

ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE

El sector energético es, en su conjunto, el que produce un mayor impacto sobre el medio ambiente. Este impacto tiene lugar en la generación, transporte y consumo de energía, y los efectos tienen dos ámbitos, uno localizado o microecológico y otro mundial o macroecológico.

No se puede, pues, tratar el tema de la energía sin abordar sus implicaciones ambientales porque en ello se pone en juego, nada más y nada menos, que la posibilidad de lograr un desarrollo sostenido y equilibrado, y la protección del patrimonio natural que tenemos la obligación de conservar para las generaciones futuras.

El presente trabajo de **María-Teresa Estevan Bolea** analiza la incidencia de la producción, transporte y consumo de energía sobre los diversos componentes del medio ambiente físico (aire, agua, suelo, flora y fauna) y del social.

I. INTRODUCCION

SIN energía no hay desarrollo posible, ni se puede mejorar la calidad de vida. Las relaciones entre el consumo de energía y el crecimiento económico son uno de los parámetros fundamentales del bienestar y prosperidad de la población.

Pero el consumo de energía significa también el empleo de muchos recursos, todos ellos ya recursos escasos, que requieren un uso racional, vigilando los efectos e incidencia de la producción y el consumo de energía sobre el medio ambiente.

El impacto ambiental de la energía se produce en su generación, transporte y consumo, y los efectos tienen dos dimensiones, una localizada o microecológica y otra mundial o macroecológica. Los primeros son los que se perciben mejor pero, seguramente, son

más preocupantes los segundos, porque son difíciles de cuantificar y de enorme trascendencia para el futuro de la humanidad. Empezaremos, pues, por tratar de estos últimos.

II. EFECTOS MACROECOLOGICOS DE LA PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA

Los problemas ambientales que más inquietan actualmente son los siguientes:

- Posible alteración del clima debido a la creciente presencia de CO₂ en la atmósfera.
- Lluvias ácidas.
- Pérdidas forestales y desertificación.
- Derrames de petróleo en el mar.
- Alteración de la capa de ozono.

- Radiaciones ionizantes.
- Contaminación del mar por residuos radiactivos.
- Contaminación por metales pesados y productos tóxicos.
- Contaminación de las aguas.

Los siete primeros están directamente relacionados con la producción, transporte y utilización de la energía.

El clima y el anhídrido carbónico

Posiblemente sea éste el problema ambiental más importante en el ámbito macroecológico.

La combustión de los combustibles fósiles —carbón, fuel-oil, gasóleo y gas natural— ha motivado la creciente emisión a la atmósfera de anhídrido carbónico, CO₂. Preocupan especialmente las emisiones de CO₂ que se derivan de la combustión del carbón, porque son las que más están aumentando.

El CO₂ no es un gas tóxico ni se considera un contaminante. El CO₂ es un compuesto fundamental ya que gracias a él, juntamente con el agua, es posible el fenómeno de la fotosíntesis, que da lugar a las biomásas del planeta.

El problema que plantea la presencia de CO₂ en la atmósfera se debe a la incidencia que puede tener sobre el equilibrio de la radiación en la atmósfera, produciéndose un calentamiento en las capas bajas, lo que se conoce con el nombre de «efecto invernadero». El problema se deriva de que el CO₂, lo mismo que el vapor de agua, deja pasar (es transparente) a la radiación solar pero absorbe la radiación infrarroja procedente de

la tierra, lo que puede dar lugar a un calentamiento. El efecto es igual que el que producen los tejados de vidrio en un invernadero, y de ahí su nombre.

En 1825, la concentración probable de anhídrido carbónico en la atmósfera era de 256-290 partes por millón (ppm). En 1958, su cifra se elevaba a 313 ppm, y en 1978 a 330 ppm. Suponiendo que el consumo de combustibles fósiles continúe aumentando en un 4 por 100 anual, para el año 2000 se habrá alcanzado una concentración de 380 partes por millón, cantidad superior en un 30 por 100, al menos, a los niveles existentes en el período preindustrial.

El anhídrido carbónico de la atmósfera (aproximadamente 2.600×10^9 t) está en continuo intercambio con el carbono contenido en las aguas marinas (cuya capa superficial de 100 m. contiene, aproximadamente, 840×10^9 t, y las aguas oceánicas profundas, unas 36.000×10^9 t, además de 830×10^9 t en materia orgánica) y con el carbono contenido en la biomasa terrestre (del orden de 1.500×10^9 t).

Cerca del 50 por 100 del CO_2 emitido permanece en la atmósfera, y la mayor parte del resto es absorbida por los océanos, según se desprende de cálculos realizados con modelos que representan el ciclo global del carbono.

