

# **ESPAÑA Y LA ENERGÍA: UN PUNTO DE VISTA ACADÉMICO**

LUIS GUTIÉRREZ JODRA \*

\* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

## **1. PREÁMBULO**

El problema español de la energía tiene raíces profundas y muy lejanas en el tiempo. Se discute mucho ahora la conveniencia o no de determinadas fuentes energéticas y con frecuencia los medios de comunicación presentan esta cuestión o temas afines de forma parcial conforme a su línea editorial. Parece conveniente, desde un punto de vista académico, objetivo e imparcial, presentar el problema que ha tenido en el pasado menos importancia que en la actualidad, cuando España ha adquirido un nivel de bienestar y de consumo energético bastante elevado.

El problema arranca y coincide con la Revolución Industrial, en que por una combinación de circunstancias, nuestro país no formó parte de los países que transformaron sus talleres artesanos en industrias y comenzaron a abordar la necesidad creciente de energía. No se salió de la condición de país agrícola y esta situación se prolongó hasta finales del siglo XIX. La Ciencia se redujo durante este tiempo a algunos grupos aislados, pero no sirvió de base a un desarrollo que exigiera disponer de energía en mayor cantidad o calidad.

Cuando ya la industria metalúrgica y química europea y el transporte habían utilizado ampliamente la máquina de vapor, España comenzó a instalar sus ferrocarriles y a intentar sustituir con recursos propios el carbón inglés que alimentó nuestras primeras locomotoras. Tuvo en ello también una gran influencia la Marina de guerra y ello propició el aumento de producción de del carbón asturiano. No obstante, la

primera crisis energética de España se presentó por las dificultades de importar el carbón inglés a principios de la I Guerra Mundial.

El petróleo, que fue recibido inicialmente como una solución a las dificultades encontradas con el carbón inglés, produjo la segunda de las crisis por el monopolio de las grandes empresas petrolíferas. La reacción fue la creación de Campsa. La Segunda Guerra Mundial con el bloqueo de los aliados, a pesar de haberse iniciado anteriormente la producción de energía hidroeléctrica, creó la más severa de las crisis, tanto en el transporte como en la electricidad, con frecuentes apagones y dificultades. La guerra civil anterior agravó aún más la situación. No solo no hubo construcción de nuevas centrales hidráulicas o térmicas, sino que hubo que atender a las necesidades de poner en pie al país.

Cuando parecía que se estaba resolviendo el problema con la explotación de los lignitos gallegos y otros carbones nacionales, con la construcción de nuevas presas y con la creación de nuevas refinerías de petróleo llegó la crisis del petróleo de 1973, que perturbó grandemente a un país que como el nuestro empezaba a resurgir como consecuencia del proceso de apertura a Europa, iniciado en 1959.

Para evitar una nueva crisis se había iniciado en el decenio de 1950, a semejanza de lo que hicieron otros países, la creación de un organismo para conocer, investigar y desarrollar la nueva forma de energía que es la energía nuclear, que tuvo como resultado la cons-

trucción de centrales para producir electricidad y la utilización de los isótopos radiactivos en Medicina, la investigación y la industria.

De nuevo surgen circunstancias de diversos tipos para dejar de construirse mas centrales nucleares. Se estima después que el gas natural puede resolver este nuevo problema y se construye un gasoducto que trae el gas de Argelia, pasando por Marruecos, y estaciones gasificadoras donde se reciben los barcos metaneros que lo traen en forma líquida. La más importante de estas circunstancias es la preocupación por el ambiente traída por el auge del ecologismo. Los combustibles fósiles hasta entonces y ahora todavía han sido la base de la energía consumida en las sociedades avanzadas, pero las emisiones de gases de efecto invernadero las hace incompatibles con la mitigación del posible cambio climático. Las únicas energías que no emiten estos gases son las energías renovables y la nuclear.

El problema que ahora se plantea en nuestro país y en la mayoría de los países industrializados es cómo conciliar las necesidades de energía con las fuentes autóctonas disponibles, la balanza de pagos, el respeto a la Naturaleza y la opinión pública.

En España las situaciones de crisis energéticas, como se ha visto antes, se han resuelto siempre por impulsos y atendiendo a lo específico del problema, sin tener en cuenta una solución duradera. No se ha considerado que España es un país pobre en recursos energéticos y que la dependencia del exterior es grande y tiende a aumentar. Además, y como consecuencia posiblemente de etapas políticas anteriores, el problema energético se ha politizado, cuando debiera considerarse como una cuestión de Estado, por encima de los partidos.

Esta breve historia de las crisis energéticas se resume en el cuadro adjunto:

### Las crisis energéticas en España

#### 0. La Revolución industrial.

La máquina de vapor  
El gas del alumbrado  
Las turbinas  
La dinamo y el motor eléctrico  
El motor de explosión

1. El carbón español. El carbón inglés. La guerra de los boers y la Primera Guerra Mundial.
2. El petróleo. CAMPSA. Calvo Sotelo. Las multinacionales.
3. La Segunda Guerra Mundial. El Petróleo. El carbón nacional. La electricidad y la Barcelona Traction.
4. Las restricciones eléctricas. Las tarifas y OFILE, El INI y las centrales térmicas.
5. La guerra del Yom Kippur en 1973. La subida de precios del petróleo. Los lignitos. La energía nuclear.
6. La actual. El gas natural. La liberalización. La Unión Europea. La politización de la energía.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL

El hecho básico más importante es que España tiene recursos energéticos escasos, a pesar de las numerosas investigaciones realizadas. Los combustibles fósiles sólidos y el uranio son los combustibles con mayores reservas, aunque no precisamente abundantes si se comparan con el consumo actual (figura 1). No tenemos prácticamente petróleo, ni gas, que actualmente son la base de nuestro sistema de transporte y en parte de la electricidad. Por distintas razones, los mas abundantes carbones y la energía nuclear (uranio) no se emplean desde hace algún tiempo en nuestro país a pesar de las crecientes necesidades de la energía cifrada en 2002 en 128 Mtep anuales.

RECURSOS ENERGÉTICOS EN ESPAÑA, Mtep	
1. CARBON	
HULLA Y ANTRACITA	469
LIGNITO NEGRO	133
LIGNITO PARDO	191
	<u>693</u>
2. PETRÓLEO	3,4
3. GAS NATURAL	10,7
4. URANIO (65.000 t)*	650
	<u>1.357</u>

\* En reactores LWR 1 ton. U. equivale a 10.000 tep

Figura 1.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA, ktep								
Año	Carbón	Petróleo	Gas	Hidro	Nuclear	Resto (1)	Saldo (2)	TOTAL
1998	17.889	61.670	11.816	3.103	15.376	528	292	<b>110.674</b>
1999	20.519	63.041	13.535	2.246	15.337	693	492	<b>115.863</b>
2000	21.635	64.663	15.223	2.535	16.211	909	382	<b>121.556</b>
2001	19.528	66.721	16.405	3.528	16.602	1.275	298	<b>124.357</b>
2002	21.868	67.610	18.757	1.977	16.420	1.512	457	<b>128.600</b>

- (1) Incluye energía eólica y residuos sólidos urbanos (R.S.U) y otros combustibles residuales consumidos en la generación de energía eléctrica)
- (2) Saldo de intercambios internacionales de energía eléctrica (Importación-Exportación)

Fuente: Dirección General de Política Energética y Minas (DGPEM). Ministerio de Economía

**Figura 2.**

CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA INCLUIDAS TODAS LAS RENOVABLES						
	2000		2001		2002	
	Ktep	%	Ktep	%	Ktep	%
Carbón	21.635	17,3	19.528	15,3	21.891	16,5
Petróleo	64.663	51,7	66.721	52,2	67.647	51,1
Gas Natural	15.223	12,2	16.405	12,8	18.757	14,2
Hidráulica	2.535	2,0	3.528	2,8	1.988	1,5
Nuclear	16.211	13,0	16.602	13,0	16.422	12,4
Otras Renovables <sup>(2)</sup>	4.479	3,6	4.849	3,8	5.140	3,9
Saldo Eléctr. (Im-Ex)	382	0,3	298	0,2	458	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>125.128</b>	<b>100,0</b>	<b>127.931</b>	<b>100,0</b>	<b>132.303</b>	<b>100,0</b>

- (2) Incluye biomasa (comercializada y no comercializada), R.S.U., geotérmica, eólica y solar utilizadas en usos finales y en generación eléctrica. La minihidráulica se incluye en la hidráulica)

Fuente: Secretaría General de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

**Figura 3.**

Conviene examinar el panorama energético desde un doble punto de vista. Por una parte, conviene conocer cuanto se consume de energía primaria y cuanto aportan al consumo total las diversas fuentes naturales de energía directas o indirectas, como son los combustibles fósiles y nucleares. Por otra parte, es necesario considerar la aportación de fuentes propias de nuestro país en estos consumos.

En la figura 2 se dan los consumos de energía primaria en los últimos años. Puede observarse primero que el petróleo es el principal componente cuanti-

tativo, 51,1% en 2002 y su cuantía crece con el tiempo. Igual comportamiento muestran el gas, 14,2%, y las energías renovables y residuales, mientras que el carbón y la energía hidráulica varían según la hidraulicidad del año y la energía nuclear permanece prácticamente constante.

Las cifras del Ministerio de Hacienda y Economía difieren ligeramente de las del Ministerio de Industria, dadas estas últimas en la figura 3, normalmente por la inclusión en esta última de todas las energías renovables.

	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA				Distribución %		
	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2002
Carbón	17,9	19,4	27,0	21,6	19,2	18,2	17,6
Petróleo	73,2	72,8	55,9	54,2	55,9	53,2	52,5
Gas natural	1,6	2,3	3,1	5,7	7,7	12,5	14,6
Hidráulica + Eólica	3,9	3,7	3,8	2,5	2,0	2,4	2,2
Nuclear	3,4	2,2	10,3	16,1	14,8	13,3	12,8
Saldo Eléct. (Im-Ex.)	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,4	0,3	0,4
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Figura 4.

	PRODUCCIÓN TOTAL DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA				% de variación anual		
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Carbón	15,7	13,6	0,3	14,6	5,5	-8,7	12,1
Petróleo	1,5	3,5	7,4	2,2	2,6	3,2	1,4
Gas natural	12,0	31,6	6,9	14,5	12,5	7,8	14,3
Hidráulica + Eólica	76,1	-11,4	3,3	-22,8	18,5	40,3	-31,7
Nuclear	1,6	-1,8	6,7	-0,3	5,7	2,4	-1,1
<b>TOTAL</b>	<b>0,3</b>	<b>5,9</b>	<b>6,5</b>	<b>4,7</b>	<b>4,9</b>	<b>2,3</b>	<b>3,5</b>

Figura 5.

