales por las que ahora se rige la gestión y desarrollo de las ciudades, por un mecanismo de interrelación de dimensiones, de forma que ninguna actuación sea sectorial sino que se vea obligada a determinar su

en la concepción del futuro (no es posible pensar en recursos indefinidos), tanto en lo político como en lo social. En lo político porque implica una reestructuración de los actuales sistemas de planificación y gestión, obligándolos a una apertura intersectorial. En lo social, porque los ciudadanos tienen que recuperar su condición, dejar de considerarse consumidores para considerarse habitantes de un espacio concreto, en el que deben participar en su transformación y adecuación. El nuevo plan tiene que considerar la ciudad como un meta-satisfactor suma de multitud de satisfactores distintos (positivos o negativos,

---

## **En los últimos años las grandes empresas han diseñado una estrategia post-petróleo, estableciendo escenarios de futuro y cambio de negocio, sin que en paralelo nuestras ciudades hayan hecho lo mismo**

---

impacto o influencia en al menos otra. Un modelo basado en la resolución de necesidades de la forma más eficaz y sencilla posible, en la que se evalúe la repercusión de cada solución sobre el resto de necesidades y sectores. La ciudad necesita reconvertirse, añadir a las funciones sociales, culturales y económicas, que la permitieron sobrevivir y aparecer como un espacio de libertad y de creación, la dimensión ecológica, pero no como dimensiones independientes. Hay que romper la idea de que si cada sector busca el óptimo tendremos la mejor ciudad posible, estamos comprobando como la búsqueda de un óptimo (en estos últimos tiempos el monetario) no solo no garantiza el mejor resultado posible sino que degrada las condiciones para la reversión de los problemas generados. Sólo es posible conseguir la Ciudad Satisfactora si se articulan las distintas dimensiones en un solo plan, de forma que podamos prever las interrelaciones de un sector con otro y realizar un seguimiento adecuado de la implantación de planes y proyectos.

El Plan de la Ciudad Satisfactora, tiene que conservar las dimensiones social, ambiental y de participación de los individuos, requiere de un cambio tanto

deconstructores o sinérgicos) y que su misión es la de ordenar su despliegue y desarrollo, promocionando el desarrollo de los positivos y reduciendo el campo de los negativos, pero sabiendo que constantemente se están creando nuevas maneras de resolver las necesidades.

Hasta ahora nos hemos dotado de una planificación basada en la concepción del ciudadano como consumidor, cuyo objetivo ha sido la producción de plusvalías, que ha disociado Ordenación del Territorio y Ordenación Urbana, que sólo ha protegido el territorio por sus valores demostrables y que se ha centrado en el Crecimiento. Necesitamos revertir esa visión, considerando al ciudadano como actor de la construcción urbana, desmonetizando la actividad de la planificación que tiene que buscar la creación de satisfactores independientemente de su condición económica, internalizando la Huella Ecológica de la ciudad, incluyendo la visión de los ciclos ecológicos (protegiendo los sistemas y no los elementos singulares), para centrarse en la rehabilitación de la ciudad existente, considerada esta como la mejor fuente de recursos y con la mayor capacidad de satisfacer el mayor número de nuestras necesidades.

## 5. NO PODEMOS ESPERAR



Licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Madrid, realizó estudios de Alta Dirección en el IESE Business School. Entre 1998 y 2004, desempeñó los cargos de Directora General del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y de Directora General de Política Energética y Minas. Inició su carrera profesional en ACCIONA en noviembre de 2005, como Directora General de Análisis Estratégico e I+D. En 2008, ocupó el cargo de Directora General de Recursos Corporativos, representando a la compañía como Consejera de ENDESA. Desde diciembre de 2008, es Presidenta de la Fundación ACCIONA Microenergía, y desde enero de 2010, Presidenta de ACCIONA Energía, S.A.

**Carmen Becerril Martínez. Presidenta de Acciona Energía, S.A.**

Un reto clave para el mundo en que vivimos –hay en ello una coincidencia bastante generalizada– va a ser el de transformar nuestro modelo de crecimiento hacia una economía del desarrollo sostenible, capaz de hacer compatibles el progreso económico, el bienestar social y el equilibrio medioambiental. Transformación ésta de enorme alcance y significado, en la que un vector clave será la evolución del sistema energético global fundamentado en combustibles fósiles hacia otro basado en tecnologías bajas en carbono.

Esta visión estratégica –ineludible si queremos que la sostenibilidad sea una palabra con contenido– coexiste sin embargo en el corto plazo con la necesidad de dar respuestas inmediatas a los graves problemas derivados de la crisis económica. Y no son pocos los que, en tal coyuntura, prefieren aparcar las visiones a largo plazo, por entender que ya llegarán tiempos mejores, y optan por centrarse en lo inmediato, en la creencia de que el estancamiento económico nos concede plazos adicionales para hacer lo que debemos hacer.

Me parece un error. La actual crisis no debe ni puede ser, a mi juicio, un paréntesis en la lucha

contra el cambio climático, sino una oportunidad de concentrar nuestros esfuerzos en el desarrollo de tecnologías energéticas que permitan avanzar hacia el modelo sostenible que el mundo necesita.

Por si alguien cree que esperar es una opción acertada, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que cada año perdido en reconducir las emisiones de efecto invernadero por la senda de la estabilización climática eleva la inversión necesaria en 500.000 millones de dólares: “un retraso de unos pocos años convertiría probablemente en inalcanzable dicho objetivo”, precisa.

Y para quien argumente que el problema es la supuesta inmadurez de las nuevas tecnologías energéticas, el Nobel de Economía Paul Krugman, lo dice con rotundidad: “sabemos cómo limitar las emisiones de gases de efecto invernadero, tenemos un buen conocimiento de los costes y son asumibles. Todo lo que necesitamos ahora es la voluntad política”.

### LA ENCRUCIJADA ENERGÉTICA

Es cierto que el consumo energético mundial cayó en 2009 por primera vez desde 1981, pero las proyecciones de la AIE pronostican que aumentará un 40% en los próximos 20 años -en especial por el crecimiento de la demanda en los países emergentes y el incremento de la población- y que, si no hacemos nada, dos tercios de dicho crecimiento serán cubiertos con combustibles fósiles. Ello disparará las emisiones de CO<sub>2</sub> un 39,6% y elevará la temperatura media global en unos 6 grados centígrados, con consecuencias probablemente irreparables para el planeta.

Conviene no olvidar tampoco que la amenaza que supone un petróleo caro para la seguridad del suministro energético será de nuevo una realidad en cuanto la crisis empiece a remitir. La reducción de la inver-

planeta; que libere al mundo de las tensiones geoestratégicas motivadas por la desigual distribución geográfica de los limitados recursos fósiles; que contribuya a disminuir la dependencia de las importaciones energéticas y a mejorar, por tanto, la seguridad del suministro; que cree empleo de calidad, y que lo haga de manera económicamente eficiente.