Las emisiones específicas o factores de emisión varían según el combustible de que se trata. Expresándolo en unidades uniformes —Tec, toneladas equivalentes de carbón de 7.000 Kcal/kg.— son, por ejemplo, para el lignito de 3,4 t de CO_2 , y de 1,9 t para el gas natural.

En los últimos 125 años, la combustión de combustibles fósiles ha liberado un total de 140 billones de toneladas de carbono a la atmósfera, habiendo quedado retenido en la misma un 50 por 100 de dicha cifra.

El consumo actual de combustibles fósiles produce la liberación de 4,5 billones de toneladas anuales de carbono en la atmósfera. Una vez más, el 50 por 100 de dicha cantidad permanece allí.

¿Qué puede suceder en un futuro? Eso dependerá de los consumos energéticos y del crecimiento de la biomasa, porque también es posible que, al aumentar las zonas del planeta dedicadas a cultivos vegetales, agrarios o forestales, se modifique el equilibrio actual, en un sentido o en otro.

Se ha estimado que un cambio de temperatura de 1°C , podría causar por término medio una disminución de la producción mundial de alimentos del 1 al 3 por 100. Pero esto significaría que en algunas partes del mundo la situación podría ser mucho peor y en otras podría incluso mejorar. En general, parece tratarse de un problema de ajuste, pues los cambios pueden ser discontinuos; la detección no sería inmediata y la adaptación a nuevos sistemas agrícolas llevaría largo tiempo.

Parece que existe también una cierta posibilidad de fusión de la capa de hielo del Atlántico Norte. Como esta capa no es muy gruesa, su fusión a causa de un aumento de la temperatura podría ocurrir en pocas décadas, pues las regiones polares serían más sensibles a los cambios de concentración del anhí-

drido carbónico en la atmósfera. Dicha fusión supondría una variación del albedo y probablemente produciría un desplazamiento hacia el norte de las zonas climáticas.

Existen inquietudes también respecto a que pudieran presentarse otros problemas de desintegración de las capas de hielo del Antártico Occidental, o de los casquetes polares, y, sobre todo, respecto a la incidencia que los cambios de clima podrían tener en las zonas semi-desérticas del planeta.

Por los estudios que se están realizando, parece que durante los próximos diez años no habrá problemas, pero lo cierto es que, si siguen las tendencias del consumo mundial de energía, podría haberlos, debido sobre todo al empleo masivo del carbón en muchos de los planes energéticos de los diferentes países. España, como la mayoría de los países industrializados, está efectuando un enorme esfuerzo para sustituir el fuel-oil por carbón. Esta sustitución puede que sea positiva desde el punto de vista económico o de estrategia energética pero desde el punto de vista ambiental es un problema importante y preocupante, por sus fuertes efectos y la gran extensión de los mismos.

Posiblemente la creciente emisión de CO_2 sea el problema ambiental más importante a escala mundial.

A pesar de estas previsiones, es casi seguro que no se darán estos supuestos, por cuanto es probable que antes de veinte años gran parte de la energía que se consuma sea de origen nuclear, de fusión, utilizando el deuterio y el tritio contenido en

el agua del mar, así como el hidrógeno de la misma fuente, y también energía solar.

Las lluvias ácidas y la emisión de SO₂

El problema creado en miles de lagos suecos por las lluvias ácidas fue, quizás, la principal razón que movió a Suecia a impulsar la celebración en Estocolmo, en 1972, de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano.

Las lluvias ácidas se originan por la emisión de óxidos de azufre y de nitrógeno por las chimeneas de las industrias y de las calefacciones, y por los tubos de escape de los vehículos automóviles.

El SO₂ y las partículas sólidas reaccionan en la atmósfera física y químicamente. Tiene singular importancia la formación de aerosoles, que inciden notablemente sobre la salud, acidifican las precipitaciones y reducen la visibilidad (esta mezcla de SO₂ y partículas era el *smog* de Londres, aquella niebla espesa que hoy se ha eliminado).

En Estados Unidos se han realizado estudios sobre el terreno y se ha podido comprobar que el anhídrido sulfuroso existente en los penachos de humos de las centrales térmicas se transforma en sulfatos durante el desplazamiento en la atmósfera, a distancias entre 100 y 500 Km., por lo que afectan a amplias zonas del territorio.

Las partículas finas, partículas en suspensión o aerosoles, se decantan lentamente y, por consiguiente, son transportadas a grandes distancias, formando brumas, que en ocasiones afec-

tan a zonas del Nordeste europeo y de América del Norte, reduciendo la visibilidad a nivel del suelo y en altitud.