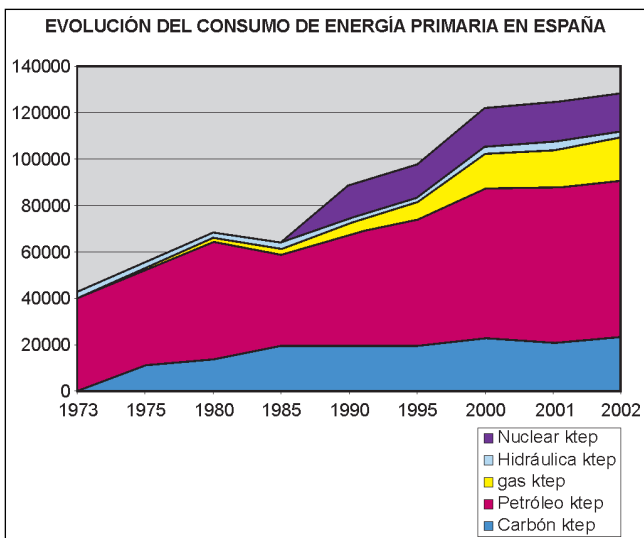


Figura 6.

El consumo total de energía primaria sigue aumentando y es superior al crecimiento del producto interior bruto (PIB), lo que es indicativo de una disminución de la eficiencia energética global.

El hecho más sobresaliente entre los años 1975 y 2002 es la reducción del porcentaje de petróleo consumido (véase la figura 4) a medida que entran las energías procedentes del carbón, de la energía nuclear y especialmente del gas natural, ya que las renovables

no han alcanzado aún un gran desarrollo. Estos hechos se aprecian más claramente con las variaciones anuales de estos tipos de energía primaria producidos que se presentan en la figura 5. A lo expuesto anteriormente es preciso añadir el carácter complementario del consumo de carbón y de la energía hidráulica. Los años secos corresponden a una mayor aportación del carbón y viceversa. Todo ello se aprecia más fácilmente en la figura 6, donde se evidencian el gran aumento del consumo energético, el predominio del petróleo y el carbón, y el rápido crecimiento del gas natural y de la energía nuclear, si bien esta última tiende a mostrar su carácter asintótico por la interrupción del proceso de construcción de nuevas centrales nucleares.

Aunque insuficiente para las necesidades españolas, la producción de energía primaria autóctona tiene el valor de mejorar y asegurar parcialmente el suministro de energía, vital para cualquier país. En la figura 7 se presentan los datos y su representación gráfica desde 1998 a 2002. Las producciones de petróleo y de gas natural son puramente simbólicas. Puede resultar una sorpresa para algunos que la energía nuclear sea la que aporte un mayor porcentaje de producción nacional con valores del orden del 50% y sólo el carbón tiene una aportación digna de distinción. También aquí son diferentes los totales que aparecen

## PRODUCCIÓN INTERIOR DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA, ktep

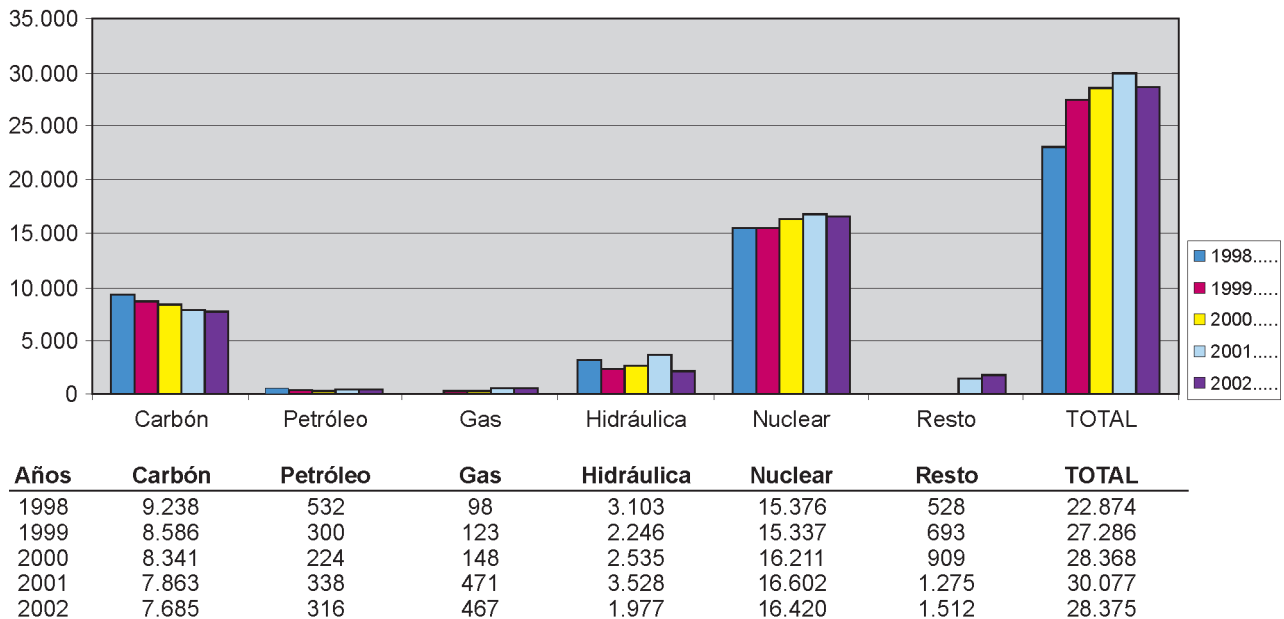


Figura 7.

PRODUCCIÓN INTERIOR DE ENERGÍA EN ESPAÑA						
	2000 Ktep	%	2001 Ktep	%	2002 Ktep	%
Carbón	8.341	26,1	7.863	23,4	7.685	24,0
Petróleo	224	0,7	338	1,0	316	1,0
Gas natural	148	0,5	471	1,4	467	1,5
Hidráulica	2.535	7,9	3.528	10,5	1.988	6,2
Nuclear	16.211	50,8	16.602	49,3	16.422	51,3
Otras E. Renovables	4.456	14,0	4.849	14,4	5.140	16,1
<b>TOTAL</b>	<b>31.915</b>	<b>100,0</b>	<b>33.651</b>	<b>100,0</b>	<b>32.018</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Secretaría General de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Figura 8.

en las figuras 7 y 8, ésta última dando solamente los tres años 2000, 2001 y 2002, pero incluyendo las energías renovables que ya aportan porcentajes apreciables con tendencia a aumentar.

Es preciso aclarar que, aunque se importe una fracción alta de uranio y el enriquecimiento isotópico se realice, con cierta participación española, en el exterior, la energía nuclear está considerada como autóctona, por la baja repercusión que el combustible tiene en la energía producida. Si se tiene en cuenta este hecho, se puede calcular fácilmente el grado de autosuficiencia que tiene el mercado energético español, que se presenta en la figura 9, expresado en tantos por

ciento. El valor complementario a 100 representa lo que es preciso importar. Su valor es relativamente alto y supone varias unidades del PIB. Su tendencia como ya se ha indicado, es a aumentar. Es particularmente notable el aumento del consumo de gas natural, semejante, aunque menor, que el de la electricidad. El consumo de petróleo crece en cantidad pero se reduce su participación en el conjunto por el progreso de las restantes formas de energía.

Una parte de las fuentes primarias de energía no se utiliza directamente, sino que sirve para producir otras formas de energía que son las que se emplean directamente. El consumo de esta energía final representa la

GRADO DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN ESPAÑA (%) <sup>(1)</sup>							
	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Carbón	52,6	54,7	51,6	41,8	38,6	40,3	35,1
Petróleo	1,2	0,6	0,9	0,5	0,3	0,5	0,5
Gas natural	7,2	1,4	0,8	0,9	1,0	2,9	2,5
TOTAL (*)	<b>30,2</b>	<b>29,1</b>	<b>26,1</b>	<b>23,5</b>	<b>23,3</b>	<b>24,2</b>	<b>22,1</b>

(1) Relación entre producción interior y consumo total de energía primaria.

(\*) En el total, incluidas la energía nuclear, hidráulica y resto de renovables, que tienen una asignación de abastecimiento español del 100%

Fuente: Secretaría General de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Figura 9.

CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA FINAL EN ESPAÑA <sup>(1)</sup> Miles de tep							
	1997	1980	1985	1990	1995	2000	2002
Carbón	3.955	3.504	5.030	4.271	2.702	2.546	2.486
P. Petrolíferos	30.993	37.737	34.110	40.893	46.952	55.628	57.642
Gas (2)	901	1.220	1.768	4.531	6.550	12.292	14.224
Electricidad	5.784	7.748	8.858	10.974	12.462	16.306	17.791
TOTAL	<b>41.633</b>	<b>50.209</b>	<b>49.766</b>	<b>60.669</b>	<b>68.666</b>	<b>86.772</b>	<b>92.143</b>

(1) No incluye energías renovables no transformadas en electricidad.

(2) Gas natural y manufacturado.

Fuente: Secretaría General de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Figura 10.

CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA FINAL EN ESPAÑA					Distribución porcentual %		
	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2002
Carbón	9,5	7,0	10,1	7,0	3,9	2,9	2,7
P. Petrolíferos	74,4	75,2	68,5	67,4	68,4	64,1	62,6
Gas	2,2	2,4	3,6	7,5	9,5	14,2	15,4
Electricidad	13,9	15,4	17,8	18,1	18,1	18,8	19,3
TOTAL	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Secretaría General de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Figura 11.

aparición del vector electricidad y significa un cambio importante, no solo en España y otros países del primer mundo, sino también en los países emergentes. El progreso del empleo de la electricidad es continuo debido a su utilización en casi todos los avances conseguidos en el siglo XX: información, comunicaciones, transporte, iluminación etc.

Este tipo de energía está dado en la figura 10, donde, como en la energía primaria, se aprecia los altibajos en el consumo de carbón, el imparable ascenso del petróleo y el crecimiento a un ritmo aún mayor del gas. También la electricidad tiene un creciente aumento en los 27 años cubiertos por la figura.

Mas aclaratoria quizá es la figura 11, donde se expresa la distribución porcentual en los mismos años, donde se observa tendencia a un menor uso directo del carbón y de los productos petrolíferos y hacia el empleo creciente del gas y de la electricidad en sus aplicaciones mas demandantes de energía.