Y en este aspecto voy a insistir porque es aquel en el que los críticos con las energías limpias encuentran más adeptos. De entrada, todas las tecnologías renovables, sin excepción, se hallan en un claro proceso de reducción de costes. Por el contrario, las tecnologías fósiles -coyunturas al margen- se sitúan en una tendencia de costes al alza, propiciada por el agotamiento de los recursos y por el proceso -más o menos rápido, pero imparable- de poner precio al carbono, es decir, de internalizar el coste de emitir CO<sub>2</sub>.

---

## Todas las tecnologías renovables se hallan en un claro proceso de reducción de costes. Por el contrario, las tecnologías fósiles se sitúan en una tendencia de costes al alza.

---

sión en el sector petrolífero y gasístico motivada por el estancamiento económico -unos 90.000 millones de dólares sólo en 2009- puede limitar en el futuro la oferta de productos energéticos y agregar un elemento más para tensionar al alza los precios.

No hay, por supuesto, soluciones fáciles para la actual encrucijada energética y es preciso tener en cuenta todas las variables. Pero si de algo estoy convencida es de que las energías renovables son parte destacada e imprescindible del mix energético deseable del mundo en el siglo XXI y que estimular su desarrollo, favorecer su maduración y potenciar su despliegue son medidas que van en la buena dirección.

No existe, desde luego, otra opción energética que permita al mismo tiempo reducir las emisiones en el nivel necesario para la estabilización climática del

### ESPAÑA, ESCENARIO EXITOSO

Nuestro país ha tenido la visión -reconozcámoslo sin paliativos- de estar en la posición adecuada cuando las energías renovables han dado su definitivo paso adelante. En la última década del siglo XX, España vino a rubricar su definitiva apuesta por la energía eólica y en la primera década del presente siglo -además de reforzar su posición en esa tecnología- ha desarrollado otras en el ámbito de las renovables, que la sitúan como referencia mundial en el sector.

España es hoy el cuarto país del mundo -segundo de Europa- por potencia eólica instalada y uno de los primeros en solar termoeléctrica y fotovoltaica. Dos de los tres primeros desarrolladores eólicos del mundo son compañías españolas. Nos hemos situado como el país extranjero que más invierte en

renovables en EE.UU. Y somos un modelo en cuanto a la capacidad de integración de la eólica en el sistema eléctrico.

Las renovables están reduciendo la elevada dependencia energética de nuestro país – superior al 80%-, y en términos económicos, la reducción de importaciones debido a la generación eléctrica limpia alcanzó los 2.066 millones de euros en 2008. Si hablamos de emisiones, la generación renovable en España en ese ejercicio evitó 24 millones de toneladas de CO2 a la atmósfera, con un ahorro estimado de 544 millones de euros. Y el saldo neto exportador del sector sumó 1.227 millones. En total, un impacto positivo en la balanza comercial española de ese año de 3.837 millones de euros, según un estudio realizado al efecto por la empresa AFI.

Las renovables –qué duda cabe- crean empleo, y empleo de calidad. El sector ocupó directamente en 2008 en España a más de 75.000 personas e indirectamente a 45.000, lo que da una cifra total de 120.000 puestos de trabajo vinculados. Aunque la crisis haya reducido estas cifras, resulta difícil de entender que en un país como el nuestro, con índices de desempleo del entorno del 20% y un paro estructural muy elevado y de difícil reconversión, se omita o minusvalore la capacidad generadora de empleo de las energías limpias.

El sector viene contribuyendo además eficazmente a la modernización del modelo productivo en España, y lo hace por su elevada productividad (el PIB por empleado en energías renovables supera en más de 15.000 € la productividad media del conjunto de la economía española), por su liderazgo tecnológico (cuarto puesto a escala mundial en patentes relacionadas con las energías renovables) y por la alta cualificación media de sus empleados.

### UNA POLÍTICA DE ESTADO

Sería un grave error tirar por la borda todo el capital que hemos atesorado como país en el sector de las energías limpias. Un capital que se encuentra hoy ciertamente amenazado por el actual debate sobre la retribución de las renovables, cuyo coste se ha

convertido para algunos en elemento clave que explica el denominado déficit de tarifa del sector eléctrico en España.

Y hay que decir con claridad que no es así. Los costes totales del sistema eléctrico en España son mucho más sensibles a los costes de generación, fuertemente condicionados por los precios de los combustibles fósiles, que a los incentivos a las renovables. Es, por tanto, el precio de éstos –en tendencia alcista en el medio-largo plazo- y no las primas a las energías limpias lo que más contribuye a elevar el coste del sistema eléctrico y lo hará más, en la medida en que sigamos siendo dependientes de dichas fuentes.

Por el contrario, la penetración de las energías renovables en el sistema eléctrico contribuye a reducir los costes del mismo al actuar como depresor de los precios del mercado mayorista de la electricidad mediante el desplazamiento de las tecnologías fósiles más caras.

No conozco ningún país del mundo que renuncie a respaldar aquellos sectores de futuro en los que es líder, pero algunos parecen tentados de hacerlo. Por si les viene bien para sus reflexiones, ahí van unos datos del World Energy Outlook 2010 de la AIE: los apoyos gubernamentales a las energías renovables sumaron 57.000 millones de dólares en 2009 y deberán crecer significativamente hasta multiplicarse por 4 en el horizonte del año 2035 si queremos que estas energías cumplan el papel central que la AIE les adjudica en el panorama energético del presente siglo. Por el contrario los 312.000 millones de dólares que supusieron las subvenciones a los combustibles fósiles en 2009 - 5,4 veces más que las ayudas a las energías limpias- deberían ser ya para el año 2020 un recuerdo del pasado.

A veces conviene salir del bosque y comprobar cómo desde fuera vienen a confirmar lo acertado de la apuesta renovable en la que muchos estamos embarcados.

## 6. LA BUENA REGULACIÓN Y EL CÉNTIMO RENOVABLE



Doctor en Economía Aplicada por la Universidad Autónoma de Madrid y Master en Política Económica Internacional por la Universidad de Warwick (Reino Unido), es Presidente de la Asociación Española de Economía Energética, Profesor de Economía en varias universidades y Director del Curso Superior del Negocio Energético de Enerclub. También es miembro del Equipo de la Cátedra Fedea sobre Energía y Cambio Climático y del Consejo Académico del Club Español de la Energía.

**Gonzalo Sáenz de Miera. Director de Prospectiva Regulatoria de Iberdrola**

La política energética tiene que hacer frente a grandes retos para lo que dispone de instrumentos limitados y un número creciente de restricciones. En este marco, la regulación trata de equilibrar todos estos aspectos en la búsqueda del cumplimiento de objetivos de sostenibilidad ambiental y económica de forma eficiente y eficaz.

