

ENERGÍA, MEDIOAMBIENTE Y SOCIEDAD

Este artículo es un breve resumen de un detallado estudio, del orden de 1000 páginas, sobre el impacto ambiental de la energía, haciendo especial hincapié en los residuos radiactivos, sobre las reservas, producciones y consumos energéticos en el mundo, así como sobre la percepción que la sociedad tiene de estas materias.

El estudio, también el artículo, ha sido realizado por un cualificado equipo de catedráticos y profesionales, bajo la dirección de Joaquín Ortega-Costa, Dr. Ingeniero Industrial y Catedrático de Tecnología Nuclear de la Universidad Politécnica de Barcelona y Juan Díez Nicolás, Catedrático de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid.

INTRODUCCIÓN

La actividad humana se apoya en el entorno natural e incide en el medio ambiente. La mecanización de la producción y el desarrollo de las tecnologías industriales ha aumentado considerablemente sus efectos perjudiciales. La aplicación progresiva de la energía, al sistema económico y a la vida social, amplifica cada día el volumen de sustancias contaminantes, que se emiten a la atmósfera o se vierten a las aguas.

En la actualidad se empieza a tomar conciencia del riesgo, a largo plazo, de la contaminación y el pensamiento científico examina la posibilidad de un cambio climático, atribuible a la emisión de los gases procedentes de la combustión en las instalaciones industriales y en las grandes centrales eléctricas. La opinión mundial presiona para que se reduzca substancialmente la emisión de gases, con efecto invernadero y se disminuya, en lo posible, los consumos de energía, mejorando los rendimientos y perfeccionando las tecnologías. En cualquier caso a los costes de producción de la energía hay que añadir los correspondientes a la co-

rrección de la contaminación que pueda crearse.

En este trabajo, proyectado sobre la producción de electricidad, se analizan los recursos energéticos existentes, los consumos y los costes de producción (electricidad) de las diferentes, así como sus efectos contaminantes y los correspondientes gastos de eliminación que conllevan, haciendo especial hincapié en la gestión de los residuos radiactivos procedentes de la producción de energía eléctrica de origen nuclear. Asimismo, se estudian aspectos sociales relacionados con la opinión pública sobre energía, medio ambiente y residuos.

SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL

Inventario de Recursos Energéticos

El inventario se refiere a los combustibles convencionales y a los nucleares de fisión (uranio y torio), ya que los renovables son prácticamente inagotables, lo mismo que sucederá con los combustibles nucleares de fusión (deuterio), si esta tecnología se desarrolla en el futuro.

El total de estos recursos se presenta, de forma resumida, en la Tabla I.

Sobre el conjunto, los minerales radiactivos representan el 92,93% de los recursos energéticos convencionales, los carbones el 5,81% y los hidrocarburos el 1,25%.

Los minerales radiactivos y los carbones son los combustibles más abundantes y están ampliamente distribuidos en el planeta, mientras que el petróleo y el gas natural tienen unas reservas menores y están localizados en forma dispersa.

En 1996 la relación reservas/consumo se situaba en 40 (años de abastecimiento)

CLASES DE RECURSOS	POTENCIAL EVALUADO Mtep	%
Carbones	3.421.235	5,81
Petróleo	142.428	0,24
Gas natural	131.320	0,22
Esquistos bituminosos	354.073	0,60
Arenas asfálticas	116.314	0,19
Mineral radiactivo	54.717.688	92,93
Total	58.883.058	100,00
Fuente: Gas (1994): WEC; M.Radiactivo (1980): WEC; Carbón (1988): WEC; Petróleo y resto (1994): WEC		

Tabla I. Recursos energéticos en el mundo.

	1973	1985	2000	2020
Mtep	291	445	642	1043
TWh	3.368	5.150	7.430	12.038

Fuente: ENERGY IN EUROPE, EP.

Tabla II. Producciones mundiales de energía hidráulica.

Unidad: Mtep

ZONAS	1985	2000	2020	% variación 1985-2020
I (industrializados)	5.350	6.175	6.650	24
V (en desarrollo)	2.320	3.355	4.910	112
Mundo	7.670	9.530	11.560	51

Fuente: Conferencia Mundial de la Energía (1986)

Tabla III. Evolución de la demanda energética mundial

para el petróleo, en 60 para el gas, en 450 para carbón y alcanzaba valores del orden de 200.000 años para el caso de los minerales radiactivos. Estas cifras ponen de manifiesto, además de su larga disponibilidad en el tiempo, un horizonte suficientemente holgado para que el progreso de las tecnologías, tanto para obtener nuevos recursos, como para lograr sustitutos.

En el caso de los combustibles fósiles, su limitación puede obedecer en el futuro a causas relacionadas con el medio ambiente, por el aumento de la concentración de CO₂, y de otros gases de efecto invernadero, en la atmósfera.

La energía hidráulica está clasificada entre las energías renovables, puesto que depende de la lluvia, pero también podría considerarse como una energía convencional porque ha sido utilizada intensamente a lo largo de este siglo, y sus previsiones de uso para el futuro son muy importantes. En la Tabla II se refleja esta situación a escala mundial.

Las energías renovables se caracterizan por su escasa intensidad por unidad de captación, lo que en general las hace poco adecuadas para las aplicaciones comerciales por su elevado coste de aprovechamiento. En el futuro, con el avance tecnológico, podrían llegar a jugar un papel importante en la transformación de la estructura de la oferta energética, contribuyendo a disminuir los efectos climáticos de los combustibles convencionales.

En cuanto a los precios de cada recurso energético se admite que evolucionará inversamente proporcional a la relación "reservas mundiales/consumos anuales", por lo que el crecimiento será mayor en el petróleo, le seguirá el gas natural, el carbón y los combustibles nucleares.

La demanda mundial de energía

La demanda de energía en el mundo sobrepasa en estos momentos los 8.500 millones de toneladas equivalentes de petróleo por año (tep/año), y será cada vez mayor, debido, entre otras causas, al aumento de población, la cual pasará de los 6.000 millones de habitantes actuales, a los 8.000 millones del año 2020.

Todos los analistas coinciden en admitir un crecimiento relativamente firme de la demanda de energía, pero matizado según el nivel económico de las áreas geográficas mundiales. La evolución prevista, en la Conferencia Mundial de la Energía (1986), es la que se refleja en la Tabla III.

El incremento de la demanda energética, entre 1985 y el 2020, en los países industrializados (I) será del 24%, mientras que en los que están en vías de desarrollo (V) se situará en el 112%.

Esta evolución por tecnologías, en el conjunto del mundo, presenta la estructura que se refleja en la Tabla IV.

El mayor crecimiento se producirá en las energías renovables, seguido de la nuclear y la hidráulica.