Los sectores donde se emplea la energía final, incluyendo cantidades y porcentajes respectivos, están dados en la figura 12. Los sectores involucrados son las industrias, los servicios y los usos diversos, englobando este último los usos domésticos, el transporte y la agricultura. La industria que en 1980 tenía una participación del 48,4% en la energía final total

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL POR SECTORES (Ktep y %)						
	1980		1990		2000	
	Ktep	%	Ktep	%	Ktep	%
<b>INDUSTRIA</b>	<b>24.306</b>	<b>100,0</b>	<b>24.423</b>	<b>100,0</b>	<b>32.826</b>	<b>100,0</b>
Carbón	3.191	13,1	3.893	15,9	2.466	7,5
P. Petrolíferos	15,731	64,7	11.306	46,3	13.350	40,7
Gas natural	720	3,0	3.677	15,1	9.602	29,3
Electricidad	4.664	19,2	5.547	22,7	7.408	22,6
<b>TRANSPORTE</b>	<b>14,570</b>	<b>100,0</b>	<b>22.716</b>	<b>100,0</b>	<b>32.275</b>	<b>100,0</b>
Carbón	11	0,1	0	0,0	0	0,0
P. Petrolíferos	14,414	98,9	22.478	99,0	31.913	98,9
Gas natural	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Electricidad	146	1,0	238	1,0	362	1,1
<b>USOS DIVERSOS</b>	<b>11,332</b>	<b>100,0</b>	<b>13.531</b>	<b>100,0</b>	<b>21.671</b>	<b>100,0</b>
Carbón	302	2,7	378	2,8	80	0,4
P. Petrolíferos	7.592	67,0	7.109	52,5	10.365	47,8
Gas natural	500	4,4	854	6,3	2.690	12,4
Electricidad	2.938	25,9	5.190	38,4	8.536	39,4
<b>TOTAL por E. Finales</b>	<b>50,208</b>	<b>100,0</b>	<b>60.669</b>	<b>100,0</b>	<b>86.772</b>	<b>100,0</b>
Carbón	3.504	7,0	4.271	7,0	2.546	2,9
P. Petrolíferos	37,737	75,2	40.893	67,4	55.628	64,1
Gas natural	1.220	2,4	4.531	7,5	12.292	14,2
Electricidad	7.748	15,4	10.974	18,1	16.306	18,8
<b>TOTAL por Sectores</b>	<b>50,208</b>	<b>100,0</b>	<b>60.669</b>	<b>100,0</b>	<b>86.772</b>	<b>100,0</b>
<b>INDUSTRIA</b>	<b>24,306</b>	<b>48,4</b>	<b>24.423</b>	<b>40,3</b>	<b>32.826</b>	<b>37,8</b>
<b>TRANSPORTE</b>	<b>14,570</b>	<b>29,0</b>	<b>22.716</b>	<b>37,4</b>	<b>32.275</b>	<b>37,2</b>
<b>USOS DIVERSOS</b>	<b>11,332</b>	<b>22,6</b>	<b>13.531</b>	<b>22,3</b>	<b>21.671</b>	<b>25,0</b>

Figura 12.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN LAS PLANTAS DE COGENERACIÓN						
	1998		2000		2002	
	Producción eléctrica (GWh)	Producción Calor (T)	Producción eléctrica (GWh)	Producción Calor (T)	Producción eléctrica (GWh)	Producción Calor (T)
Hulla/Antracita y derivados	252	6.689	344	6.879	326	4.935
Fueloil	5.027	24.418	4.532	19.066	3.996	15.854
Gasoil	731	2.688	887	3.525	878	2.704
Gas natural	13.398	72.580	15.354	84.969	18.803	103.070
Gas de refinarias	2.328	11.367	1.998	11.161	2.215	10.653
Gas de coquerías	41	1.445	227	1040	175	1.052
Gas de altos hornos	5	384	-	-	-	-
Renovables	678	17.328	1.013	20.598	1.029	21.659
Otros combustibles	508	4.422	188	1.843	610	3.926
<b>TOTAL</b>	<b>22.968</b>	<b>141.321</b>	<b>24.543</b>	<b>149.081</b>	<b>28.032</b>	<b>163.853</b>

Fuente: I D A E. Boletín

Figura 13.

pasa en el año 2000 del 37,8%, prácticamente semejante al 37,2% que alcanzan los transportes que en 1980 contribuían solo con el 29,0%. También los usos diversos han aumentado, pero ligeramente gracias al auge de los servicios y de los usos domésticos a pesar de la disminución, no demasiado importante, de la agricultura.

La seguridad de los suministros energéticos y las variadas dificultades para el empleo de la energía nuclear han obligado a las empresas españolas a hacer uso exclusivamente de las energías renovables y del gas natural. Como medida previa siguiendo la pauta de lograr la máxima eficiencia de los combustibles que emplean en los últimos años ha habido un gran crecimiento de la cogeneración con empleo conjunto del calor y de la electricidad producida.

En la figura 13 pueden apreciarse los cambios en las instalaciones de cogeneración desde 1998 a 2002. Claramente la utilización del carbón duro y del fueloil, se reduce a expensas evidentemente del gas natural, ya que tanto el gasoleo como los gases de refinarias y coquerías se mantienen con ligeras oscilaciones. Es también de destacar el ligero aumento de las energías renovables. Todo ello es relativamente semejante al comportamiento de la energía de todo el país.

Dada la intención del Gobierno español de basar el suministro energético en el gas natural y las energías

renovables, se ha puesto en duda la conveniencia del gas que se importa, porque un elevado porcentaje procede de países poco estables políticamente. España importa el gas natural por dos vías: oleoductos principalmente y barcos metaneros. Estos últimos requieren una instalación de liquefacción en origen y otra de conversión del líquido en gas para su distribución.

Los países con los porcentajes del total que exportan a España están dados en la figura 14. Aunque estos porcentajes varían con los años, Argelia, con más

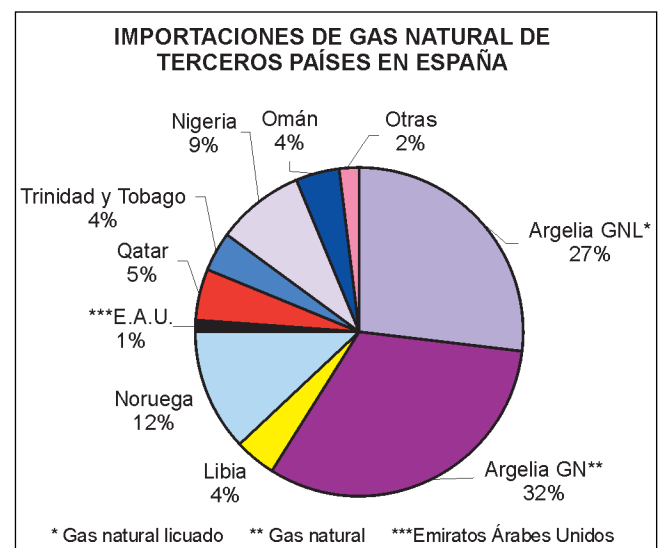


Figura 14.

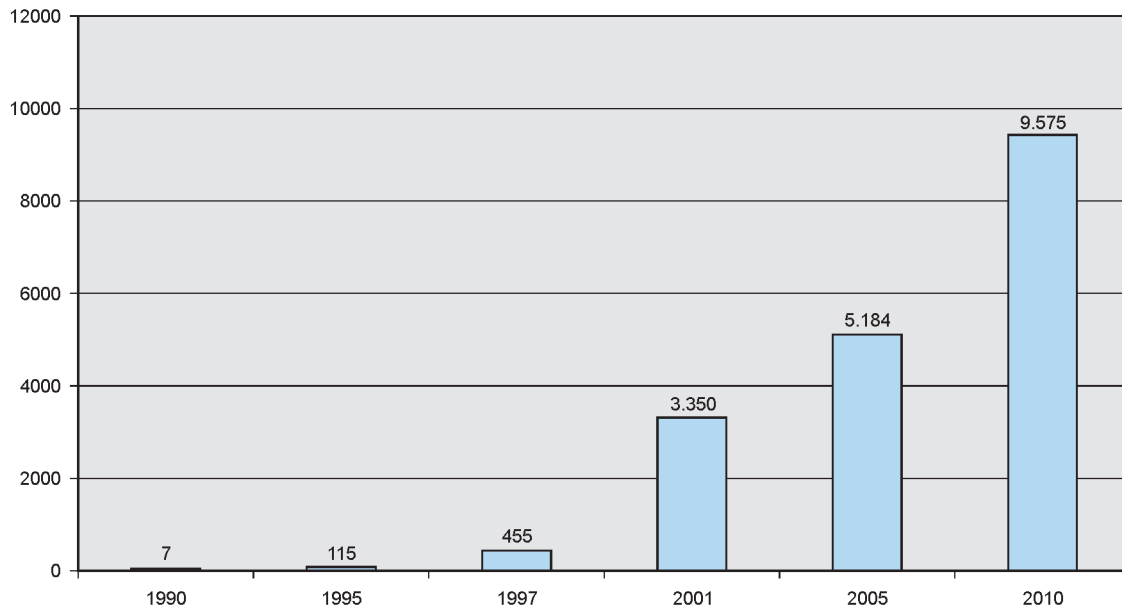


INSTALACIONES EN REGIMEN ESPECIAL. AÑOS 2000 Y 2001					
	Potencia instalada a 31-12 (MW)		Excedentes vertidos a la red (GWh)		Horas de funcionamiento,
	2000	2001	2000	2001	2001
<b>Cogeneración</b>	<b>5.059</b>	<b>5.417</b>	<b>16.986</b>	<b>17.766</b>	-
<b>Energías renovables</b>					
Solar	1	1	1	1	-
Eólica	2.060	3.350	3.909	4.543	1.356
Hidráulica < 10 MW	1.388	1.454	4.544	7.013	4.823
Biomasa y otras	114	274	253	713	2.602
Residuos	322	332	1.422	1.335	4.021
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>8.944</b>	<b>10.827</b>	<b>27.115</b>	<b>31.371</b>	<b>12.802</b>

Fuente: Memoria Estadística Eléctrica UNESA 2001

Figura 15.

### ENERGÍA EÓLICA Previsión de la potencia instalada en España (MW)



Fuente: I D A E

Figura 16.

del 50%, Noruega con algo más del 10%, Nigeria, con cerca del 10% y otros países de África y Oriente Medio con menor del 5% completan el total. Los temores sobre seguridad del suministro de gas están justificados.

Las energías renovables tienen ya una aportación importante y creciente, como se demuestra en la figura

15, donde en años húmedos la energía hidráulica es todavía la de mayor producción, seguida de la eólica, cuya intervención alcanza valores cada vez mayores. Las horas de funcionamiento de las energías renovables son, en todas ellas, menores que las de las energías tradicionales (combustibles fósiles y nuclear). No obstante, la que presenta una más firme tendencia al alza es la energía eólica.