En mi opinión, la regulación energética no se debe afrontar como un proceso estático, en el que se asumen determinadas ideas de forma inamovible sin posibilidad de presentar planteamientos alternativos. Por el contrario, es recomendable abrirse al debate, analizar los cambios en el entorno, ser capaz de cuestionar los paradigmas de forma constructiva, y estar dispuesto a aceptar la responsabilidad de cada uno de los agentes que intervienen y su contribución al cumplimiento de diversos objetivos.

Uno de los debates más importantes que están teniendo lugar en la actualidad gira en torno a la procedencia de los recursos económicos para hacer frente al cumplimiento del objetivo de energías renovables de España, cuyo coste asume, hoy por hoy, casi íntegramente el consumidor eléctrico. Esta discusión tiene implicaciones que van más allá del sector renovable o incluso del

eléctrico, pues podría tener una contribución significativa para la sostenibilidad ambiental del sector transporte – el único sector que ha incrementado sus emisiones en la UE 15 en el periodo 1990-2008- y, por tanto, para el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones, teniendo en cuenta que este sector es uno de los mayores emisores de la economía.

Recientemente se ha puesto sobre la mesa el “céntimo renovable o verde”, como fórmula para afrontar por el conjunto de los consumidores energéticos el cumplimiento del objetivo de energías renovables de nuestro país. Un análisis sosegado de todos sus aspectos e implicaciones muestra que es una propuesta necesaria para asegurar la eficiencia en el consumo, sostenible desde una perspectiva ambiental y también equitativa. Además, si no se adopta un enfoque de este estilo, difícilmente se podrá cumplir con los objetivos renovables asumidos por España en compromisos internacionales.

España tiene el compromiso, en el marco de la política energética de la UE, de que al menos un 20% de la energía final que se consuma en 2020 provenga de fuentes de energías renovables. Es decir, el compromiso está ligado al consumo de

todas las energías, y no solamente de electricidad. Sin embargo, el esfuerzo para la consecución del objetivo nacional se concentra en el sector eléctrico, fijándole un objetivo propio del 40% en 2020, frente un objetivo muy inferior, del 13%, de introducción de las renovables en el sector transporte y del 0% en el sector del gas.

Por lo tanto, el sector eléctrico está asumiendo parte del cumplimiento del objetivo renovable que tiene su origen en el consumo de energía final en otros sectores. Y aunque pueda parecer paradójico, es eficiente y razonable que así sea, porque responde a los menores costes y mayor factibilidad técnica de producción de energía renovable en el sector eléctrico. De este modo, se minimiza el coste de cumplimiento de los compromisos internacionales.

eléctricos solamente tendrían que financiar alrededor del 20% de renovables.

No existe ninguna justificación de índole técnica ni sectorial para que los consumidores eléctricos subvencionen renovables motivadas por el consumo de gas o petróleo. Simplemente se decidió el modelo actual de financiación de las renovables en un contexto en el que esta partida tenía un impacto reducido sobre la sostenibilidad económica del sistema eléctrico, debido a que la participación de las renovables era muy limitada. No obstante, esta situación ha cambiado y el fuerte crecimiento de las renovables en el sector ha hecho que sus financiación en 2010 represente más del 20% de los costes totales de suministro eléctrico y este porcentaje seguirá creciendo en el futuro. De hecho, como consecuencia de los

---

## **Se hace cada vez más necesario corregir las distorsiones existentes en la política de financiación de los costes de las energías renovables, tanto por criterios de eficiencia como de equidad**

---

El problema es que, a día de hoy, las energías renovables no pueden competir en costes con las convencionales y eso significa que hay que apoyarlas económicamente. ¿De dónde obtiene el sector eléctrico los recursos para financiar el desarrollo renovable? El sobreesfuerzo del sector eléctrico se financia con cargo a sus tarifas, es decir, que son los consumidores eléctricos, y sólo ellos, los que lo soportan. Aquí está el punto clave de todo este fenómeno. Los consumidores eléctricos están subvencionando de hecho a los consumidores del resto de energías. Y esto es una mera decisión regulatoria, independiente de la mayor capacidad técnica y menores costes de implantación renovable en el sector eléctrico. Se podría haber aplicado otro criterio, de forma que todos los sectores, y entre ellos el sector eléctrico, asumirían su parte correspondiente del coste del objetivo renovable acorde con su participación en el consumo de energía final. Así, los consumidores

objetivos de renovables, el precio final de la electricidad deberá incrementarse de forma sensible hasta 2020.

Así las cosas, ante el ambicioso objetivo de energías renovables en el horizonte 2020, se está planteando el reparto del coste asociado a la producción de electricidad con fuentes renovables entre el conjunto del sector energético, mediante la aplicación de algún tipo de fiscalidad sobre el consumo de hidrocarburos, tanto líquidos como gaseosos. Un análisis de los diferentes aspectos asociados a esta propuesta muestra, a mi entender, su carácter sensato.

Desde el punto de vista de económico, es evidente que el hecho de que actualmente todos los costes de las energías renovables los pague el consumidor eléctrico tiene consecuencias en la competitividad relativa de las diferentes energías, afectando de

forma negativa a la de la electricidad; y positivamente al petróleo, cuyo precio está subvencionado por el consumidor eléctrico. Así, al cargar la electricidad con crecientes costes por conceptos de política ambiental que afectan a todos los sectores energéticos, ésta se encarece e incentiva a los agentes a desplazar su consumo energético hacia combustibles como el petróleo o el gas natural, incluso cuando la electricidad sea la fuente de energía de menor coste.

Esta situación genera una distorsión en la elección entre servicios energéticos, con graves efectos asociados a la eficiencia de la economía: provocaría un desplazamiento paulatino del consumo eléctrico hacia el consumo de petróleo y de gas. Si se llevara a cabo un reparto del coste de las renovables se corregiría esta distorsión y, con ello, sus consecuencias negativas en términos de eficiencia en la economía.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, el modelo actual es un serio obstáculo que impide avanzar en la electrificación del transporte (e.d. el uso de la electricidad como fuente de energía en el transporte ferroviario o por carretera). Así, la subvención del consumidor eléctrico al consumidor de productos petrolíferos favorece el uso continuado de energías fósiles y altamente contaminantes en el sector transporte, constituyéndose como el sector que mayor crecimiento de las emisiones ha registrado.

Dentro del sector transporte, además se ha destacado de forma generalizada la importancia de hacer frente a las tendencias insostenibles a las que hace frente el transporte por carretera, tanto por el crecimiento de su consumo de energía como por el de sus emisiones. En este sentido, es muy positivo el acuerdo político adoptado en el Consejo de Energía de la UE de 15 de octubre de 2010 para introducir una tasa que penalice el transporte de mercancías por carretera teniendo en cuenta su impacto en términos de contaminación del aire y acústica.

Ante este panorama, se hace cada vez más necesario corregir las distorsiones existentes en la política de financiación de los costes de las energías renovables, tanto por criterios de eficiencia como de equidad.