Estas partículas son de color grisáceo, y están formadas por una mezcla de sulfatos ácidos, de hollines y de cenizas volantes más o menos neutralizados por el amoníaco que también se emite a la atmósfera. Si estos aerosoles atraviesan zonas de la atmósfera con una humedad alta pueden formarse partículas de sulfatos muy ácidos, que al depositarse en la superficie terrestre acidifican los lagos (si caen en ellos), la vegetación o el suelo —según el lugar donde se depositen.

Como el SO₂ y los aerosoles de sulfatos se disuelven en el agua, la lluvia los arrastra y los elimina así de la atmósfera; pero, en cambio, los deposita en la superficie terrestre.

Los efectos de las lluvias ácidas han sido muy graves. En Suecia más de 10.000 lagos de un total de 90.000-100.000 se encuentran ecológicamente muertos o a punto de estarlo como resultado de la lluvia ácida. El gobierno está invirtiendo millones de coronas anuales en el bombeo de cal en los lagos para reducir su acidez.

Todos los lagos, en una superficie de 13.000 Km², de la parte meridional de Noruega se hallan sin peces. Doscientos lagos de los Montes Adirondack, Estados Unidos, carecen de pesca. En Canadá, 140 lagos se encuentran en circunstancias similares, otros 1.000 se hallan ya afectados, y 48.000 más puede que sigan el mismo curso durante la próxima década.

Un comité de la Academia Científica Nacional de los Esta-

dos Unidos ha informado que, aun al nivel actual de las emisiones, «el número de lagos afectados en Europa y los Estados Unidos ascenderá probablemente a más del doble para 1990».

El impacto económico de la lluvia ácida sobre los edificios, la pintura y las construcciones metálicas puede que sea más elevado, pero no ha sido calculado.

Cada vez es mayor la preocupación sobre el efecto de la lluvia ácida sobre la productividad forestal y agrícola. Y, aunque es muy poca la información fiable recogida, se han hecho predicciones dramáticas, tales como que gran parte de los bosques de la Alemania Federal pueden quedar afectados.

Es necesario, por consiguiente, reducir las emisiones de SO₂, de NO_x y de partículas sólidas en suspensión, y hay que tener en cuenta las interrelaciones entre las distintas fuentes de contaminación, ya que los sistemas terrestres son dinámicos y estrechamente interdependientes.

Las modificaciones de las características de los suelos y de las aguas por acción de las lluvias ácidas pueden tener consecuencias ecológicas importantes.

Si a ello se une el incremento de concentraciones de CO₂ y vapor de agua en la atmósfera, así como de óxidos de nitrógeno y otros contaminantes, el efecto invernadero de calentamiento de la atmósfera podría modificar el régimen de lluvias y afectar tanto a las tierras cultivables como a las zonas desérticas.

En 1979 más de 30 países de la CEPE, entre ellos España,

firmaron en Ginebra un Convenio para reducir la contaminación atmosférica transfronteriza, referida sobre todo a las emisiones de SO₂, NO_x y lluvias ácidas.

España sufre este problema de forma acusada, sobre todo en las Centrales de Puentes de García Rodríguez y, más aún, en la de Andorra (Teruel). El problema es de tal entidad en esta última que, si no se sustituyen gran parte de los lignitos que se están quemando, la incidencia sobre el suelo puede afectar notablemente a la fertilidad del entorno de la planta.

El problema es de difícil solución si se utilizan los carbones actuales y de forma masiva, pero es seguro que estos problemas obligarán a reducir estos consumos sustituyéndolos por otras energías alternativas, sobre todo la nuclear.

Los derrames de petróleo

El número de accidentes y derrames de petróleo en el mar ha ido en aumento en los últimos diez años.

Desde el desastre del derrame del «Torrey Canyon», a la altura de las costas de Inglaterra, en 1966 (550.000 barriles), y del ocurrido, en 1969, a la altura de Santa Bárbara, California, en el que se produjo el derrame de 77.000 barriles, los accidentes han continuado. Así el naufragio del «Amoco Cádiz» en aguas francesas, en 1978, derramó 1,5 millones de barriles, y resultó destruido el 30 por 100 de la fauna local y el 5 por 100 de su flora. La industria de las ostras de la zona se vio seriamente afectada.

En 1970 sufrió un accidente en Vigo el «Polycomander», y el «Urquiola» produjo daños importantes en La Coruña en 1976. Desde 1970 a 1978, se produjeron 46 derrames petrolíferos importantes, con un total de más de 8 millones de barriles vertidos. Todo derrame de importancia puede producir la muerte de miles de aves marítimas; es cierto, sin embargo, que pocos han tenido un impacto duradero sobre dichas aves.