EL SECTOR ELÉCTRICO EN EL MUNDO

El consumo de electricidad es un fenómeno económico iniciado en el siglo XX, su difusión ha sido rápida y su tendencia de crecimiento mayor que el de la energía primaria.

La demanda de electricidad en el periodo 1980-2010 crecerá más en los países en vías de desarrollo que en aquellos que ya han alcanzado un nivel económico superior. El conjunto de los países integrados en la Organización para la

Unidad: Mtep

RECURSOS	1985	2000	2020	% variación 1985-2020
Carbón	2.206	2.522	3.238	47
Petróleo	2.497	2.922	3.177	27
Gas natural	1.388	1.785	1.988	43
Energía hidráulica	445	578	848	91
Energía nuclear	324	552	820	153
Energía renovable	19	43	170	795
Otros	791	1.128	1.319	67

Fuente: Conferencia Mundial de la Energía (1986)

Tabla IV. Evolución, por tecnologías, de la demanda mundial de energía.

Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) representaba el 64% en 1980 y en el año 2010 supondrá el 54%. (ver Tabla V).

EL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA UNIÓN EUROPEA

Producción

La Comunidad Europea ha examinado sus perspectivas en la evolución del consumo y producción de electricidad en diversos escenarios (referidos a crecimiento de la demanda y a variación de los precios).

En una hipótesis media, la producción de electricidad para cubrir la demanda de la Unión Europea evolucionará en la forma que refleja la Tabla VI.

El ritmo de crecimiento es regresivo e irregular, en el quinquenio 2000-2005 es inferior que en el 2005-2010 y luego se estabiliza en el 2015-2020. Influye en esta evolución las hipótesis sobre los parámetros básicos, precios de los recursos y del dinero, que modulan la oferta y la demanda.

La producción de energía eléctrica referida a los recursos, tendrá la evolución que muestra la Tabla VII.

En términos absolutos el crecimiento mayor, muy destacado, corresponde a la energía térmica, 1036 TWh, que representa el 120% del aumento durante el periodo, lo cual supone una subida importante de las emisiones de CO₂.

Costes de Generación Eléctrica. Perspectivas

La Agencia Internacional de la Energía/Agencia de la Energía Nuclear/Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (AIE/AEN/OCDE) han elaborado un estudio, en 1998, sobre la previsión de los costes de generación de electricidad en centrales que han de entrar en servicio en el periodo 2.005-2.010.

El informe, que ha sido elaborado por expertos de 14 países de la OCDE y de 5 no pertenecientes a esa organización, se refiere a centrales nucleares, de carbón y de ciclo combinado de gas.

El estudio, en el que se incluyen los costes asociados con la protección del medio ambiente y con las normas y regulaciones de los correspondientes países, ha sido realizado considerando una tasa de descuento del 5%, un factor de carga de la central del 75% y una vida de las instalaciones de 30 años.

Los costes de generación de cada tecnología, en los diferentes emplazamientos considerados, presenta variaciones sustanciales.

El valor medio para centrales nucleares es de 35,22 milésimas de \$(1-7-96)/kWh, para las de carbón 41,9 y para las de gas 40.

Unidades: TWh y %

REGIONES	1980		1990		2000		2010	
OCDE	5.177	64	6.806	60	8.333	59	9.803	54
CIS (antigua URSS)	1.667	21	2.164	19	1.794	12	2.141	12
Oriente Medio	92	1	231	2	336	2	475	3
Asia	637	8	1390	12	2.535	18	3.773	21
América Latina	301	4	486	4	706	5	995	5
África	197	2	324	3	509	4	779	5
TOTAL	8.071	100	11.401	100	14.213	100	17.986	100

Fuentes: Energy in Europe, EP y CEE

Tabla V. Demanda mundial de electricidad por zonas.

AÑOS	TWh	INDICE	VARIACIÓN MEDIA ANUAL EN %
1995	2.310	100,0	--
2000	2.532	109,6	1,85
2005	2.690	116,4	1,21
2010	2.882	124,7	1,38
2015	3.024	130,9	0,97
2020	3.175	137,4	0,97

Fuente: Energy in Europe. "European Energy to 2020. A Scenario Approach". CE. 1996

Tabla VI. Producción de electricidad para la UE.

En la Tabla VIII se dan los valores máximos y mínimos de cada tecnología, así como el valor medio obtenido, considerando el total de las instalaciones de cada especialidad.

En la figura 1 se representan los costes de generación de cada país, así como el valor medio para cada tecnología.

Durante 1998 el precio medio del mercado de generación de electricidad en España ha sido de 5,81 pts/kWh.

Liberalización de los mercados eléctricos.

En la Unión Europea existen dificultades estructurales importantes para lograr el mercado único de electricidad. La complejidad de los suministros eléctricos, con instalaciones de producción de gran potencia y en muchos casos vinculados a localizaciones geográficas concretas, por razones del suministro de la energía primaria, exige la disponibilidad de una red de transporte en alta tensión de largo recorrido, en la que se generan pérdidas importantes.

La Unión Europea aprobó en 1996 una directiva sobre la desregularización del mercado eléctrico, con objeto de crear condiciones favorables para que pueda intervenir la competitividad, tanto entre productores como entre distribuidores para suministrar electricidad a cualquier usuario. La aplicación de esta directiva exigirá la reforma de los marcos legales de casi todos los países miembros, para establecer el procedimiento de contrata-

ción directa o negociada de cualquier usuario con cualquier productor.

El mercado único europeo de la electricidad se irá abriendo paso lentamente, creándose áreas geográficas cada vez más extensas de carácter internacional, mejorando las redes de transporte y flexibilizando la contratación a través del ATR (Contrato de Acceso de Terceros a la Red). El proceso será lento y se llevará a cabo, principalmente, entre países colindantes, los cuales desarrollarán sistemas de distribución progresivamente integrados.

EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

Potencia y Producción Eléctrica

En 1998 la potencia instalada era de 51.791 MW, de los que 7.633 MW eran nucleares 16.533 MW hidráulicos, 22.177 MW térmicos convencionales y 5.448 MW procedían de los autoprodutores. De estos últimos, 3.279 MW son térmicos, 1.177 MW hidráulicos y 837 MW de otras energías renovables (biomasa, eólica, solar).

La producción eléctrica en 1998 fue de 188.101 GWh, de los que 38.324 correspondían a hidráulica (20,37% sobre el total), 90.775 a térmica (48,26%) y 59.002 a nuclear (31,37%).

La Regulación Española del Sistema Eléctrico en 1998

Desde 1994 hasta 1997, los principios básicos sobre los que operaba el sector

eléctrico español eran (LOSEN):

a) Tarifa única en todo el territorio nacional.

b) Sometimiento a un régimen de autorizaciones para sus instalaciones, tanto de producción como de transporte y distribución.

c) Sometimiento a los principios de planificación de las instalaciones.

d) Explotación unificada.