Existen varios criterios de asignación del sobrecoste de las renovables entre todo el sector energético. Cualquiera de ellos llevaría a reducciones importantes en el precio de la electricidad respecto a la situación actual, según algunas estimaciones independientes, que podrían llegar hasta el 10% en 2010, y a incrementos en los precios de la gasolina/gasóleo que oscilarían entre el 2% y el 7% para ese mismo año. Este incremento es asumible para España, ya que cuenta con unos precios del gas y de los productos petrolíferos después de impuestos ubicados por debajo de la media europea, al contrario de lo que ocurre con los precios de la electricidad, que se encuentran dentro de un rango medio-alto al incrementarse en un 20% por el sobrecoste de las energías renovables.

En definitiva, el reparto del sobrecoste de las energías renovables entre todos los subsectores energéticos -electricidad, gas y productos petrolíferos- es una medida sensata fundamentalmente por tres razones: la primera es que, dado que el volumen de los objetivos de renovables responden a una política energética nacional ligada al consumo de todas las energías finales, es equitativo que todos los consumidores energéticos contribuyan a su financiación; en segundo lugar, repartir el esfuerzo de financiación entre todas las fuentes de energía es eficiente, ya que así se evita distorsionar las decisiones de los consumidores sobre qué fuente de energía resulta más económico utilizar; y, en tercer lugar, continuar con la situación actual tensaría tanto la cuerda que acabaría rompiéndola, pues el gobierno se ha mostrado reacio a incrementar la tarifa eléctrica lo necesario para financiar los costes de cumplimiento de los objetivos de desarrollo de las energías renovables. Llegados a este punto, la situación se revela insostenible, siendo más que nunca necesaria la buena regulación, como base para desarrollar medidas que ayuden a solventar esta situación de forma eficiente.

## 7. NUEVO MODELO ENERGÉTICO Y SECTOR ELÉCTRICO



Licenciado en Ciencias Económicas por la Universidad de Deusto, Diplomado en Estudios Superiores Europeos y en Economía del Desarrollo por el Centro de Estudios Europeos de la Universidad de Nancy (Francia), ha desempeñado cargos políticos tanto en la administración central (ministro de Agricultura de 1994 a 1996, presidente del IDAE, del ITGME y del CIEMAT) como autonómica (consejero de Economía del Gobierno vasco). También ha trabajado como consultor en asuntos energéticos y ha sido presidente de la Fundación Doñana 21.

**Luis Atienza Serna. Presidente de Red Eléctrica de España**

La fuerte dependencia energética de la UE del exterior, que en la actualidad se sitúa en el entorno del 50% y que se prevé se eleve hasta el 70% en el año 2030, junto con la preocupación cada vez mayor por la insostenibilidad del actual modelo energético, en particular por su incidencia en el cambio climático, y la necesidad de disponer de un suministro competitivo, constituyen las principales preocupaciones en materia de política energética de la UE, como ya se puso de manifiesto en su momento en el Consejo Europeo de marzo de 2007 y se ha vuelto a reafirmar recientemente con la incorporación de los temas anteriores al Tratado de Lisboa, que establece el nuevo marco institucional para el funcionamiento de la UE, en vigor desde el 1 de diciembre de 2009.

En coherencia con el anterior escenario, y al objeto de dar respuestas al problema de la dependencia energética y la sostenibilidad, la UE está adoptando una serie de medidas que pasan por la apuesta decidida por el ahorro y la eficiencia energética y el fomento de las energías renovables, en tanto que fuentes de energía autóctonas e inagotables. Entre estas medidas podríamos destacar la reciente

publicación del “Paquete Clima-Energía”<sup>1</sup>, cuyos objetivos se resumen en el famoso 20-20-20: 20% de consumo de energía final con renovables, 20% de ahorro de energía y 20% de reducción de gases de efecto invernadero, objetivos todos ellos para el año 2020.

Para el sector eléctrico, este cambio de modelo energético basado en una mayor penetración de las energías renovables, el fomento del ahorro y la eficiencia energética, junto con los nuevos usos de la electricidad, va a suponer un cambio radical, que convertirá a la electricidad en el principal vector energético del siglo XXI, tal y como se justifica a continuación:

- La sociedad del futuro va a ser cada vez más “electrodependiente” tanto en términos cualitativos como cuantitativos. En términos cualitativos, porque la sociedad de las TIC exige un suministro más seguro y de calidad y, en términos cuantitativos, porque la sociedad de servicios, de la información y del conocimiento es cada vez más demandante de electricidad como input energético, y porque la electricidad va ir ganando nuevos

<sup>1</sup> El “Paquete Clima-Energía” incluye la Directiva 28/2009/CE sobre fomento de renovables, la Directiva 29/2009/CE sobre comercio de emisiones y la decisión 406/2009 sobre esfuerzo de reducción de emisiones.

nichos de aplicación (durante los últimos años hemos visto la penetración de la electricidad en la climatización doméstica, en el transporte por ferrocarril, y dentro de poco en el transporte por carretera con los vehículos eléctricos).

- Las posibilidades de mejora de la eficiencia energética y la gestión de la demanda son mayores que en otros tipos de consumo energético, por la posibilidad de aplicar nuevas tecnologías o mejorar las existentes (extensión de la cogeneración, bomba de calor, lámparas LED o coche eléctrico).
- La garantía que para la seguridad de suministro energético supone disponer de una gran diversidad de energías primarias y tecnologías para la generación de electricidad.
- La capacidad del sector eléctrico para transformar las energías libres de CO<sub>2</sub> en una energía apta para el consumo final.

En relación con los dos últimos puntos, es importante recordar que la electricidad es el único vector que permite integrar en nuestra dieta energética no sólo la energía procedente de las fuentes renovables (eólica, solar, maremotriz, geotérmica,...), sino también la procedente de otras fuentes energéticas que, sin ser renovables, pueden apoyar la sostenibilidad e independencia energética, como sucede con la energía nuclear y, en un futuro, con las fuentes energéticas de origen fósil con captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

Para cuantificar el efecto que el incremento de las energías renovables tendrá sobre la producción eléctrica, basta señalar que para cumplir en España el objetivo de la UE del 20% del consumo energético procedente de energías renovables para 2020, será necesario, de acuerdo con el PANER 2011-2020, que en 2020 un 40% de la producción de electricidad provenga de fuentes renovables.

Dicho todo lo anterior, y ante la certeza de un futuro con un mayor protagonismo de las energías renovables, es importantes recordar que en la actualidad su integración de forma masiva en el

suministro eléctrico no está exenta de dificultades, a las que habrá que dar soluciones tanto desde el punto de vista técnico como regulatorio.

En efecto, si bien la aportación de las energías renovables a la sostenibilidad e independencia energética es innegable por su carácter inagotable y autóctono, desde un punto de vista técnico la integración de contingentes cada vez mayores de este tipo de energía suponen un reto para la operación segura del sistema eléctrico consecuencia de su gran variabilidad y escasa gestionabilidad.