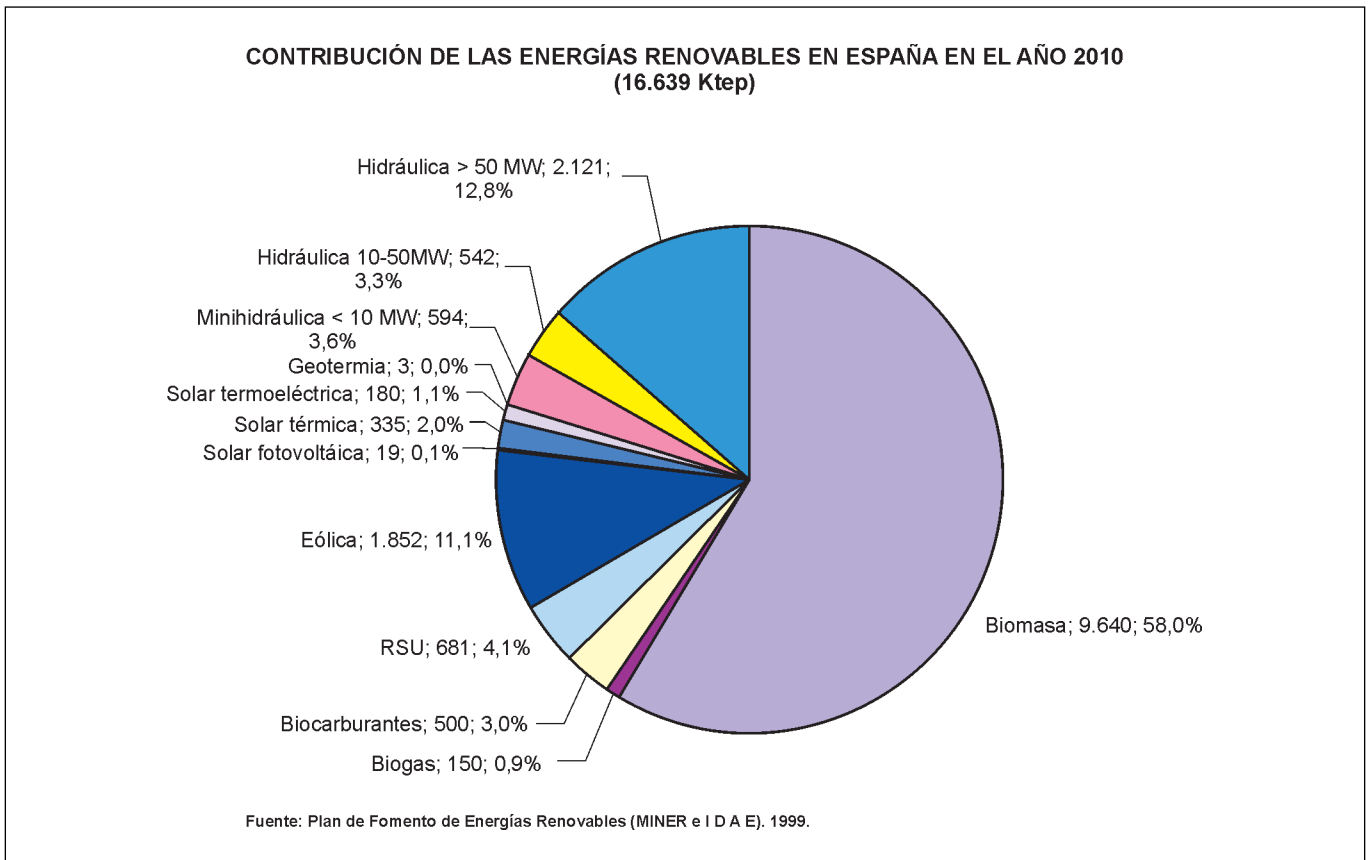


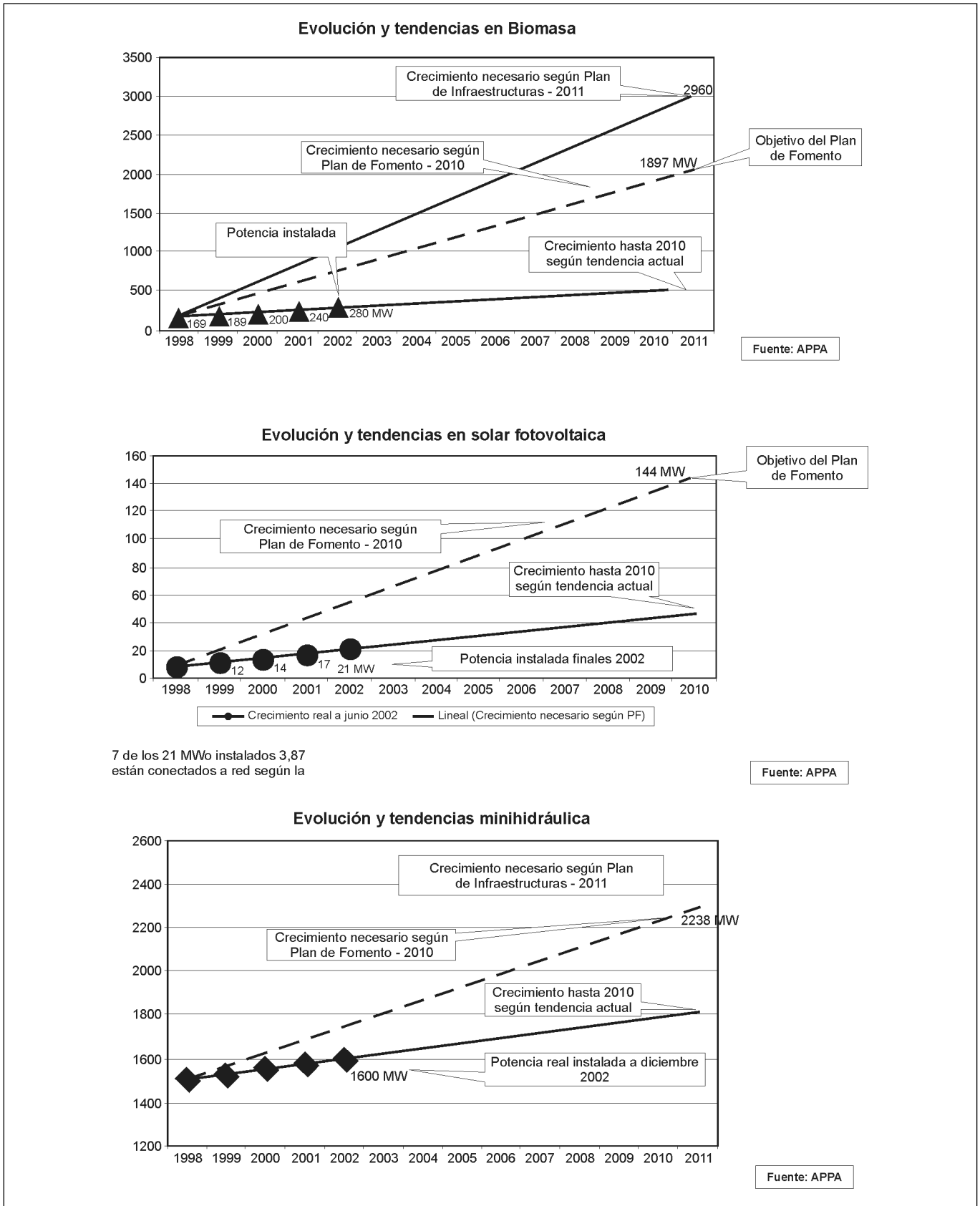
Figura 17.

Así lo estiman las predicciones de la figura 16, en que el año 2010 la potencia instalada superará la de origen nuclear, aunque la producción de electricidad será menor por la gran diferencia en los tiempos respectivos de funcionamiento. Hace pocos años, en 1999, las previsiones oficiales daban un mayor peso a la biomasa y bastante menos a la energía eólica como se señala en la figura 17. Otras formas de energía de menor cuantía en su aportación se comportan de la misma manera que la biomasa. Tal ocurre con la energía solar fotovoltaica y la minihidráulica, que se ofrecen en la figura 18, con previsiones y potencias instaladas. Solamente la energía solar térmica de baja temperatura se utiliza más frecuentemente en hogares, piscinas y otras aplicaciones.

La transmisión directa de la energía, como en los antiguos molinos de agua o de viento o en las máquinas de vapor por medio de poleas o engranajes dejó de utilizarse por las pérdidas que representaban y por precisar que las distancias entre origen y aplicación fuesen pequeñas.

La aparición de la electricidad, primero como corriente continua y después como corriente alterna, independizó la fuente de energía del punto de aplicación gracias al desarrollo del motor eléctrico y con ello de numerosas y nuevas aplicaciones. Su crecimiento, tanto en potencia instalada como en electricidad producida ha sido espectacular en el Siglo XX, incrementada además por la instalación de los modernos sistemas de comunicaciones y transmisión de señales, palabras, imágenes y datos, por los descubrimientos científicos y su rápido desarrollo, por los transportes y muchos otros campos, que han cambiado la vida de la personas y han afectado a todas las ramas de la Ciencia y Tecnología, los hogares y las industrias.

La electricidad no es en si una forma primaria de la energía, solo es un medio de transporte, un vector, que la lleva rápida y eficientemente donde se necesita. Recientemente, por las dificultades ambientales que provocan los combustibles fósiles y concretamente por el posible agotamiento más o menos próximo del



7 de los 21 MWo instalados 3,87 están conectados a red según la

Figura 18.

**ENERGÍA NUCLEAR Y LA ECONOMÍA DEL H<sub>2</sub>**

El hidrógeno puede utilizarse como "portador" de energía, sin emitir gases contaminantes ni residuos tóxicos

- **Utilización:** celdas o pilas de combustible
- **Obtención**
  - actualmente: reformado del gas natural
  - electrolisis del agua utilizando electricidad
  - craqueo del agua: proceso termoquímico a alta temperatura
- **Futuro en etapas progresivas**
  - inicialmente: uso en automoción con H<sub>2</sub> por reformado de GN
  - progresiva creación de infraestructuras de producción de H<sub>2</sub> por electrolisis
  - perfeccionamiento de infraestructuras de producción de H<sub>2</sub> por craqueo: reactores nucleares de alta temperatura

Figura 19.

petróleo se ha propuesto como vector energético el hidrógeno, abundante en nuestro mundo, y que presenta la ventaja sobre la electricidad de poder ser almacenado. Su desarrollo masivo requiere todavía un amplio esfuerzo técnico y económico para que puede ser considerado como un rival de la electricidad. No se incluirá, por tanto, en esta presentación salvo por el resumen de la figura 19.