La tarifa eléctrica media (marco legal estable) se establecía como relación entre el ingreso previsto y la previsión de demanda de energía eléctrica. El ingreso previsto, para cada ejercicio, era el coste total del sistema más la corrección de desviaciones de ejercicios anteriores.

El 27 de noviembre de 1997 se aprobó la Ley 54/1997 del sector eléctrico, que derogó casi todo el contenido de la LOSEN de 1994, incorporando al ordenamiento jurídico español las previsiones contenidas en la Directiva 96/92/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de diciembre, sobre normas comunes para el mercado interior de electricidad.

En la nueva ley (54/1997), que se fundamenta en garantizar el suministro de energía eléctrica a todos los demandantes dentro del territorio español, hay que destacar:

- En la generación de energía eléctrica se reconoce el derecho a la libre instalación, a la vez que se organiza su funcionamiento bajo el principio de libre competencia. La retribución económica de la actividad se asienta en la organización de un mercado mayorista, abandonando el principio de retribución a través de unos costes de inversión fijados administrativamente.

- El transporte y la distribución se liberalizan permitiendo el libre acceso a las redes. La propiedad de las redes no garantiza su uso exclusivo. La retribución, por estos conceptos, continuara siendo fijada administrativamente, evitando así el posible abuso de posiciones de dominio determinadas por la existencia de una única red.

- En el caso de las centrales nucleares, entre los objetivos de la explotación de las mismas, hay que destacar la internalización de costes de la segunda parte del ciclo, lo que incentivará la minimización del volumen de residuos generados.

- Las tarifas serán únicas para todos los consumidores del territorio nacional, excepto para aquellos acogidos a la condición de cualificados, que podrán negociar el coste de producción directamente con los generadores. Las partidas que conformarán el precio de la factura eléctrica serán:

- Costes de producción
- Peaje de transporte y distribución
- Comercialización
- Costes permanentes del sistema

Unidad: TWh

TECNOLOGÍAS	1995	2000	2010	2020	Variación 1995-2020
Nuclear	813	837	757	559	-254
Hidráulica	302	320	339	360	58
Térmica + biomasa	1.190	1.367	1.770	2.226	1036
Solar + eólica	4	8	16	26	22
Total	2.309	2.532	2.882	3.171	862

Fuente: Energy in Europe

Tabla VII. Producción de electricidad para la UE, por tecnologías.

Unidad: milésima de \$(1-7-96)/KWh

Tecnología	Valor máximo	Valor mínimo	Media total centrales	Nº. Instala.
Nuclear	60,56	26,62	35,22	17
Carbón	58,36	26,27	41,90	27
Gas	76,30	21,92	40,00	22

Fuente: Datos de la OCDE (1998)

Tabla VIII. Costes de generación de electricidad por tecnologías.

- Costes de diversificación y seguridad de abastecimiento

La retribución de la generación incorpora los siguientes conceptos:

a) Sobre la base del precio ofertado al operador del mercado por las distintas unidades de producción, la energía eléctrica se retribuirá en función del precio marginal correspondiente a la oferta realizada por la última unidad de producción, cuya entrada en el sistema haya sido necesaria para atender la demanda de energía eléctrica.

b) Se retribuirá la garantía de potencia que cada unidad de producción preste efectivamente al sistema, la cual se definirá tomando en consideración la disponibilidad contrastada y la tecnología de la instalación.

c) Se retribuirán los servicios complementarios, de la producción de energía

eléctrica, necesarios para garantizar un suministro adecuado al consumidor.

EL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Los efectos ambientales tienen dos dimensiones, una localizada o microecológica y otra mundial o macroecológica. Los primeros son los que se perciben mejor, pero son más preocupantes los segundos, consecuencia de los primeros, ya que son difíciles de cuantificar y de enorme trascendencia para el futuro de la Humanidad.

Aspectos Microecológicos

Las centrales térmicas convencionales producen:

- Contaminación atmosférica (CO₂, NO_x, SO_x)

- Contaminación fotoquímica (oxidantes fotoquímicos)

- Contaminación térmica y química del agua

- Cenizas, escorias, aceites usados, disolventes, etc.

Las centrales nucleares producen:

- Contaminación térmica del agua

- Aceites usados, disolventes, etc.

- Residuos radiactivos de baja y media actividad

- Combustible gastado

Aspectos Macroecológicos

La dimensión macroecológica del deterioro ambiental es más preocupante que los efectos directos, la más significativa de estas alteraciones, relacionada con la energía eléctrica, es el cambio climático, pero ello sin olvidar la lluvia ácida o las alteraciones de la capa de ozono.

El denominado cambio climático global, constituye hoy la preocupación ambiental más importante en el ámbito macroecológico, percepción íntimamente relacionada con el incremento "artificial" del efecto invernadero.

La superficie terrestre caliente emite rayos de gran longitud de onda (en el dominio del infrarrojo) hacia el espacio. Una parte de ellos es absorbida por las moléculas de gases como el CO₂, vapor de agua, metano, N₂O, ozono y CFC, propiciando que parte del calor desprendido por la tierra vuelva a ella, produciéndose así el efecto invernadero "natural".

La combustión de carbón, fuelóleo, gasóleo y gas natural en fuentes fijas, y el consumo de gasolinas y gasóleos en fuentes móviles, han motivado la creciente emisión a la atmósfera de anhídrido carbónico (CO₂) y otros compuestos, aumentando consecuentemente la cantidad de gases de efecto invernadero en la misma.

Esta acumulación artificial de gases en la atmósfera, como consecuencia de la actividad humana, propicia un aumento "artificial" del efecto invernadero, lo que da lugar a un incremento de la temperatura en la superficie de la tierra. No obstante los conocimientos científicos actuales no permiten afirmar que estas transformaciones den lugar a un cambio climático, a pesar de lo cual empieza a existir gran incertidumbre sobre la evolución a corto, medio y largo plazo de los fenómenos atmosféricos.

En 1992 se firmó el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Los Estados firmantes se han reunido, con posterioridad, en tres



Cumbres Internacionales. En la de Kyoto, diciembre de 1997, se fijaron unas previsiones de reducción de las emisiones de CO₂, para el horizonte del 2010 respecto a 1990, para cada uno de los participantes.

En la UE la disminución se situó en el 8%, España aceptó como objetivo un incremento máximo del 15%.

Para cumplir estas cifras es imprescindible reducir la dependencia de los combustibles fósiles, lo cual se puede llevar a cabo de tres formas:

- Reduciendo la demanda de energía.
- Mejorando la eficiencia energética
- Aumentando el empleo de otras fuentes de energía.