La dificultad de llevar a cabo previsiones fiables sobre la disponibilidad del recurso renovable en cuanto nos alejamos del tiempo real y su gran variabilidad en cortos periodos de tiempo, implican la necesidad de:

- Mejorar el grado de coordinación con los diferentes agentes,
- Desarrollar herramientas más fiables de predicción,
- Mejorar la red de transporte, tanto nacional como las interconexiones internacionales,
- Impulsar el almacenamiento,
- Disponer de capacidad de respaldo por parte de las fuentes convencionales,
- Desarrollar la capacidad de respuesta de la demanda a la disponibilidad de la oferta (Gestión de la demanda).

En algunos casos la respuesta a los retos anteriores pasa por la investigación y desarrollo, caso de los modelos de predicción, y por implantar soluciones novedosas. Por ejemplo, para hacer compatible una elevada penetración de energías renovables poco gestionables (eólica y solar fundamentalmente) con la estabilidad del sistema eléctrico y la continuidad y seguridad del suministro, Red Eléctrica ha puesto en funcionamiento el CECRE, un centro de control especializado en la gestión de las energías

renovables, que supone una experiencia pionera en el mundo.

En el caso de las redes de transporte es importante destacar que las energías renovables son altamente demandantes de redes y la solución pasará necesariamente por mayores inversiones, tanto en las redes nacionales, porque es necesario disponer de una red más robusta y mallada para gestionar unos flujos que van a cambiar mucho en su origen-destino en cortos periodos de tiempo en función de las condiciones climatológicas, como en las interconexiones internacionales, especialmente en el caso de España que puede ser considerada, desde el punto de vista eléctrico, como una isla energética. La consecución de una elevada penetración de las energías renovables en el sistema eléctrico europeo pasa por disponer de una red interconectada de gran capacidad para poder compensar entre sí la variabilidad de la producción de renovables de las diferentes regiones europeas.

almacenamiento en el sector eléctrico se reduce a las instalaciones de bombeo. Esta capacidad de almacenamiento no es infinita sino que está limitada por la disponibilidad de emplazamientos idóneos. Por tanto, y mientras no se generalicen las tecnologías de almacenamiento, la única opción posible es el desarrollo de toda la capacidad de bombeo económicamente rentable y medioambientalmente sostenible, que junto con una gestión centralizada por parte del operador del sistema permitiría una mayor integración del recurso renovable.

Adicionalmente, el progreso hacia un sistema energético con mayor peso de las energías renovables requiere el desarrollo de la contribución de una demanda menos pasiva, más interactiva, al equilibrio entre la oferta y la demanda. Las tecnologías de la información nos deben permitir un importante salto adelante en la gestión más inteligente de nuestra demanda, que nos permita

---

## **En España estamos demostrando al mundo que se pueden superar límites a la presencia de energías renovables en el mix de generación de electricidad que hace unos pocos años parecían inalcanzables**

---

En el caso español, una mayor capacidad de interconexión es fundamental para nuestros objetivos en renovables porque permitiría, por un lado, acomodar las puntas de generación renovables y por otro lado disminuir la necesidad de capacidad térmica en funcionamiento, al poder ser absorbidos los déficits o excesos por el sistema eléctrico interconectado europeo.

Una solución complementaria a las interconexiones consiste en aumentar la capacidad de almacenamiento que permita absorber los excedentes de producción para luego ser vertidos en el mejor momento. Desgraciadamente en la actualidad, si bien se están produciendo avances tecnológicos alentadores, la capacidad de

compensar en parte la pérdida de gestionabilidad de una oferta muy dependiente de las condiciones meteorológicas.

Por último, y no menos importante, la variabilidad de las energías renovables hace necesario disponer de capacidad térmica convencional firme de respaldo que permita cubrir la indisponibilidad del recurso renovable. Esta potencia firme de respaldo debe ser muy flexible para poder responder en periodos cortos a la variabilidad renovable.

En España estamos demostrando al mundo, y podemos estar muy orgullosos de ello, que se pueden superar límites a la presencia de energías renovables en el mix de generación de electricidad

que hace unos pocos años parecían inalcanzables. La energía eólica ya representa más del 15% de nuestra energía eléctrica, y hemos sido capaces de gestionar con seguridad puntas de producción eólica de hasta el 54% de nuestra demanda y valles del 0,5%, todo ello en un sistema eléctrico casi aislado del europeo. Pero hemos de ser conscientes de que para seguir avanzando en esta dirección tenemos mucho que hacer en los próximos años en las tareas mencionadas anteriormente.

Como hemos visto, la integración masiva de energías renovables supone un reto desde el punto de vista técnico, sin embargo también tiene implicaciones regulatorias a las cuales hay que buscar soluciones. Al tratarse de tecnologías poco maduras, su integración en los mercados eléctricos, que no internalizan de forma correcta todos los costes medioambientales, implica la necesidad de incentivos para alcanzar la rentabilidad necesaria para su desarrollo.

El diseño de un sistema de incentivos a las energías renovables (justificado en base a los objetivos de la política energética, fundamentalmente la seguridad de suministro y la lucha contra el cambio climático), que minimice las distorsiones en los mercados eléctricos y se aproveche de la competencia entre agentes y entre tecnologías para reducir el coste económico de los cinco objetivos de política energética perseguidos, y al mismo tiempo asegurar las inversiones que permitan disponer de la potencia firme y de gran flexibilidad que un sistema eléctrico con elevada penetración de renovables necesita, constituye en la actualidad uno de los grandes retos regulatorios del sector eléctrico.

## 8. EL CAMBIO YA ESTA AQUÍ



Licenciado en Ciencias Políticas y Sociología por la Universidad Complutense de Madrid, es presidente de la sección Fotovoltaica de la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) y Director de Energía de Arnaiz Consultores. Durante 2004 y 2005 fue Director General del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Durante su mandato se aprobaron el Plan de Energías Renovables 2005-2010 y el Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética de España 2005-2007.

**Javier García Brea. Presidente de la Fundación Renovables**

El último informe de la Red de Políticas de Energía Renovable para el siglo XXI (REN21) confirma que en un año de crisis como el 2009 las inversiones en energías renovables han superado en todo el mundo las destinadas a las energías convencionales por segundo año consecutivo. En 2009 las renovables representaron el 60% de las nuevas capacidades de producción instaladas en Europa y más del 50% en EEUU y en el futuro, en todo el mundo se instalará más potencia de origen renovable que de fuentes fósiles. Pese a la recesión, las inversiones en energía limpia continúan creciendo.