El consumo de electricidad crece continuamente, tanto en España y el resto de los países industrializados, como en los países en desarrollo. Las fuentes energéticas empleadas en la generación de electricidad son muy variadas dependiendo de las posibilidades de recursos, económicos, tecnológicos, sociales y políticas. La potencia eléctrica instalada en España está dada en la figura 20, donde se representa su variación desde 1960, así como las variaciones que se producen de las energías hidráulicas y renovables de combustibles fósiles y nuclear. Puede observarse que la potencia total crece continuamente debido principalmente al empleo de la combustión de los combustibles fósiles, con una menor proporción de la hidroeléctrica más la procedente de las energías renovables y una aún menor de la energía nuclear consecuencia de la interrupción del programa de construcción de centrales nucleares. Esta estructura de generación se prevé que continúe en los próximos años, hasta el 2010, como se indica en la figura 21.

Como puede comprobarse la generación futura estará basada en los ciclos combinados con gas natural y en las energías de regulación especial, que están

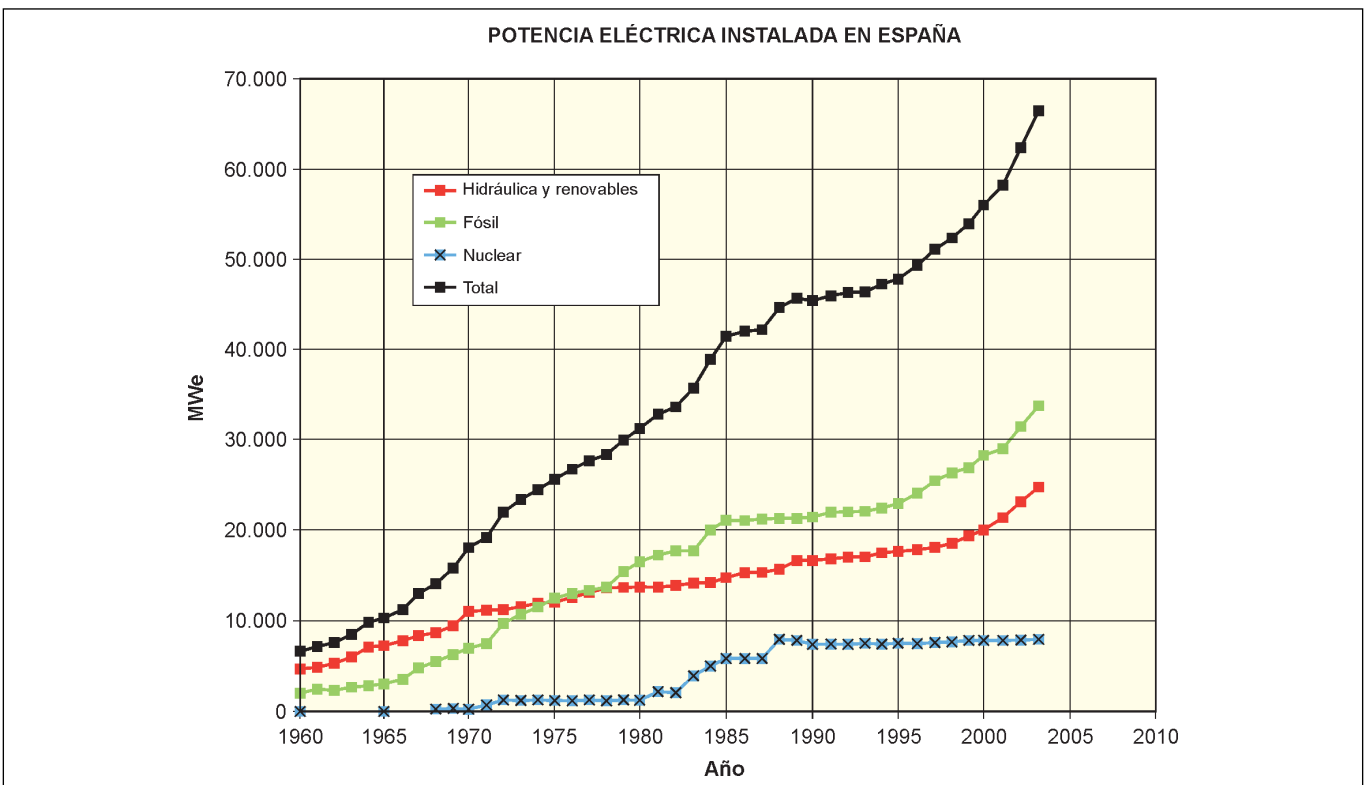


Figura 20.

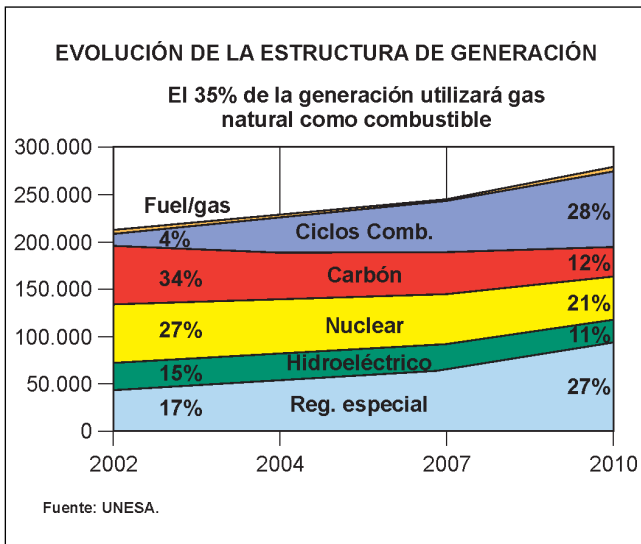


Figura 21.

mayoritariamente formadas por energías renovables. Una distribución más amplia, limitada a los quince años de 1985 a 2000 se representa en la figura 22, en la cual se ve claramente el predominio del carbón y de la energía nuclear, mientras que la energía hidroeléctrica es prácticamente constante. Se aprecia asimismo el incremento rápido del gas natural y del grupo formado por la biomasa, residuos sólidos urbanos y energía eólica y fotovoltaica.

Más información proporciona la producción de electricidad a lo largo de los últimos 42 años. Aumenta fuertemente y con mayor ritmo a partir de 1995. Se basa principalmente en el empleo de combustibles fósiles. Es curiosa la complementariedad que ofrecen

estos combustibles respecto a la hidráulica en el período entre 1970 y 1990, señalando los años de baja hidraulicidad en que los combustibles fósiles han de compensar la falta de producción hidroeléctrica. La producción de energía nucleoelectrica acusa su constancia tanto antes como después de que entrasen en servicio las últimas centrales nucleares (véase la figura 23).

Un resumen de la situación española en capacidad de generación y producción de electricidad a finales de 2002 se presenta en la figura 24, donde se detalla también el valor medio de las horas de funcionamiento de todas las instalaciones. Además de confirmarse las anteriores observaciones sobre la participación de las distintas fuentes de energía parece oportuno comentar los datos de las horas de operación y su relación con la potencia instalada. En cuanto a las horas de funcionamiento, lo que proporciona seguridad de suministro y estabilidad de la red de distribución, las centrales nucleares destacan con más de 8.000 horas al año, por encima de las de cogeneración, en gran parte de gas natural, de las de residuos y biomasa y de las térmicas de combustible fósiles. Destacan, por el contrario, por sus bajos valores las instalaciones solares, hidráulicas con más de 50 MW de potencia y eólicas, que dependen de la variabilidad de los fenómenos naturales.

También difieren notablemente las relaciones entre potencia y producción, que son otras formas de presentar las horas de funcionamiento porque algunas de ellas deben funcionar en base.

ESPAÑA. BALANCE ELÉCTRICO NACIONAL SEGÚN CENTRALES <sup>(1)</sup>								
	1985 GWh	%	1990 GWh	%	1995 GWh	%	2000 GWh	%
Carbón	53.728	45,1	60.752	39,5	66.981	39,5	80.524	35,8
Prod. Petrolífero	3.839	3,2	9.170	6,0	15.474	9,1	21.869	9,7
Gas natural	2.433	2,0	2.013	1,3	6.087	3,6	21.808	9,7
Hidroeléctrica	31.717	26,7	26.374	17,1	24.241	14,3	31.806	14,1
Nuclear	27.286	22,9	54.265	35,2	55.445	32,7	62.206	27,6
Otros <sup>(2)</sup>	-	-	1.408	0,9	1.288	0,8	6.943	3,1
<b>TOTAL</b>	<b>119.003</b>	<b>100,0</b>	<b>153.982</b>	<b>100,0</b>	<b>169.516</b>	<b>100,0</b>	<b>225.156</b>	<b>100,0</b>

(1) Incluye autoprodutores.

(2) Biomasa, R.U.S. eólica y solar fotovoltaica.

Fuente: Secretaría General de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Figura 22.

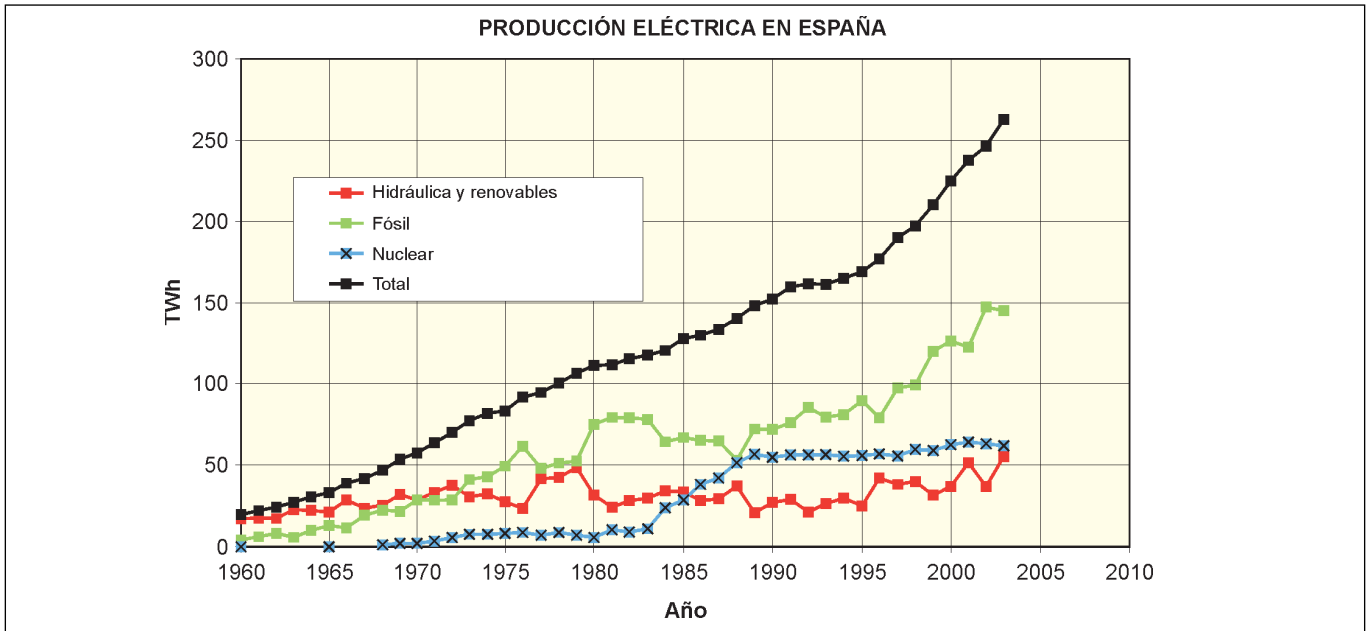


Figura 23.