La primera opción es muy difícil, pues es previsible que tanto los países industrializados, como los que están en vías de desarrollo, incrementen sus consumos energéticos, especialmente en épocas de precios baratos de las energías primarias.

En cuanto a la eficiencia energética, evoluciona muy lentamente y sus logros son limitados, ya que se apoya en el avance y adaptación de la tecnología, así como en la mejora de la gestión, tanto en la producción, como en la distribución y el consumo.

Respecto a la tercera alternativa, se ha de decir que la energía hidroeléctrica, la eólica, la solar y la nuclear no producen CO₂. De estas cuatro posibilidades, la hidráulica ha alcanzado, prácticamente, su techo; la eólica y la solar tienen unas capacidades tecnológicas limitadas (en estos momentos), lo que deja a la nuclear como fuente de gran producción de energía viable y no generadora de CO₂. No obstante, la actual percepción social de esta tecnología impide su crecimiento en la práctica totalidad del mundo occidental.

En la actualidad la previsión de cumplir lo acordado, por la mayor parte de los países de la UE, y por España en particular, es casi imposible.

El Protocolo de Kyoto ha introducido algunos conceptos novedosos, conocidos como mecanismos de flexibilidad, destinados a facilitar a los países desarrollados el cumplimiento de sus

compromisos, entre los que destacan los denominados "comercio de derechos de emisión" y "desarrollo limpio".

El primero, "comercio de derechos de emisión", permite que una "parte" pueda transferir un porcentaje de su cuota a otra "parte", o bien adquirirla, con lo que su nivel permitido de emisión se reducirá o aumentará en esa misma cantidad transferida o adquirida. Se trata del denominado concepto burbuja.

El segundo, "desarrollo limpio", trata de aunar los intereses de los países en desarrollo, para los que puede suponer un sistema de obtener financiación adicional para proyectos destinados a desarrollo sostenible, y los países desarrollados, que podrán aumentar su cuota de emisión en función de los proyectos financiados por ellos en los países en vías de desarrollo.

Aspectos económicos de la Protección del Medio Ambiente

La protección del medio ambiente es costosa, desde el punto de vista económico, para las industrias y naturalmente también para la industria eléctrica.

A fin de optimizar los costes, mejorar la eficiencia de las medidas a implantar para corregir los deterioros ambientales y para prevenirlos, en los últimos años, en todos los países, viene estudiándose la posibilidad de utilizar nuevos instrumentos en materia de protección ambiental.

Entre tales instrumentos cabe citar los fiscales, como son las tasas a la energía; los permisos negociables de contaminación, que abren un mercado de emisiones y vertidos; los acuerdos voluntarios y los acuerdos negociados.

La implantación de estos mecanismos, junto con la regulación directa, es decir, la utilización de un sistema mixto, puede contribuir de forma importante a disminuir los costos de la protección ambiental.

GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Gestión de los residuos radiactivos, de acuerdo con el OIEA, es el conjunto de actividades técnicas y administrativas necesarias para el manejo, tratamiento, almacenamiento temporal y definitivo de los mismos, garantizando que no supongan riesgo radiológico, indebido, para las personas ni para el medio ambiente.

ENRESA, empresa pública creada en 1984, tiene en España la responsabilidad de la gestión de los residuos radiactivos generados por todo tipo de instalaciones (energéticas, médicas, industriales y de investigación).

Características de los Residuos Radiactivos

Este tipo de residuos presenta las siguientes peculiaridades:

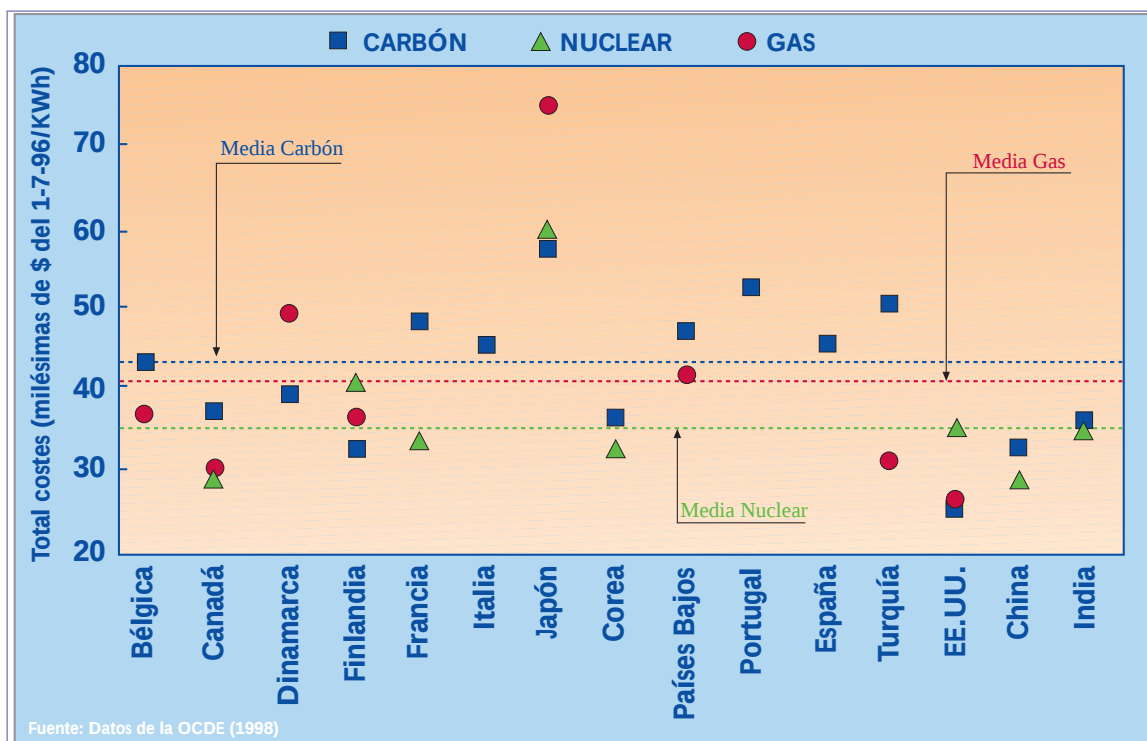


Figura 1: TENDENCIA DE COSTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.
Tasa de descuento: 5%; Factor de Carga: 75%; Años de vida: 30.

- Contienen materiales radiactivos por encima de unos valores determinados, que no permiten su liberación al medio ambiente.

- Emiten radiaciones ionizantes hasta que se convierten en elementos estables, es decir, a lo largo del tiempo pierden su condición de peligrosos.

- Se producen en pequeñas cantidades y todos ellos están inventariados.

- Son los únicos residuos en los que los costes de gestión son asumidos por quienes los producen (costes internalizados).