Los países que cuentan con políticas de fomento a las energías renovables han pasado de 55 a más de 100 desde 2005 y más de la mitad han adoptado sistemas de apoyo de tarifas (FIT). Una de las fuerzas impulsoras de su desarrollo es el potencial de creación de nuevas industrias y de generar millones de nuevos empleos. A nivel mundial se estima que hay más de 3 millones de empleos directos en la industria renovable. Pero el liderazgo se está trasladando de Europa a Asia, siendo China, India y Corea del Sur los países que más han intensificado sus compromisos, lo que teniendo en cuenta su dominio en la fabricación mundial de tecnología, asegura una importante reducción de costes en los próximos años.

Las renovables son un ejemplo de cómo transformar la crisis económica en una oportunidad para cambiar el modelo de crecimiento sustituyendo el uso de los combustibles fósiles con políticas que, desde los gobiernos, envíen a los inversores señales cada vez más claras. La energía limpia no es una burbuja sino una inversión que continuará siendo importante en los próximos años en todo el mundo.

Los informes de la Agencia Internacional de la Energía insisten a todos los gobiernos en la necesidad de reducir la demanda de combustibles fósiles ante el riesgo de que la economía mundial pase de la crisis actual por la contracción del crédito a una futura crisis energética por la contracción del crudo, porque la oferta de petróleo no va a poder abastecer el crecimiento de la demanda. La propia Agencia ha manifestado que ha llegado el momento de actuar y que las energías fósiles son el corazón del problema.

La primera conclusión que cabe extraer es que el cambio de modelo energético ya se está produciendo. En España las renovables, en tan solo cinco años, han pasado de la irrelevancia a constituir una tercera parte del sistema y su crecimiento desplaza a las fuentes convencionales. Este hecho está en el origen de las actuales tensiones, de la

inestabilidad regulatoria y en la exagerada campaña contra las fuentes renovables. Pero la realidad es que mientras el incremento del consumo de combustibles fósiles provoca una subida general de precios y costes en toda la economía, el mayor consumo de renovables reduce sus precios y costes y mejora los ratios de dependencia energética, emisiones de CO<sub>2</sub> e intensidad energética, por lo que se convierten en un factor de competitividad.

También a finales de 2009 se produjo la frustración por los escasos resultados de la Cumbre de Naciones Unidas en Copenhague sobre el cambio climático a pesar de la determinación de la industria y de muchos gobiernos para impulsar la economía verde como oportunidad ante la crisis financiera. La respuesta más clara la dio pocos meses después el economista Paul Krugman al reclamar políticas más agresivas e inmediatas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Krugman proponía medidas contundentes y rápidas antes que medidas graduales y exponía que el coste de las políticas contra el cambio climático supondría entre el 1 y el 3% del PIB frente a una pérdida del 5% si no se hace nada. Y en la misma línea del informe de Nicolas Stern, afirmaba que las medidas para cambiar el modelo energético han de tener mayor perspectiva que los mercados o, en otras palabras, dependen de la voluntad política.

El vertido del Golfo de Méjico es una premonición sobre la insostenibilidad de los hidrocarburos. El fracaso tecnológico de BP confirma que ante el descenso de las reservas tradicionales, las nuevas prospecciones petrolíferas han de hacerse en aguas muy profundas, con mayores costes y riesgos inevitables. Como consecuencia, los precios serán altos y se acrecentará la competencia global por el suministro. Como el propio gobierno de EEUU ha confirmado, la catástrofe de Luisiana ha sido posible por una regulación en connivencia con los intereses de las grandes corporaciones energéticas. Otro economista, Kenneth Rogoff, ha destacado el paralelismo entre la crisis financiera y una futura crisis energética derivada del mayor consumo de petróleo. Pero los economistas saben muy poco de adaptar la regulación a los sistemas con riesgos en constante transformación y cómo concebir instituciones reguladoras sólidas. Ha pasado

en el sistema financiero y en la política energética pasará pronto. Esta reflexión está en el fondo de las resistencias que frenan la transición hacia una economía que no dependa de los hidrocarburos y que están presentes en las regulaciones actuales que solo generan incertidumbre para alentar un mayor consumo de combustibles fósiles.

El Golfo de Méjico nos está diciendo cuál es el verdadero coste de la energía. Para los economistas reguladores esto no es nada, pero una economía moderna necesita ir prescindiendo de las fuentes convencionales y apostar por el ahorro y nuevas fuentes limpias y autóctonas. En eso consiste la revolución energética que aprobó el Consejo Europeo de marzo de 2007. La creciente dependencia energética de la UE del gas ruso y la mayor dependencia de España del gas argelino serán el escenario de futuras crisis.

El cambio más importante del siglo XXI se está produciendo en las tecnologías de generación y la renovable es la mejor posicionada por ser la de más rápida aplicación, pues los megavatios renovables se instalan en muy pocos meses, y su evolución tecnológica es más rápida, por lo que son la mejor tecnología para afrontar los riesgos de una mayor dependencia energética, el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y el derroche de energía. La mejora de estos tres ratios sólo es posible con el crecimiento de la cuota de renovables en el sistema energético, porque sustituyen a los combustibles fósiles, no emiten CO<sub>2</sub> y contribuyen al uso racional de la energía. Un gran error de la política energética es no reconocer expresamente y tildar de mentiras los beneficios económicos, sociales y ambientales que las renovables aportan a la economía española.

Las renovables se han convertido en el pim pam pum de los medios de comunicación sin ningún rigor y con argumentos interesados. Si realmente su coste en la tarifa fuera el responsable de todos los males del sistema, como se desprende de los documentos oficiales y de las empresas energéticas, la solución sería sencilla: suprimamos las renovables y el déficit de tarifa desaparecerá y no habrá subidas en el recibo de la luz. Pero la realidad no es como se la inventan los detractores de

las renovables: si desaparecieran las renovables seguiría existiendo el déficit en la tarifa y seguiría subiéndose el recibo de la luz. Porque las renovables no son el coste más importante de nuestro sistema energético.

Las petroleras españolas venden antes de impuestos la gasolina y el gasóleo de automoción más caro que la media de la UE y eso supone más de 2.000 millones de euros que pagamos todos. Han tenido que ponerse en huelga los mineros para saber que el carbón está subvencionado al 100% por todos los contribuyentes. El gas que consumimos en España lo compramos a Argelia y hay que pagarlo se consuma o no y al precio que fijan los argelinos. Cuanto más gas importamos más caro nos sale y el precio lo fijan ellos unilateralmente. La última subida de 2007 la ha ratificado el Tribunal de Arbitraje de París y supondrá otros 2.000 millo-

En la actual crisis económica, los países más avanzados han visto en las renovables un instrumento para dinamizar su industria y una oportunidad para diversificar su modelo productivo. En España las renovables deberían haber constituido el principal instrumento para cambiar la especialización de nuestro patrón de crecimiento, pero la separación radical que se ha hecho entre la política industrial y la política energética ha llevado a considerar las renovables únicamente como sobrecoste y no como oportunidad de crecimiento. Esta miopía interesada ha hecho que España haya pasado de liderar las renovables en el mundo a ser considerado como un país inseguro para las inversiones y que el cambio de modelo productivo se quede en un discurso interminable sin decisiones eficaces y ágiles.