Estos derrames de petróleo no constituyen la única preocupación, ya que los petroleros producen otro tipo de contaminación arrojando al agua el combustible excedente o, simplemente, limpiando sus depósitos o vertiendo las aguas de lastre.

Diversos convenios internacionales regulan el control de estos vertidos, aunque los derrames importantes se producen por accidente. Los principales convenios en este campo son el de la IMCO de 1969, el de Oslo de 1972, el de Londres de 1972, el MARPOL de 1973, etc.

Radiaciones ionizantes

La incidencia ambiental del empleo de la energía nuclear, con su correspondiente emisión de radiaciones ionizantes —radiactividad—, es fundamentalmente un problema macroecológico, de escala mundial, y que afecta sobre todo a la atmósfera, que es el sistema más frágil de los cuatro que configuran la vida del hombre en la tierra: atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera.

Y ello es así porque la acción de las radiaciones ionizantes no se puede aislar ni reducir

a un territorio o zona concreta; es decir, las radiaciones no se pueden controlar, contener o recoger en un espacio dado, sino que se extienden, se transmiten con enorme velocidad por todo el planeta.

Hay que recordar que las radiaciones son transmisiones de energía y están constituidas por corpúsculos (partículas alfa), electrones (rayos beta) y ondas electromagnéticas (rayos gamma).

Los efectos de las radiaciones dependen de su energía y ello es función, a su vez, del elemento químico de que proceden y del espectro (longitud de onda y frecuencia) en que se encuadran.

El empleo de la energía nuclear con fines pacíficos plantea dos problemas:

a) El incremento del número de centrales nucleares que se están construyendo en el mundo, lo que conlleva un aumento de las instalaciones de enriquecimiento de uranio, de reprocesado del combustible y de producción de residuos nucleares.

b) El almacenamiento o depósito final de los residuos sólidos —o solidificados— nucleares de alta actividad, problema de enorme trascendencia y que no está resuelto.

En 1981 se habían instalado en el mundo centrales eléctricas termonucleares con una capacidad —o potencia— global de 491.837 MW., correspondientes a 605 centrales.

Para finales de este siglo, alrededor del año 2000, se estima que la potencia eléctrica instalada en el mundo, cubierta por reactores nucleares, sumará un total entre 900.000 y 2.000.000

de MW., cifra realmente inquietante por su dimensión. Con estos valores se pretende que la energía nuclear cubra, en esa fecha, entre el 20 y el 26 por 100 del suministro eléctrico, basando la producción en el tipo de reactores nucleares que ahora se están empleando, es decir, los de agua ligera, con sistemas a presión o en ebullición, y usando uranio enriquecido.

El problema radica en la dimensión. Es decir, es posible que las radiaciones ionizantes procedentes de 200 ó 300 plantas nucleares no sean cuantitativamente importantes, pero, si el número de centrales eléctricas o grupos generadores —de 1.000 MW. cada uno— alcanza una cifra de 900 a 2.000, la situación puede ser distinta, sobre todo por las emisiones que se produzcan en las operaciones de enriquecimiento de uranio que estas centrales necesitarán, y en el reprocesado o re-elaboración del combustible quemado.

Más importancia tiene aún el problema de la gestión de los residuos sólidos de alta actividad. Se van a producir en cantidades muy importantes y cabe preguntarse, ¿dónde y cómo van a almacenarse o depositarse?

Actualmente estos residuos nucleares se solidifican mezclándolos con cemento, con asfalto y vitrificándolos; después se acondicionan en recipientes estancos, que disponen de varias barreras (envases) para evitar cualquier accidente y luego se depositan en estructuras geológicas terrestres adecuadas (como minas de sal abandonadas, ya que son estructuras geológicas muy estables).

En cualquier caso, el riesgo es importante y de enorme tras-

cendencia para la humanidad, por lo que los científicos tienen ante sí un reto y una enorme responsabilidad para resolver de forma adecuada la eliminación de estos desechos, ya que si bien las centrales nucleares, una por una, no representan peligro para el entorno y la comunidad en que se sitúan, los problemas globales del funcionamiento de todas ellas son uno de los problemas ambientales más importantes del mundo, y de dimensión planetaria.

El vertido de residuos radiactivos en el mar

La utilización del mar para la inmersión de residuos radiactivos se ha venido efectuando desde el año 1949 de forma continuada, anualmente, por Inglaterra hasta 1967, y bajo el control de la Agencia de Energía Nuclear (AEN) desde entonces. Los Estados Unidos también han utilizado este medio, hasta la década de los setenta.