Clasificación de los Residuos Radiactivos

Los residuos radiactivos han sido clasificados de diferentes maneras, según el parámetro fundamental seleccionado para la determinación (estado físico, actividad radiológica, periodo de semidesintegración, etc.).

En el caso español, a efectos de almacenamiento, hay dos grandes grupos:

- Residuos de baja y media actividad.

- Residuos de alta actividad.

Se denominan residuos radiactivos de baja y media actividad (RBMA), a los que tienen una actividad específica baja, radionucleidos emisores beta-gamma con

períodos de semidesintegración inferiores a 30 años y con contenido limitado en emisores alfa de vida larga (inferior a 0,37 GBq/t).

Se denominan residuos radiactivos de alta actividad (RAA), a los que tienen una elevada actividad específica en emisores de vida corta, contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables (superior a 0,37 GBq/t) y pueden desprender calor.

Estrategia de tratamiento de los Residuos Radiactivos

La protección contra las radiaciones se basa en:

- Blindaje: Interposición de barreras entre la fuente y el receptor.

- Tiempo: Reducción del periodo de permanencia del receptor junto a la fuente.

- Distancia: Alejamiento del receptor de la fuente.

En el tratamiento de los residuos radiactivos, la aplicación de estos principios conduce a la inmovilización de los mismos, a su aislamiento del entorno humano por un periodo de tiempo y a un almacenamiento, en condiciones tales, que cualquier liberación de mate-

riales radiactivos no suponga un riesgo radiológico, no aceptable, para las personas ni para el medio ambiente. Este objetivo se logra interponiendo una serie de barreras, entre los residuos y la biosfera, que impidan o retarden la llegada de los materiales radiactivos al medio ambiente hasta que hayan perdido su radiactividad.

Gestión de los Residuos Radiactivos de baja y media actividad (RBMA) en España

La gestión de los residuos radiactivos de baja y media actividad constituye un proceso tecnológicamente resuelto y, en España, plenamente operativo.

ENRESA dispone en El Cabril, Sierra Albarrana (Córdoba), de un centro de almacenamiento final de RBMA, que garantiza la seguridad, mediante un sistema de barreras múltiples, a la vez que un estricto confinamiento durante el tiempo suficiente hasta que su actividad decaiga.

Anualmente se producen menos de 1.000 m³ de esta clase de residuos radiactivos, que están constituidos, fundamentalmente, por herramientas, materiales de operación, trapos de limpieza, filtros, jeringuillas, guantes, envases y otros materiales que, en algún momento, han estado en contacto con sustancias radiactivas. El 95%, en volumen, de estos materiales procede de las centrales nucleares, el resto tiene su origen en hospitales, centros de investigación e industrias.

Gestión del combustible gastado en España

El combustible gastado, de las centrales nucleares, constituye la práctica totalidad de los residuos radiactivos de alta actividad que se generan en España.

En estos momentos los conocimientos técnicos presentan como secuencia normal, de tratamiento del combustible gastado, la siguiente:

- almacenamiento temporal en las centrales, en las piscinas y en contenedores en seco.

- almacenamiento temporal en un ATC (almacenamiento temporal centralizado).

- almacenamiento final en un AGP (almacenamiento geológico profundo).

Los conocimientos científicos y los desarrollos tecnológicos sobre el AGP son muy amplios, prácticamente suficientes para su aplicación industrial, no obstante en ningún país del mundo se encuentra aun operativa esta solución.

Con independencia de los avances sobre el AGP, actualmente se están centrando los esfuerzos, para dar solución definitiva al combustible gastado, en el estudio y desarrollo de la tecnología denominada de separación y transmutación, la cual

Unidad: MPT 99

CONCEPTO	COSTE HASTA 31-12-98		COSTE DESDE 2000 HASTA 2070	COSTE TOTAL
	REAL HASTA 31-12-99	ESTIMADO AÑO 1999		
COSTES DE ESTRUCTURA ⁽¹⁾	30.678	3.181	158.204	192.063
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	14.826	1.577	32.860	49.262
TRANSPORTE	2.112	211	33.540	35.863
ALMACENAMIENTO RBMA	49.951	3.402	123.880	177.233
ALMACENAMIENTO INTERMEDIO DEL COMBUSTIBLE GASTADO Y RAA	15.543	1.123	97.790	114.456
GESTIÓN FINAL DEL CG Y RAA ⁽²⁾	80.248	661	445.831	526.741
CLAUSURA DE CENTRALES NUCLEARES	6.351	4.642	316.664	327.658
CLAUSURA DE OTRAS INSTALACIONES ⁽³⁾	11.057	564	3.374	14.996
GESTIÓN RESIDUOS ESPECIALES ⁽⁴⁾	2.233	421	2.694	5.347
SISTEMA OPERATIVO EMERGENCIAS ⁽⁵⁾	416	23	1.610	2.049
ASIGNACIONES A AYUNTAMIENTOS	28.594	3.183	115.176	146.953
IMPUESTO SOBRE SOCIEDADES ⁽⁶⁾	36.387	-707	-538	35.142
TOTAL	278.396	18.282	1.331.085	1.627.764

- (1) Inversiones, gastos generales y comunicación social sede central ENRESA. Incluye también Fundación ENRESA y la retribución al capital social.
- (2) Incluye el coste derivado del reproceso del combustible gastado, el almacenamiento definitivo del combustible gastado y RAA (AGP), así como la parte correspondiente al desarrollo de otras tecnologías (Separación-Transmutación).
- (3) Rehabilitación Minas de Uranio, Clausura de la FUA y La Haba, Clausura Reactores Experimentales y reforma, actualización o desmantelamiento de diversas instalaciones del CIEMAT.
- (4) Incluye pararrayos radiactivos, detectores de humo, fuentes especiales, chatarras contaminadas, etc.
- (5) Actividad de acuerdo con el Decreto de creación de ENRESA.
- (6) No tributación, a partir del año 1995, de los rendimientos financieros del fondo para la 2ª Parte del Ciclo del Combustible Nuclear. Los valores negativos son los correspondientes a las liquidaciones definitivas de dicho impuesto.

Tabla IX. Coste de la gestión del combustible gastado y de los Residuos Radiactivos.

tiene por objeto separar cada uno de los núclidos presentes en los residuos de alta actividad, y transformar aquellos que tienen vida larga en otros de un periodo de semidesintegración mucho menor e incluso en elementos inertes.

En España, en lo que se refiere al almacenamiento, se está en la primera fase, almacenamiento temporal en las piscinas de las propias centrales, a las cuales se ha aumentando su capacidad inicial mediante el cambio de bastidores (reracking). El almacenamiento temporal en seco en la central se efectuará en contenedores metálicos, esta operación se llevará a cabo cuando sea necesario y se disponga de las autorizaciones correspondientes.