No se trata de cambiar el mundo sino de reclamar otra política económica y otra política energética

---

## **España ha pasado de liderar las renovables en el mundo a ser considerado como un país inseguro para las inversiones**

---

nes que Gas Natural cobrará a todos los consumidores. La gestión de los residuos nucleares la han pagado todos los consumidores en su recibo. Y mientras se cuestiona el avance de las renovables no se dice toda la verdad: que el mayor coste de nuestro sistema energético son las importaciones de gas y petróleo y que si a esas importaciones sumamos el coste de sus emisiones de CO<sub>2</sub> y lo comparamos con el coste de las renovables, la proporción es que a cada ciudadano que vive en España los combustibles fósiles le cuestan diez veces más que las renovables.

A medida que avance esta década las políticas de ahorro de energía serán decisivas. Y cuanto mayor sea el ahorro más deberán crecer los objetivos de renovables. El ahorro de energía con renovables supondrá un mayor grado de innovación tecnológica en el aparato productivo, reduciendo costes e intensidad energética y convirtiéndose en un factor de competitividad.

con medidas rápidas y agresivas para competir internacionalmente: una planificación energética integral bajo el principio de internalización de costes que eleve los objetivos europeos de ahorro, emisiones y renovables para 2020 al 30+30+30, la transposición en plazo de las nuevas directivas europeas de renovables y de eficiencia energética de edificios, una fiscalidad ambiental y para el CO<sub>2</sub> y un marco de apoyo al I+D en renovables como respaldo a la industria nacional. El cambio ya está en marcha en todo el mundo y aquí también. ¿Quién se lo cree?

## 9. ENERGÍA LIMPIA: PRIORIDAD ESTRATÉGICA DE SOSTENIBILIDAD FRENTE AL CAMBIO GLOBAL



Doctor y Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales, Ingeniero Técnico Aeronáutico, Diplomado en Ingeniería del Petróleo y Diplomado en Evaluación de Proyectos, es profesor de “Economía del Medio Ambiente y Desarrollo” en el Instituto Universitario de Ciencias Ambientales la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente dirige el Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) desde donde ha dirigido varios informes genéricos y temáticos basados en indicadores.

**Luis M. Jiménez Herrero. Director Ejecutivo del Observatorio de la Sostenibilidad en España**

### LA RESPUESTA DE LA SOSTENIBILIDAD AL CAMBIO GLOBAL

Ante la manifiesta insostenibilidad del sistema mundial, que ha provocado una alteración planetaria (la era del “Antropoceno”), se ha venido reclamando una respuesta estratégica en clave de sostenibilidad. Pero, más aún, ante la nueva crisis sistémica se refuerza el nuevo paradigma sostenibilista. Porque el desarrollo o es sostenible o no podremos aspirar a un futuro esperanzador.

España es un país muy vulnerable al cambio global, especialmente al calentamiento terrestre (la temperatura media en España durante el último siglo aumentó 1,3°C, frente a un incremento de 1°C en la UE y el 0,74°C a nivel mundial), la pérdida de biodiversidad (el país que tiene la mayor riqueza biológica del continente europeo con una sangría permanente de su riqueza natural), los cambios de uso del suelo (con un aumento de la artificialización del 55% desde 1987 hasta ahora) y la desertificación (un 37% de la superficie total está en alto riesgo, especialmente en el suroeste peninsular y Canarias). Todo ello afecta a sectores básicos de la economía española, como al sector forestal, los sistemas acuáticos, la agricultura y el turismo, incluyendo, además otros efectos inducidos en el

conjunto del tejido económico. Habría que añadir además, que el aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, como señala el IPCC en su cuarto Informe, tales como tormentas, fuertes precipitaciones, inundaciones costeras y crecidas torrenciales, sequías, incendios forestales o corrimientos de tierras, provocarán daños en edificios e infraestructuras industriales y de transporte, con el consiguiente impacto indirecto sobre los sectores de seguros y servicios financieros.

La lucha contra el cambio global y la superación de la crisis económica concentran los desafíos y oportunidades más decisivos para aspirar a la sostenibilidad del desarrollo a todas las escalas. Y la clave está en la implantación de un nuevo modelo de producción y consumo ecoeficiente y responsable basado en un “motor energético” impulsado por fuentes renovables, en el marco de la sostenibilidad.

### PRIORIDADES ENERGÉTICAS EN UNA ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD

Y ante este panorama hay que plantear transformaciones estructurales con una transición hacia la

economía sostenible del futuro. Una economía innovadora, eficiente, competitiva y de baja intensidad en carbono, en materia, en energía y en territorio. Ello requiere reducir el consumo energético, aumentar las energías renovables y mejorar la eficiencia energética, considerada ésta como la “energía cienicienta” que, sin embargo, tiene un gran potencial y aplicabilidad a corto plazo (creación de 2000 empleos por cada Mtep ahorrado y de 10 a 30 empleos por cada millón de euros invertido). Pero, sobre todo, es imprescindible disminuir la insostenible y vulnerable dependencia externa de los combustibles fósiles que actualmente se sitúa en el 77% (con una disminución considerable en los últimos años, pero muy superior al 50% de promedio de la UE) y mejorar la intensidad energética de la economía española (un consumo de energía por unidad de PIB todavía muy alejado de los valores promedio de nuestro entorno europeo). Se trata, en definitiva, de implantar un nuevo modelo energético con la lógica de la sostenibilidad.

Pero, además, un modelo energético sostenible donde predominen las fuentes renovables, puede permitir, de forma simultánea, mejorar la seguridad del abastecimiento energético, adelgazar nuestra abultada factura de importación de combustibles fósiles, reducir las emisiones de GEIs y la contaminación local del aire, favorecer el desarrollo local, incentivar la innovación tecnológica, mejorar la competitividad e, incluso, contribuir a la cooperación mundial utilizando y transfiriendo tecnologías ecológicamente racionales y energías limpias a los países en desarrollo.

Sin duda hay objetivos estratégicos irrenunciables en Europa y en España que están claramente definidos en sus respectivas estrategias de desarrollo sostenible, donde se insiste en la necesidad de cumplir los compromisos internacionales contra el cambio climático y garantizar una energía segura, sostenible y accesible para las empresas y los consumidores.

La nueva Estrategia de Europa 2020, planteando un modelo sostenible, inclusivo e inteligente, responde a una gran iniciativa, ya comprometida, para aprovechar eficaz y eficientemente los recursos ambientales con el objetivo del “triple 20” (20% de reducción de emisiones de gases de efecto

invernadero, 20% de energías renovables y 20% de ahorro de energía; con el objetivo de una reducción del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero si se produce un esfuerzo internacional aceptable). De cara a esa “economía social de mercado sostenible” que se pretende iniciar en el segundo decenio del siglo actual, la desmaterialización, produciendo más con menos impacto ambiental, la desenergización, con una menor intensidad energética y la descarbonización, con un modelo bajo en carbono, son requisitos previos.