ESPAÑA			
	Producción de energía eléctrica 2002 (millones de kWh)	Potencia eléctrica en servicio 31-12-02 (MW)	Horas/año
Hidráulica *	22.560	16.684	1.352
Camb. Fósiles	112.595	24.938	4.515
Nuclear	63.044	7.871	8.007
Cogeneración	29.705	5.516	5.385
Hidráulica **	4.503	1.502	2.998
Eólica	8.462	4.834	1.750
Solar	3	4	750
Biomasa/Residuos	4.563	933	4.890
	<b>245.435</b>	<b>62.282</b>	

Figura 24.

Una cuestión importante es hacerse la pregunta de si tiene límite el crecimiento español en el consumo de energía, qué causas lo originan y cómo se comparan los consumos per cápita entre los valores medios en España y en la Unión Europea. Los datos correspondi-

entes se dan en la figura 25. Los valores medios de la Unión Europea son en 2002 superiores al 15% por encima de los de España, tanto en el consumo de energía primaria como de energía final. La diferencia es aún mayor en el mercado doméstico en que el

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA POR HABITANTE EN LA UNIÓN EUROPEA Y EN ESPAÑA, Ktep <sup>(1)</sup>											
	Unión Europea (EU 25)						España				
	1998	1999	2000	2001	2002		1998	1999	2000	2001	2002
<b>E. Primaria</b>	<b>3.671</b>	<b>3.649</b>	<b>3.667</b>	<b>3.743</b>	<b>3.722</b>		<b>2.808</b>	<b>2.960</b>	<b>3.072</b>	<b>3.125</b>	<b>3.184</b>
<b>E. Final</b>	<b>2.382</b>	<b>2.380</b>	<b>2.409</b>	<b>2.462</b>	<b>2.430</b>		<b>1.812</b>	<b>1.874</b>	<b>1.987</b>	<b>2.061</b>	<b>2.090</b>
Industria	677	677	695	694	685		569	566	637	673	687
Transporte	719	738	740	743	749		769	803	822	846	854
Doméstico-Comercial	986	976	975	1.025	996		473	505	528	542	549
<b>En mercado Doméstico D-C</b>											
Gasoil	195	182	174	186	173		102	110	128	127	123
Gas natural	334	334	334	355	344		49	59	67	74	82
Electricidad	248	252	257	267	268		197	211	212	226	229
<b>En mercado doméstico</b>	<b>625</b>	<b>617</b>	<b>626</b>	<b>660</b>	<b>640</b>		<b>280</b>	<b>296</b>	<b>297</b>	<b>309</b>	<b>313</b>

(1) Kilogramos equivalentes de petróleo.

Fuente: Energy Yearly Statistic. Eurostat. Comunidades Europeas. Luxemburgo

Figura 25.

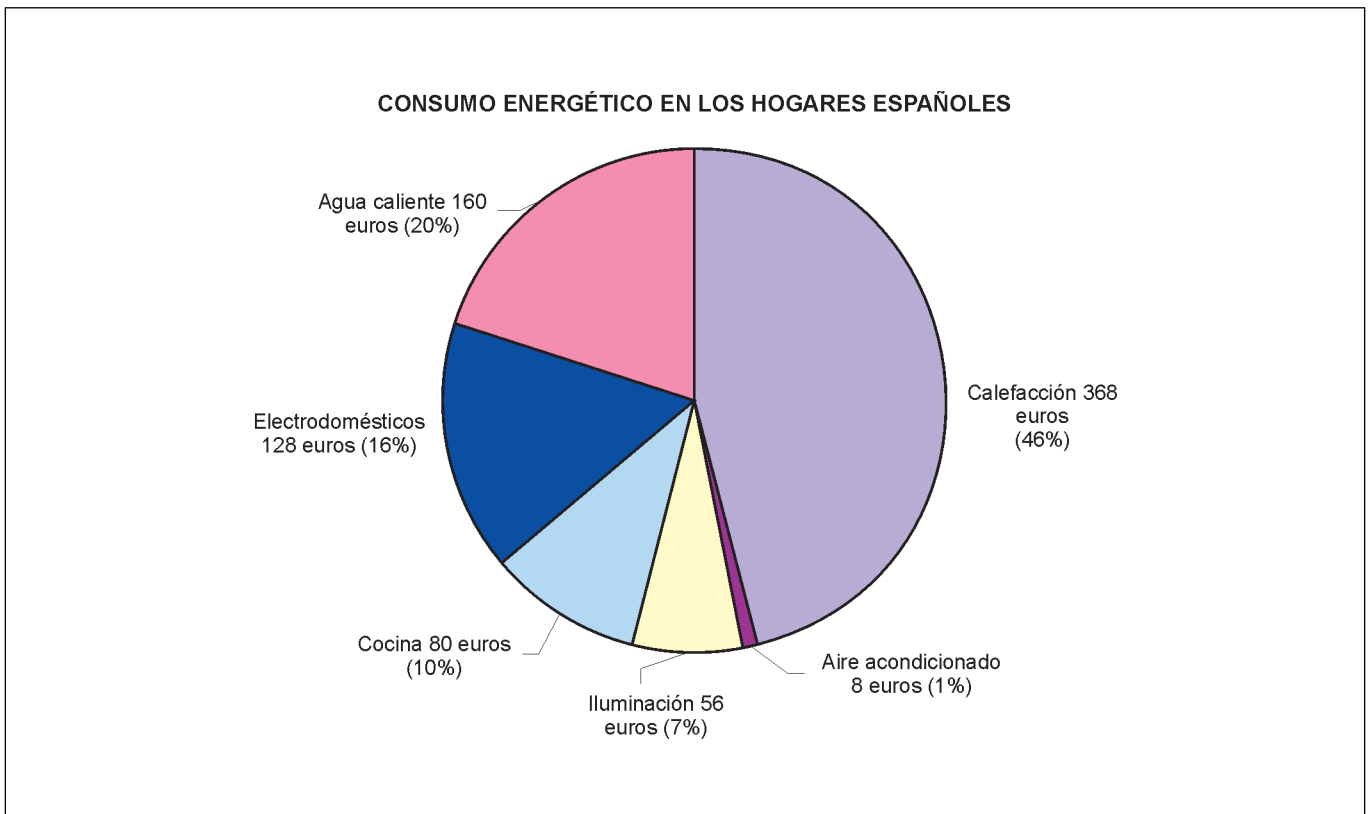


Figura 26.

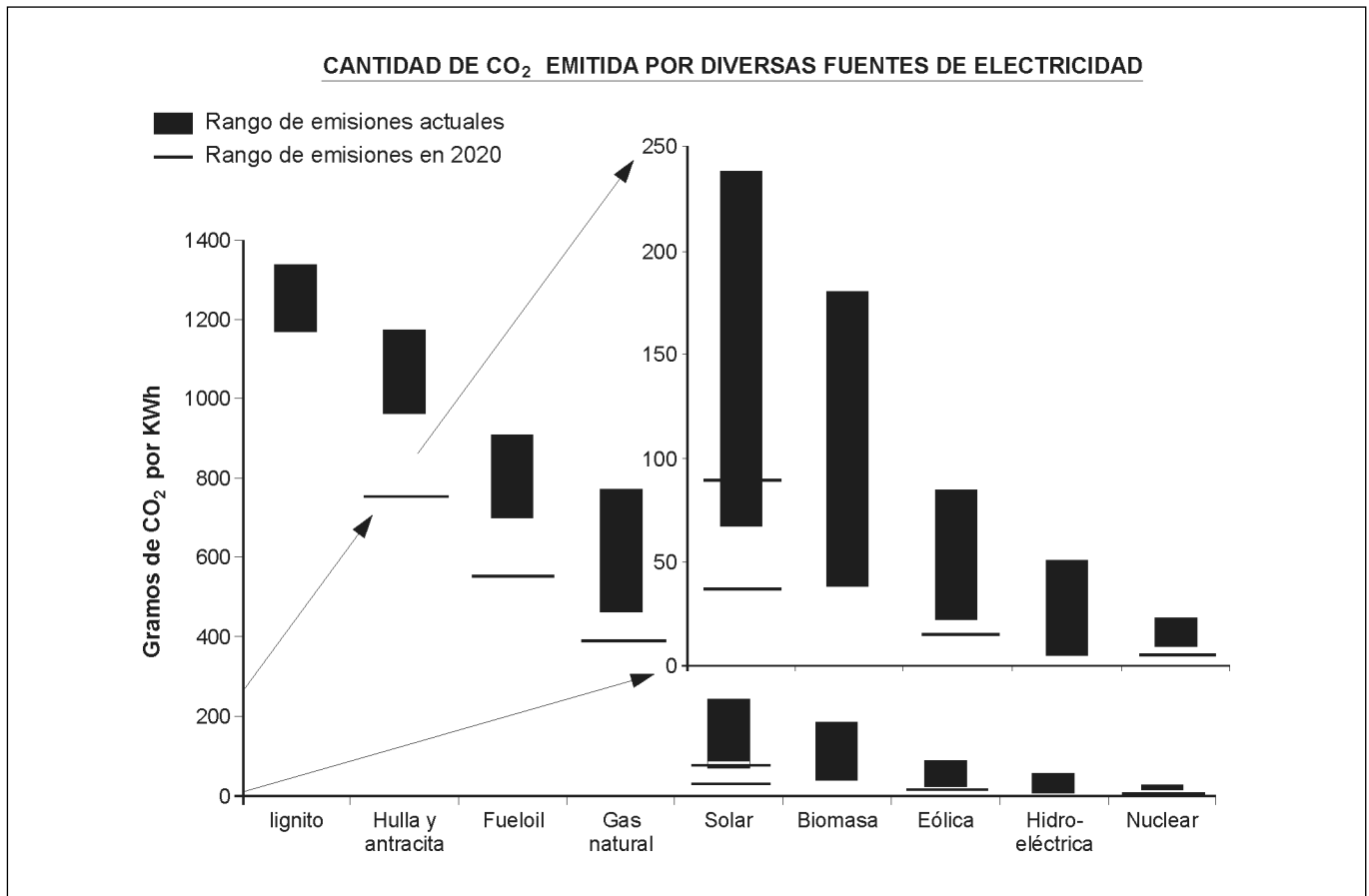


Figura 27.

consumo español es la mitad del europeo. Puede preguntarse el por qué de esta diferencia. Sin duda, la cifra del consumo y su coste, unos 800 euros, están todavía lejos de los de otros países industrializados. La distribución de los consumos entre las distintas actividades domésticas ofrece también explicaciones complementarias (véase la figura 26).