Los nueve reactores nucleares existentes en España, ubicados en siete emplazamientos, generan anualmente unas 160 t (200 m³) de combustible gastado.

Situación Internacional

Las tecnologías seguidas en la gestión de los residuos de baja y media actividad son semejantes en todos los países. En cuanto a los residuos de alta actividad hay notables diferencias, según se siga un ciclo cerrado- reelaboración del combustible gastado- o un ciclo abierto- sin reproceso del combustible (caso español).

En lo que respecta a los residuos de media y baja actividad, la gestión se lleva a cabo a escala industrial mediante el almacenamiento definitivo de los mismos. Las actividades de investigación se dirigen, principalmente, a la reducción de volumen de los residuos y a la optimización del almacenamiento.

En relación con los residuos de alta actividad, con independencia de que se siga el ciclo cerrado o abierto del combustible, está plenamente desarrollado y operativo el almacenamiento temporal, tanto en húmedo (piscinas) como en seco (contenedores). La investigación se

centra, fundamentalmente, en la búsqueda de tratamiento definitivo para estos residuos (AGP y tecnología de la separación y transmutación) y en la reducción de volumen de los mismos (mayor grado de quemado del combustible y utilización de los combustibles MOX).

COSTE DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

El principio "quien contamina paga", o de causalidad, viene constituyendo, desde hace muchos años, el fundamento para la financiación de la gestión de los residuos radiactivos en los Estados miembros de la UE. Los fondos económicos necesarios para el tratamiento, o al menos en parte, se obtienen de las contribuciones de los productores de residuos, que a su vez lo repercuten a los consumidores de electricidad. Es la forma de internalizar los costes.

La Comisión Europea analizó en 1990 la problemática de los costes de gestión de los residuos radiactivos, llegando a las siguientes conclusiones:

- Costes previos al almacenamiento final:
 - Almacenamiento a poca profundidad de residuos de baja actividad, entre 66.800 y 217.100 ptas/m³.
 - Almacenamiento de residuos de media actividad y de alta actividad no vitrificados, entre 1,67 y 3,34 millones de ptas/m³.



Vista aérea del almacenamiento de residuos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba)

- Almacenamiento de residuos de alta actividad vitrificados, unos 16,7 millones de ptas/m³.

- Costes de almacenamiento final:

- Almacenamiento en superficie, o poca profundidad, de residuos de baja actividad, entre 167.000 y 501.000 ptas/m³

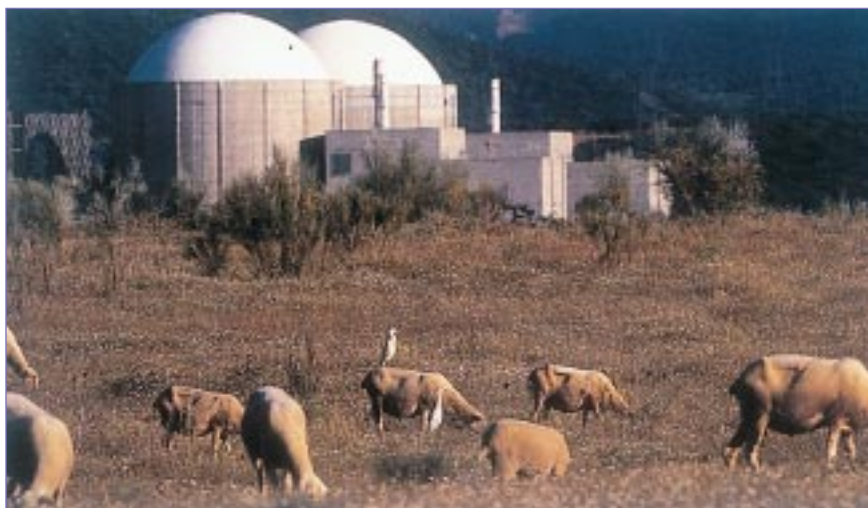
- Almacenamiento profundo, de residuos de baja actividad, entre 334.000 y 1 millón de ptas/m³

- Almacenamiento geológico profundo (AGP), para residuos de media actividad, entre 1,67 y 11,69 millones de ptas/m³

- Almacenamiento geológico profundo, de residuos de alta actividad vitrificados, entre 66 y 233 millones de ptas/m³

Debido a la falta de experiencia, puesto que todavía no ha finalizado un tratamiento completo del combustible gastado en ningún país, existen numerosas incertidumbres en lo que concierne al coste real de la gestión del combustible gastado y otros residuos radiactivos de alta actividad.

Sobre los residuos de baja y media actividad, que ya están siendo tratados industrialmente en muchos países, se dispone de datos reales sobre los costes de su gestión, los cuales a veces se apartan de los del estudio, entre otras cosas, porque los sistemas de almacenamiento empleado no coinciden con los analizados. En el caso español, la gestión de los



Unidad: mECU/KWh

	Generación incluyendo un hipotético accidente grave	Otras etapas del ciclo del combustible incluyendo la minería del uranio	Total
Bélgica	0.8	0.3*	1.1
Francia	0.6	1.9**	2.5**
Holanda	0.1	2.0**	2.1**
Alemania	0.2	1.5*	1.7
Suecia	0.7	0.1	0.8

* Calentamiento global (Bélgica 0.2 y Alemania 0.9 mECU/KWh por haberse utilizado electricidad generada por combustible fósil en el enriquecimiento del uranio)

** Reproceso 1.9 mECU/KWh

Tabla X. Costes Externos Nucleares.

Unidad: mECU/KWh

	Carbón	Gas Natural	Bioenergía	Nuclear
Coste externo medio, mECU/kWh	58	24	10	0.6*

* No se han incluido los costes del reproceso, 1,9 mECU/kWh, ya que en muchos países no se realiza.

Tabla XI. Costes externos medios (mECU/KWh) en la Unión Europea, por tecnologías.

Unidad: mECU/KWh

País	Carbón	Gas Natural	Bioenergía	Nuclear
Alemania	30-55	12-23	28-29	1.7
Bélgica	37-63	11-22		1.1
Dinamarca		15-30	12-14	
Finlandia	20-44		8-11	
Francia	69-99	19-31	6-7	2.5
Noruega		8-19	2	
Países Bajos	28-43	5,19	4-7	2.1
Suecia	18-42		3	0.5

Tabla XII. Costes externos en los distintos países, incluyendo calentamiento global, por tecnologías

residuos de baja y media actividad supone unos costes del orden de un millón de pesetas por metro cubico almacenado en El Cabril (según el PGRR)

Costes y financiación de la gestión de los Residuos Radiactivos en España

El coste de la gestión de los residuos radiactivos lo estima ENRESA periódicamente y, tras ser aprobado por el MINER, se recoge en los Planes de Gestión de Residuos Radiactivos (PGRR).