La nueva Directiva sobre energías renovables de 2009 (que debería ser aplicada por los Estados miembros antes de diciembre de 2010) establece objetivos más ambiciosos, ya que además del 20% de energía procedente de fuentes renovables para 2020, fija una cuota del 10% de la energía renovable específicamente en el sector del transporte (y establece los criterios de sostenibilidad para los biocarburantes), además de impulsar la producción de eléctrica por fuentes renovables por encima del 30%.

En el caso de España, de la situación actual, en la que alrededor del 10% del consumo de energía primaria y un 26% de la electricidad es de fuentes renovables, se prevé alcanzar en 2020 un 22,7% y un 40%, respectivamente. Estas buenas previsiones se complementan con la reducción de la intensidad energética a un ritmo del 2% anual y una mejora del autoabastecimiento hasta el 35% para 2010, frente al 23% presente. Un modelo energético sostenible se fundamenta en renovables, pero también requiere al tiempo, más ecoeficiencia, una gestión sostenible de la electrificación, con cambios en el sistema de distribución (“redes inteligentes”) y comportamientos racionales en el consumidor (con “contadores inteligentes”).

Pero el nuevo modelo también debe ser eficaz contra el cambio climático. Para poder limitar el aumento de la temperatura mundial a dos grados centígrados respecto a los niveles pre-industriales, el objetivo para los países europeos y el resto de países industrializados es ambicioso. Los nuevos objetivos de reducción de emisiones, comparados con los modestos del Protocolo de Kioto (5% a nivel mundial y 8% en la UE), se ven, no obstante, cada vez más factibles. La UE plantea

una disminución entre un 20 y un 30% en 2020 y entre un 80% y un 95% en 2050, que es lo que se estima que tienen que reducir el conjunto de los países ricos para que se pueda lograr una reducción del 50% a nivel mundial en relación con los niveles de 1990.

Sabiendo que el 80% de las emisiones proviene del uso de la energía (electricidad, transporte, edificios, servicios y la industria), las soluciones pasan necesariamente por reducir el uso de energía, aumentar su eficiencia y potenciar las fuentes limpias y renovables. Aquí hay que recordar el peso de las ciudades europeas que concentran el 80% (70% en el caso de España) de la población, consumen el 75% de la energía y emiten el 80% de los gases de efecto invernadero. Con este "protagonismo" urbano, sin el compromiso de las ciudades no se obtendrán cambios definitivos

nergéticos, el sector del automóvil y la "ecología industrial", son muestra de ellos, estando los sectores de las energías renovables y la eficiencia energética a la cabeza y siendo una parte sustancial de las nuevas actividades.

La energía sostenible no sólo es limpia, sino que es eficiente y generadora de trabajo estable y de calidad. Las renovables tienen un impacto ambiental relativamente pequeño comparado con las energías convencionales y generan entre tres y cinco veces más empleos. Y en cuanto a los costes, conviene recordar que si los precios reflejaran la "verdad ecológica" de la producción, transporte y consumo de energía y si las fuentes energéticas convencionales internalizaran los costes ambientales, sociales y sanitarios, las energías renovables serían claramente competitivas.

---

## Los objetivos ambientales se refuerzan con los objetivos económicos de lucha contra la recesión, a la vez que favorecen la salida estructurada de la crisis

---

### POTENCIALIDADES DE LAS RENOVABLES Y EMPLEO VERDE EN UNA ECONOMÍA SOSTENIBLE

El cambio de modelo en clave de sostenibilidad puede ofrecer una salida estructurada a la crisis y de forma más rápida, aflorando nuevos yacimientos de "empleo verde" y nuevos sectores emergentes que se impulsarán con la "fuerza motriz" de la sostenibilidad y que se sumarán a los sectores tradicionales relacionados con el medio ambiente. Los campos de las tecnologías de la Información y la Comunicación, la rehabilitación eco-energética y la edificación sostenible, el turismo sostenible, actividades específicas relacionadas con la mitigación o adaptación al cambio climático, la movilidad y el transporte sostenible, la economía de la biodiversidad, los cultivos agro-

El fomento de las renovables, asimismo, es un elemento de competitividad, en tanto que puede favorecer el desarrollo tecnológico y la exportación a los mercados internacionales de las empresas españolas punteras en este sector, como es el caso de la energía eólica y la solar, que, además, pueden beneficiarse de las ventajas competitivas y comparativas de adelantarse a la competencia. Las exportaciones de bienes de equipo y tecnología de estas energías aumentan por la creciente demanda de los países que están adoptando estrategias combinadas de lucha contra el cambio climático, seguridad de abastecimiento y energías limpias. Y, desde luego, esta es la solución más rápida, eficiente y ecológica para muchos países en desarrollo

La generación de empleo de calidad en el sector de renovables es una cuestión relevante. A escala

mundial, el informe Empleos verdes: hacia un trabajo decente en un mundo sostenible con bajas emisiones de carbono del PNUMA y la OIT calcula que en 2030 las energías renovables generarán más de 20 millones de empleos. Los biocombustibles generarían del orden de 12 millones, la energía solar fotovoltaica más de 6 millones y la energía eólica otros 2 millones de empleos.

Según datos de la Comisión Europea, el potencial de crear más de 600.000 puestos de trabajo en la UE con el objetivo de renovables en 2020 y a lo que si se añade el objetivo del 20% en ahorro de energía, se obtendrían más de 1 millón de nuevos empleos. Otros datos aportados en el informe de EmployRES (The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union, 2009), indican que la UE podría alcanzar hasta los 2,8 millones de empleos cumpliendo sus objetivos en renovables en la próxima década.

Algunas estimaciones (Informe OSE-FB, EMPLEO VERDE EN UNA ECONOMÍA SOSTENIBLE, 2010) señalan que en los sectores emergentes los nuevos yacimientos pueden aportar más de un millón de empleos para 2020. El sector de energías renovables el empleo directo en España se ha multiplicado por más de 30 desde 1998 hasta la fecha, en donde sobrepasamos ampliamente los cien mil empleos y las previsiones indican que hasta 2020 los puestos de trabajo se pueden aumentar en unos doscientos mil trabajadores cualificados.

Los objetivos ambientales, como la lucha contra el cambio global y la crisis climática, se refuerzan con los objetivos económicos de lucha contra la recesión, a la vez que favorecen la salida estructurada de la crisis y las transformaciones estructurales siempre que se haga dentro del marco de la sostenibilidad. Pero la transición energética limpia sobre bases renovables es una prioridad estratégica de primer orden para un cambio de modelo hacia una economía sostenible.



# CAMBIO GLOBAL ESPAÑA **2020/50**

ENERGÍA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD

Editan:

Fundación Conama  
Centro Complutense de Estudios  
e Información Ambiental

Patrocina:

Fundación Caja Madrid