En cuanto a las utilizaciones de energía final por menorizada destaca que sólo en el transporte el consumo de energía por habitante es superior el de España, en tanto que el de la industria es sensiblemente igual y el doméstico-comercial es mucho más bajo. El consumo de gasoleo y de electricidad son también más bajos en España y el consumo de gas natural es cuatro veces más bajo. No obstante los ritmos de acercamiento de los consumos españoles son positivos. El caso especial de los transportes es explicable por la especial orografía de España y por la preponderancia del transporte terrestre especialmente del transporte por carretera.

Otra cuestión a destacar es el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, que se debe a que, aparte de la energía nuclear y renovable, el aumento del consumo energético se basa en el petróleo y en el gas natural.

Es paradójico a primera vista que un país tan poco dotado de recursos energéticos y tan dependiente de la importación del petróleo y del gas natural, solamente se apoye en el desarrollo de una de las fuentes autóctonas, las energías renovables, mientras que se prescinde de emplear la energía nuclear para atender este crecimiento de la demanda.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas en 2002 por procesos de combustión han ascendido a 303 millones de toneladas con un aumento del 33% respecto a 1992. Una parte importante se debe a la producción de electricidad, que, además, procede de otras fuentes que no generan CO<sub>2</sub> por combustión. Una comparación de las



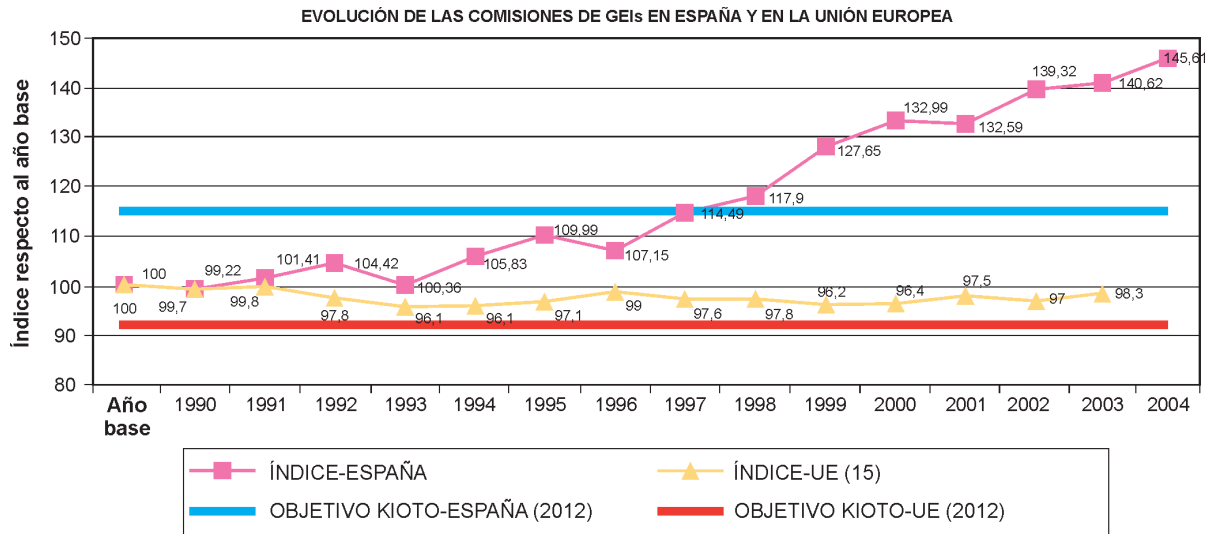


Figura 28.

cantidades emitidas por cada fuente se presenta en la figura 27.

El riesgo futuro del cambio climático, asociado al calentamiento ya comprobado del planeta, ha conseguido sumar a la mayor parte de las naciones en el llamado acuerdo de Kioto, según cuyo protocolo a la Unión Europea se le ha asignado una reducción del 8% de sus emisiones de CO<sub>2</sub> en 1990. Se ha discutido mucho el valor de este acuerdo, ya que a él no se ha adherido Estados Unidos y quedan fuera los llamados países en desarrollo, de los cuales China e India son grandes emisores por basar su creciente economía y consumo energético en el carbón. Es de esperar que en 2012 se haga el acuerdo más general y se incluyan las emisiones producidas por los transportes de todo tipo.

La figura 28 muestra la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España y la Unión Europea con los objetivos asignados a la Unión y acordados para España dentro de la llamada “burbuja” de la Unión, en la cual se consigue un cumplimiento del 97%. En cambio, España ha sobrepasado en un 39% su objetivo y lo peor es que tiende hacia valores mayores.

La burbuja de la Unión adquirió el compromiso de reducir el 8% de sus emisiones entre todos los 15 países que la forman. Dentro de ellos a España se le permitió aumentarlas en un 15%. La distribución de la situación en 2002 se da en la figura 29. En ella también

aparece asignado inicialmente, para cada país. A los países que estaban en un nivel económico y energético mas bajo, se les ha permitido porcentajes de aumento de emisiones mayores. Los países que han sobrepasado su asignación en mayor proporción son Portugal, España, Irlanda y Grecia. Conviene ahora comparar esta situación con la que resulta de ordenar a los países por las emisiones de CO<sub>2</sub> “per cápita”, que aparece en la figura 30. A pesar de los esfuerzos de todos los países para reducir sus emisiones, de estos cuatro países citados, España y Portugal están entre los seis países que tienen emisiones menores de 8 toneladas de CO<sub>2</sub> por no producir CO<sub>2</sub> en su generación de electricidad (véase figura 31), o por su bajo consumo.

A la vista de estas cifras no parecería razonable el cierre de las centrales nucleares y quizá se pudiera pensar en prolongar su vida útil lo mas posible compatible con mantener la seguridad y en aumentar su número para hacer frente a un previsible aumento de las emisiones.

Otra ventaja tan importante como la compensación parcial del coste de las emisiones de CO<sub>2</sub> es la importancia del valor de la sustitución de productos petrolíferos que sería necesario importar. Las centrales nucleares producen aproximadamente el 20% de la electricidad consumida en España, lo que es equivalente a 100 millones de barriles al año, que en 45 dólares el barril como valor bajo o a 75 dólares/barril,

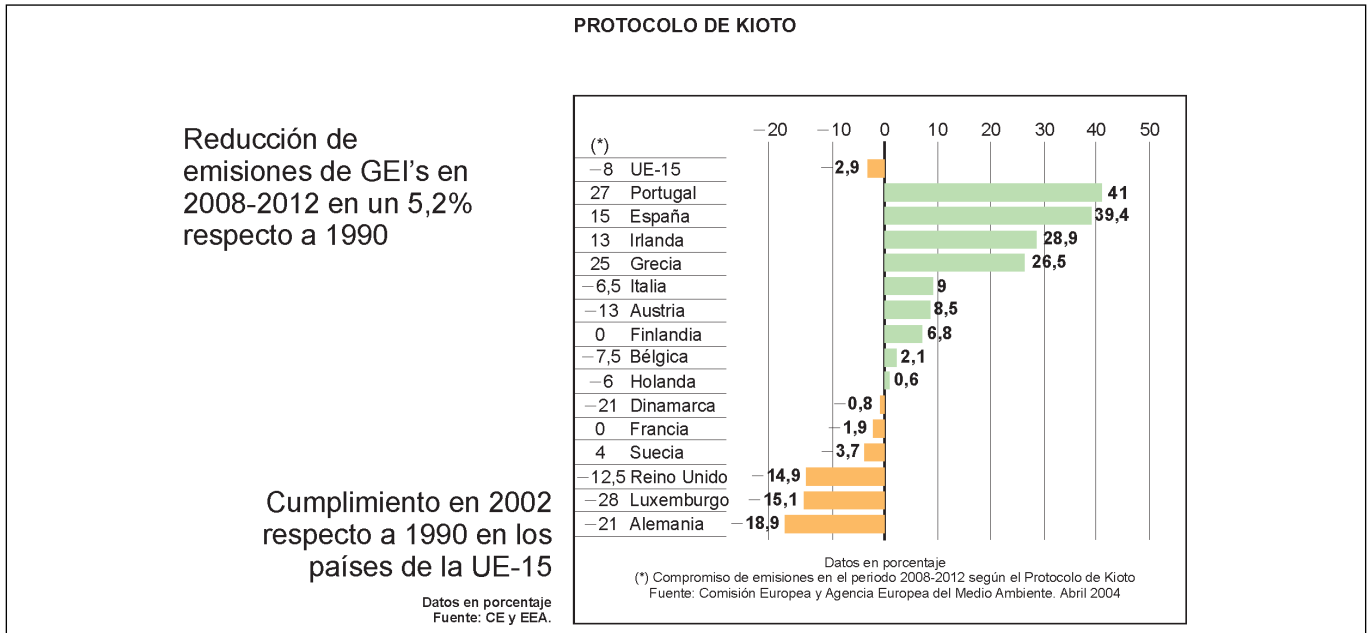


Figura 29.

EMISIONES DE CO <sub>2</sub> POR HABITANTE, UE 2000	
País	Toneladas/habitante
Luxemburgo	20,80
República Checa	11,27
Bélgica	10,90
Irlanda	10,86
Alemania	10,15
Dinamarca	9,52
Reino Unido	8,52
Grecia	8,26
Austria	8,21
España	7,8
Islandia	7,71
Italia	7,47
Polonia	7,40
Noruega	7,28
Eslovaquia	7,04
Francia	6,16
Portugal	6,07
Suiza	5,87
Suecia	5,62
Hungría	5,46

Figura 30.