El 5º PGRR, actualmente vigente, establece las previsiones de costes que se muestran en la Tabla IX.

El modelo escogido, para la financiación de las actividades de ENRESA, consiste en un plan financiero basado en un desfase temporal entre gastos e ingresos, de manera que los costes de las actividades derivadas de la gestión de los residuos radiactivos sean asumidos por los agentes generadores de dichos residuos y, en concreto, que se dedique un porcentaje de la recaudación de la tarifa a este fin, precisamente durante el período productivo de las centrales nucleares.

Este sistema produce un desajuste temporal entre ingresos y gastos, dando origen a lo que se ha venido a denominar el Fondo para la Financiación de la Segunda Parte del Ciclo del Combustible Nuclear, que vino regulado por la Disposición Adicional 7ª de la LOSEN y por el Real Decreto 404/1996 de 1º de marzo, y ahora recogida en la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.

Esta normativa establece que este fondo tiene el carácter de provisión y sólo podrá ser invertido en gastos, trabajos y proyectos derivados de actuaciones previstas en el Plan General de Residuos Radiactivos, aprobado por el Gobierno.

En 1999 la cuota a cargar a la tarifa eléctrica es del 0,8% de la facturación, que significa una repercusión de 0,14 ptas/KWh (considerando el total de la electricidad producida), si se repercutiera sólo en la producción nuclear el coste sería de 0,46 ptas/KWh. Esta cuota cubre todos los gastos de la 2ª fase del ciclo del combustible nuclear.

La facturación del sistema eléctrico oscila entre 2 y 2,2 billones de pesetas anuales. Por consiguiente, las cantidades perci-

bidas por ENRESA se sitúan entre 16.000 y 17.600 millones de pesetas.

COMPARACIÓN DE LOS COSTES DE GESTIÓN DE LOS DESECHOS PROCEDENTES DE LAS CENTRALES TÉRMICAS: CONVENCIONALES Y NUCLEARES

En los últimos años se viene percibiendo, con claridad, que el problema de gestión de residuos tiene gran envergadura y alto coste en todas las tecnologías y fuentes de energía.

El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) ha efectuado estudios sobre las cargas económicas que se derivan de la gestión de desechos generados en la producción de electricidad, tanto a partir de combustibles fósiles como nucleares. Los análisis se han efectuado considerando, en todos los casos, centrales de 1.000 MW, con una vida útil de 30 años y funcionando con un factor de carga del 70% (unas 6.000 horas/año), con lo que los resultados son comparables.

En la evaluación se ha seguido la metodología del coste medio actualizado, aplicada generalmente por la OCDE. Todas las estimaciones se han convertido a un tipo común de coste descontado de la energía (CUN), expresado en \$USA 1991/KWh. Se ha considerado una tasa de descuento del 5% hasta el final de la vida útil de las centrales nucleares, y del 0% para el período posterior.

Ciclo del combustible fósil

En las centrales de carbón convencionales, los costes de gestión de residuos se reparten en la eliminación del SO₂ (48%), del NO_x (30%), de partículas (14%), y en las etapas iniciales (8%).

En las centrales de gas (ciclo combinado) los costos de eliminación del catalizador empleado en la reducción del NO_x representa el 99% de la gestión de residuos.

Los costos calculados para la gestión de los residuos generados, en el ciclo del combustible fósil, oscilan entre prácticamente 0 y 3,75 ptas/KWh. El extremo inferior de la escala corresponde a la generación a partir del gas y el extremo superior a la generación a partir del carbón.

Ciclo del combustible nuclear

El coste de la gestión de los residuos, según dicho estudio de la OIEA, se distribuye del modo siguiente:

- 10% primera fase del ciclo del combustible
- 24% corresponde a los costos de la fase de explotación de la central (acondicionamiento, transporte y almacenamiento

de RBMA), almacenamiento temporal, en la Central, del combustible gastado y otros

- 16% clausura de la planta
- 50% etapa final de gestión del combustible gastado.

Los costes calculados para la gestión de los residuos radiactivos se sitúan entre 0,24 y 1,06 ptas/KWh.

De la consideración de los costes calculados para la gestión de los desechos que se producen en las centrales de carbón, gas y nucleares, se observa que los nucleares se sitúan entre los del gas y los del carbón.

COMPARACIONES MEDIOAMBIENTALES ENTRE DISTINTAS FUENTES DE ELECTRICIDAD

Bajo el concepto de desarrollo ecológicamente sostenible el coste total de la electricidad va más allá de las cargas directas (inversión, combustible, operación y mantenimiento), pues también se han de considerar las derivadas de los efectos sobre las personas y el medio ambiente.

En este sentido y con el fin de calcular los costes externos de generación de electricidad de una manera común para todas las fuentes de energía, la Comisión Europea desarrolló el proyecto denominado Externe E (<http://www.externe.jrc.es>).

Basándose en él, el profesor N. Starfelt de la Real Academia Sueca de Ciencias de la Ingeniería, realizó una aplicación al caso de Suecia relacionándolo con distintos países de la UE (Nuclear Europe Worldscan, 11-2/1998)

En esta aplicación se asigna un valor, en miliecus por KWh, a cualquier daño que pueda surgir, con motivo de la producción de electricidad, de la cual no se hace responsable económicamente el productor, tales como las emisiones contaminantes, el uso de los terrenos ocupados y los efectos sobre la salud de las personas y el medio ambiente. Se incluyen todas las fases del ciclo, tanto en operación normal como en caso de accidente.

En este trabajo se han analizado 11 centrales de carbón, 12 de gas natural y de biomasa y 4 nucleares, considerando que los costes externos más importan-

tes se refieren a la salud y al calentamiento global.

Los efectos sobre la salud se evalúan por emisiones de:

- En el caso de los combustibles fósiles:
 - Partículas
 - Dióxido de carbono
 - Óxidos de nitrógeno
- En el caso de combustibles nucleares:
 - Radón (explotación minera)
 - Carbono 14 (centrales nucleares)

Los efectos sobre el calentamiento global, se han determinado aplicando valores externos desarrollados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), (46 ECUS por tonelada de CO₂ emitidas).

Los resultados del estudio ponen de manifiesto que los costes ambientales más bajos corresponden a la energía nuclear, seguidos de la bioenergía y gas natural, siendo los más altos los correspondientes al carbón. Ver tablas X, XI y XII.