COSTE DEL PROTOCOLO DE KIOTO
Año 1990: Producción total de CO <sub>2</sub> por España 285,69 M. toneladas/año
Compromiso de España en periodo 2008-2012: +Δ 15% sobre 1990
Balace de CO <sub>2</sub> : 15% de 285,69 Mt: 42,85/año
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsto en Plan Nacional de Asignaciones (+Δ 24%, 2008-2012):                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 15% Kioto, Unión Europea: 42,85 Mt/año</li> <li>◦ 2% sumideros: 5,71 Mt/año</li> <li>◦ 7% exceso (compra derechos): 19,98 Mt/año</li> </ul> </li> <li>• Realidad 2002 (+Δ 39%): 22% exceso: 62,85 Mt/año</li> </ul>
Costes: Δ 20 M €/tonelada CO <sub>2</sub> emitida.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsto en Plan: 400 M€/año</li> <li>• Realidad: 1.257 M€</li> </ul>
Ahorro de las centrales nucleares: 50Mt/año × 20€/t = 1.600 M€

Figura 31.

valor previsible en un futuro próximo significan desembolsos de 3.500 millones de dólares o 6000 millones, partidas ambas importantes en la balanza de pagos de España.

Desde un punto de vista económico se ha cuestionado la competitividad de la energía nuclear frente a las fuentes tradicionales e incluso a algunas de las renovables. La característica más destacada de la electricidad de origen nuclear en la alta inversión necesaria para sus centrales y, en cambio, una participación baja del coste del combustible. Aun así la larga vida de las centrales nucleares, ahora al menos de 60 años, hace que, después de su amortización administrativa, corri-

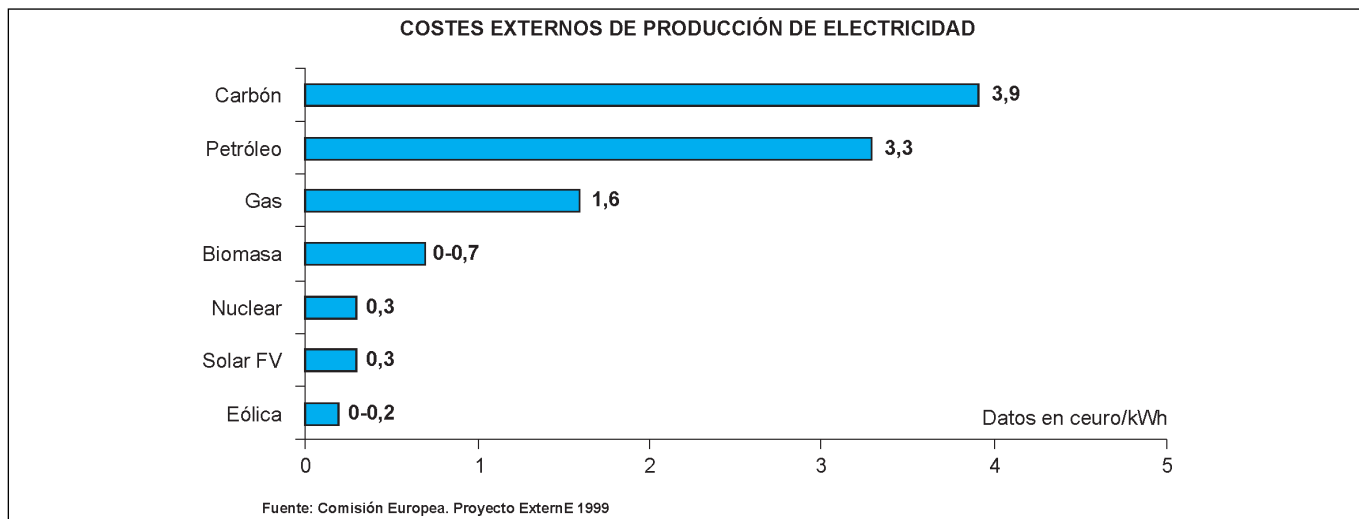


Figura 32.

entamente establecida en 25 años, los costes de la electricidad producida en ellas son los más bajos, con diferencia frente a las restantes. En los primeros años incluso, solo la hidroeléctrica genera costes más bajos cuando el año es muy húmedo o en centrales térmicas de carbón cuando el coste de éste es suficientemente bajo, como sucede en algunos países de la Tierra.

Un examen de los efectos exteriores que producen las emisiones, tales como los derivados de las enfermedades relacionadas con ellas, y, en general, todos los que afectan al ambiente todavía más señalan las ventajas de las energías renovables y nuclear y quedan patentes en un reciente estudio comparado de los costes externos o externalidades realizado por la Comisión Europea (véase figura 32).

Un argumento que se ha empleado con frecuencia es el de la financiación de la energía nuclear. Cada etapa del desarrollo humano está caracterizado por el empleo de diversas fuentes de energía a medida que progresan los conocimientos de la Humanidad. En su momento ocurrió con la energía nuclear desgraciadamente con fines no exclusivamente pacíficos, que fue apoyado fuertemente por diversos países. Hoy, con la gran preocupación por los efectos sobre el cambio climático por las emisiones de los combustibles fósiles y el futuro agotamiento de los recursos energéticos, en especial del petróleo, se ha tendido hacia el desarrollo de las energías renovables. Evidentemente, el soporte económico que se les presta es doble. Por una parte, por las ayudas a su instalación y, por otra, a su fun-

cionamiento. Un ejemplo son las primas que se dan a las diversas fuentes a partir de 1999 y que se modificarán según el desarrollo de las fuentes y del sistema eléctrico (véase figura 33).

La situación española con una importación del 80% de la energía primaria consumida y un 50% de la producción de electricidad mediante combustibles importados, unida a su condición periférica con conexiones insuficientes de electricidad al resto de la Europa continental, hace que su sistema energético global sea muy inestable y esté sometida a todas las variaciones de precios por cualquier circunstancia. Su dependencia del petróleo y del gas que provienen de países con sistemas políticos de dudosa confianza en cuanto a compromisos y precios, colocan a España en una permanente incertidumbre en materia energética.

Debe haber, por tanto, necesidad de asegurar el suministro de materias primas energéticas, de desarrollar las fuentes autóctonas y de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello debe llegarse a una mezcla lo más conveniente posible de todas las fuentes, incluida la energía nuclear.

Todas estas ideas dan lugar y se resumen en lo que se designan como observaciones finales, que sólo intenta expresar los problemas que aquejan a la situación energética española y algunas de las soluciones para resolverlas. No se incluye en ellas la solución a la reluctancia de la mayoría de la población a ampliar el número de centrales nucleares, ya que

PRIMAS DE REGIMEN ESPECIAL		
Tipo de Instalación	Intervalo de Potencia MW	Prima pta/KWh
a. Cogeneración y calores residuales	≤10	3,20
b. Renovables no consumibles y biomasa	10-25	3,20-1,60
1. Solar	≤0,005	60,00
2. Eólica	Resto	30,00
3. Geotérmica y otras	< 50	5,26
4. Hidroeléctricas	< 50	5,45
5. Hidroeléctricas	< 10	5,45
6. Biomasa primaria (vegetal de ciclo anual)	10-50	5,45-0,00
7. Residuos de biomasa	< 50	5,07
8. Grupos 6 y 7 con combustible de apoyo entre el 10 y 50% (en energía primaria)	< 50	4,70
9. Centrales mixtas	< 50	Sin prima la energía correspondiente a combustible no renovable Proporcional a potencia de cada tipo
c. Residuos		
1. Residuos urbanos	< 10	3,70
2. Otros residuos		
3. Grupos anteriores con combustibles convencionales	10-50	3,70-1,00
d. Tratamiento y reducción de residuos de Sectores agrícola, ganadero y servicios		
1. Purines de porcino	< 15	3,90
	15-25	3,90-1,95
2. Lodos	< 10	3,90
	10-25	3,90-3,00
3. Otros	< 10	2,50
	12-25	2,50-1,25
Renovables no consumibles y no hidráulicas, biomasa y residuos agrícolas, ganaderos o de servicio de más de 50 MW: 1 PTA/kWh.		
<b>NOTA:</b> Todas las primas son de duración ilimitada excepto las del grupo a (cogeneración). En este caso si son de menos de 10 MW perciben la prima durante 10 años y si son de más de 10 MW mientras perduran los CTC.		
La prima del grupo b. 1. (Solar) se reducirá a 30 pta/kWh cuando la potencia instalada supere los 50 MW		
Para las instalaciones tipos b. 1 a b. 7 (excepto b.5) existe la posibilidad de aplicar un precio total en lugar de precio de mercado más la prima.		
<b>Actualización de primas:</b>		
Instalaciones de tipo a: variación interanual de tipos de interés, de la tarifa eléctrica y del precio del gas, ponderando las tres variables a partes iguales.		
Instalaciones de tipo b y d: con la variación del precio medio de venta de la electricidad, que se aplicará sobre la suma del precio de mercado más la prima.		
Instalaciones Tipo c: con la variación interanual de los tipos de interés y la tarifa eléctrica.		
También se prevé la revisión global de las primas (y de los precios en el caso de instalaciones acogidas a la reglamentación anterior) cada cuatro años en función de diversas magnitudes macroenergéticas.		

Figura 33.

estos aspectos fundamentalmente políticos y sociales deber ser tratados por otros caminos que no son estrictamente científicos o técnicos.

## OBSERVACIONES FINALES

- El problema de la energía debe ser un problema de Estado.
- Falta un debate nacional sobre la energía.

- Deben fijarse objetivos a corto y a largo plazo.
- Deben diversificarse las fuentes de energía.
- Deben difundirse las medidas de ahorro y de mejora de los rendimientos del transporte, la industria, la construcción y los usos domésticos.
- Deben aumentarse las conexiones eléctricas, de gas y de petróleo con Europa.
- Deben intensificarse las energías que no generan gases de efecto invernadero.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. L. Gutiérrez Jodra. En torno a la Energía. Discurso Inaugural del Año Académica 1997-1998. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
2. Nuclear Energy: The future climate 1999. A joint report of the Royal Society and the Royal Academy of Engineering, London.
3. J. Holdren. Transition to Sustainability in the 21st. Century. The Contribution of Science and Technology. Inter-Academy Panel, Tokio, Japón. Mayo 2000.
4. Energía 2002. Foro Nuclear, Madrid, 2002.
5. UNESA. Memoria estadística, Madrid, 2002.
6. L. Gutiérrez Jodra. Transición hacia la sostenibilidad en el siglo XXI. Parte II. La Energía y el Desarrollo Sostenido. Revista de la Real Academia de Ciencias 97.47.2003