ASPECTOS SOCIOLÓGICOS: CONCIENCIA CIUDADANA SOBRE ENERGÍA Y RECURSOS

Algunos científicos sociales (Inglehart) han señalado un cambio en el sistema de

valores de nuestras sociedades, en el sentido de que aquellas sociedades que, por disfrutar de niveles más altos de desarrollo, pueden garantizar mejor la seguridad personal y económica de sus ciudadanos, muestran una mayor preocupación por la calidad de vida que por la cantidad (crecimiento económico continuado).

Al mismo tiempo, los sectores económicos más acomodados serían, igualmente, los que mostrarían una mayor orientación hacia estos nuevos valores que se han dado en llamar "post-materialistas", en el sentido no de que ya no exista interés por los bienes materiales (consumo), sino de que dando estos por supuestos, los individuos pueden orientarse hacia otros valores más estéticos, de participación social, de relación con los semejantes.

La preocupación por el medio ambiente, en este sentido, no sería una cuestión pasajera o propia de algunas sociedades, sino que constituiría un indicador de un cambio social mucho más profundo que, en mayor o menor grado, afectaría al sistema de valores de todas las sociedades actuales.

Las encuestas de opinión demuestran, sin lugar a dudas, que la población española tiene unos conocimientos muy escasos, y lo que es peor, generalmente erróneos, acerca de conocimientos científicos elementales y por tanto también acerca del medio ambiente, y por supuesto, sobre la energía nuclear y los residuos radiactivos.

Los españoles confían más en el Gobierno que en las empresas, o que en los propios ciudadanos, a efectos de la protección y conservación del medio ambiente.

La imagen social de la energía solar y de la energía hidráulica es relativamente buena, mientras que la de la energía nuclear es muy negativa.

En todas las sociedades hay que diferenciar entre las actitudes (lo que los individuos realmente sienten o piensan), las opiniones (actitudes verbalizadas, en las que los individuos muestran a los demás las actitudes que desean que los demás vean, y que pueden o no coincidir con sus actitudes reales), los recuerdos de comportamiento y las predisposiciones a la acción (que pueden o no responder a la realidad de comportamientos pasados y futuros), y



los comportamientos realmente observados.

Los datos conocidos para España sugieren un enorme divorcio entre las intenciones (predisposiciones a la acción) y los comportamientos (recuerdos de comportamiento que los propios entrevistados desvelan, pero que no han sido realmente observados), lo que hace sospechar que la diferencia sería aún mayor si se pudieran observar objetivamente dichos comportamientos. En realidad, los españoles parecen responder más a estereotipos y lugares comunes que a sus propios conocimientos o experiencias personales.

Todos los datos analizados parecen demostrar que las variables que mejor explican las diferencias de opinión, de predisposiciones para la acción y de comportamientos recordados o intencionados, son la edad, la posición social, la exposición a medios de comunicación y el postmaterialismo, de manera que los más jóvenes, los de posición social alta (centro social, líderes de opinión), los que están más expuestos a la información y los postmaterialistas, son los grupos sociales más receptivos a las medidas de protección y conservación del medio ambiente desde el conocimiento y la sensatez, y no desde la ignorancia, los estereotipos y la demagogia.

Opinión Pública y Residuos

En general, el grado de conocimiento de la problemática de cada uno de los tipos de residuos está inversamente relacionada con la edad, y directamente relacionado con la posición social, con el status socioeconómico familiar, con el postmaterialismo y con la exposición a

la información. En cualquier caso, los españoles están más afectados cotidianamente por las basuras urbanas, los residuos industriales y las pilas, y menos por las excretas de ganado, los residuos agrarios y los residuos mineros.

En cuanto a la disposición a la acción, para aportar soluciones al problema de los residuos, está absolutamente claro que los españoles no parecen dispuestos a pagar el coste del reciclado de las basuras, a través de tasas o impuestos, ni a que se instalen plantas de tratamiento de basuras, ni vertederos controlados, cerca de donde viven.

La planta o depósito que más rechazo presenta (2/3 de la población) es el almacenamiento seguro de residuos radiactivos (esta misma situación se da en la mayoría de los países). Este rechazo es general en todos los segmentos sociales.

Cuando se hace referencia al dinero, a cobrar o a pagar, los españoles parecen reflexionar y opinar de manera diferente a cuando no se hace referencia al mismo. Concretamente, la gente no estaría dispuesta a aceptar dinero por autorizar el establecimiento de una incineradora de basuras cerca de donde vive, pero tampoco estaría dispuesta a pagar más, en el recibo de la luz, para lograr que se cierre alguna planta en que se produce energía de origen nuclear.

La proporción que afirma estar dispuesta a pagar el suplemento en el recibo de la luz, para lograr cerrar alguna central nuclear, no supera nunca, en ningún segmento social, a la proporción que afirma que no estaría dispuesta a ello nunca o seguramente nunca. Pero el equilibrio entre ambas proporciones

parece lograrse, en mayor o menor medida, cuanto menor es la edad de los entrevistados, cuánto más alta es su posición social, su status socioeconómico, el tamaño del lugar donde reside y el postmaterialismo, pero no parece haber relación con la ideología ni con la exposición a la información.

CONCLUSIONES

- En la actualidad la tercera parte de los habitantes del planeta no tienen acceso a la energía comercial. La mayoría vive en países en desarrollo, que representan el 90% del crecimiento demográfico actual.

- Los recursos actuales de combustibles fósiles son suficientes para soportar el crecimiento económico mundial hasta bien entrado el próximo siglo. Sin embargo, su utilización, en cada vez mayor medida, dará lugar a serios problemas medio ambientales, económicos y tecnológicos si no se aplican medidas de control de la contaminación, especialmente emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero.

- La energía nuclear podría jugar un papel primordial en la producción eléctrica y en las estrategias para combatir el calentamiento del planeta, ya que las reservas de minerales radiactivos aseguran el abastecimiento durante miles de años y no emite gases de efecto invernadero.

- Los costes medios de generación eléctrica de las diferentes tecnologías, incluyendo la conservación del medio ambiente, son (en milésimas de \$ del 1-7-1996 por kWh):

Nuclear:	35,22
Carbón:	41,90
Gas:	40,00

- Los problemas de deterioro del medio ambiente, relacionados con la energía, son globales, de ámbito macroecológico. Los compromisos adquiridos por la Comisión Europea en la Cumbre de Kioto, sobre reducción en las emisiones de CO₂, resultan prácticamente imposibles de cumplir en la situación actual.

- Las encuestas de opinión demuestran que la población española tiene una formación muy escasa y generalmente errónea, acerca de conocimientos científicos elementales. La misma situación se da acerca del medio ambiente, así como sobre la existencia de organizaciones y tecnología para el tratamiento de residuos radiactivos.

- Cualquier acción de comunicación debe enmarcarse en consideraciones energéticas globales, con referencia continua a todas las energías y siempre con atención a la potenciación del medio ambiente.