En los últimos años, grupos ecologistas han protestado alegando que este sistema de almacenamiento de los residuos podría contaminar el mar y devolver la radiactividad vertida al ser humano.

Como consecuencia de una sugerencia realizada en el año 1965 por las autoridades de la República Federal Alemana a la AEN, se decidió efectuar, bajo la coordinación de este Organismo y mediante colaboración internacional, un estudio sobre las posibilidades de inmersión de residuos radiactivos en el océano Atlántico, la estimación de los problemas que ello llevara implicados, el coste del mé-

todo y la seguridad del procedimiento.

Con esta finalidad se preparó una operación experimental conjunta de inmersión en el océano Atlántico en la que intervinieron Alemania, Bélgica, Francia, Holanda e Inglaterra. La operación tenía por objeto el vertido de 11.000 toneladas de residuos sólidos radiactivos con una actividad total de 8.000 curios, en una zona de 5.000 metros de profundidad y suficientemente alejada de la plataforma continental.

Consecuencia de esta decisión fue la creación, en octubre de 1965, de un grupo de expertos internacionales, bajo la coordinación de la Dirección de la AEN, encargados de establecer las grandes líneas del estudio previsto y dedicados, especialmente, a la evaluación de los riesgos radiológicos asociados con las operaciones de inmersión propuestas. Este grupo estaba constituido por especialistas en oceanografía, biología marina, pesca y protección radiológica.

En los trabajos realizados por dicho grupo se tuvieron en cuenta las informaciones científicas disponibles al respecto, la experiencia adquirida por los países que habían venido realizando independientemente este tipo de operaciones, las características de los residuos radiactivos y las de los recipientes en que estaban o deberían estar contenidos. De la evaluación se dedujo que una inmersión de residuos sólidos radiactivos en el océano, a razón de 10.000 Ci/año, daría lugar solamente a la incorporación por el hombre de una actividad, debida a los radionucleidos vertidos, inferior en varios órdenes de magnitud a la

considerada como máxima permisible por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR). También dedujeron que el efecto sobre los organismos biológicos sería despreciable y limitado a algunos individuos pertenecientes a las especies que se encontraban en la vecindad inmediata de los fondos marinos de la zona de inmersión. Finalmente especificaron que los numerosos factores de seguridad adoptados para efectuar la evaluación hacían que ésta tuviese un margen de seguridad de varios órdenes de magnitud.

Estas deducciones estuvieron basadas, además, en la consideración de que las zonas marítimas para la inmersión deberían reunir, entre otras, las características siguientes:

- No existencia de riesgo alguno de recuperación de los residuos por las redes y sistemas de captación de los barcos de pesca, y, en consecuencia, tener una profundidad superior a los 2.000 metros, siendo la recomendable del orden de los 5.000.

- No existencia en los fondos marinos de corrientes turbulentas.

- Estar alejados de la plataforma continental.

- Estar situados en zonas no atravesadas por cables submarinos.

- No disponer de recursos que puedan ser explotados por el hombre en el futuro.

A partir de la operación inicial y experimental de inmersión de residuos radiactivos efectuada en el año 1967, se efectuó en 1969 una nueva operación comprobatoria y, a partir del

año 1971, se han venido realizando anualmente inmersiones, aprovechando las buenas condiciones meteorológicas del verano, en la zona elegida para los vertidos.

La zona elegida a partir del año 1969, y que cumple los requisitos establecidos en un principio y que posteriormente han sido confirmados en los tratados y convenios internacionales suscritos al respecto, era circular, con centro en las coordenadas (46° 15' N, 17° 25' O) y radio de 35 millas marítimas. A partir del año 1975, se redujeron sus límites, estableciéndose una zona rectangular, de unos 4.000 Km², comprendida entre los 45° 50' y los 46° 10' de latitud norte, y los 16° 00', y 17° 30' de longitud oeste, en la que existe una profundidad media de unos 4.400 m.

El total de residuos inmersos hasta el mes de septiembre de 1982 asciende a un total de 95.480 toneladas, con una actividad alfa total del orden de los 13.790 curios, una actividad beta-gamma total del orden de los 468.406 curios, y una actividad debida al tritio de 526.888 curios.

El desglose correspondiente a cada uno de los años en que se han efectuado operaciones de inmersión, en las que han intervenido de un modo directo —y casi exclusivamente— Bélgica, Holanda, Reino Unido y Suiza, es el que se especifica en el cuadro n.º 1.

El vertido de residuos radiactivos sólidos en aguas internacionales está incluido en las previsiones de la Convención de Londres sobre la Prevención de

CUADRO N.º 1

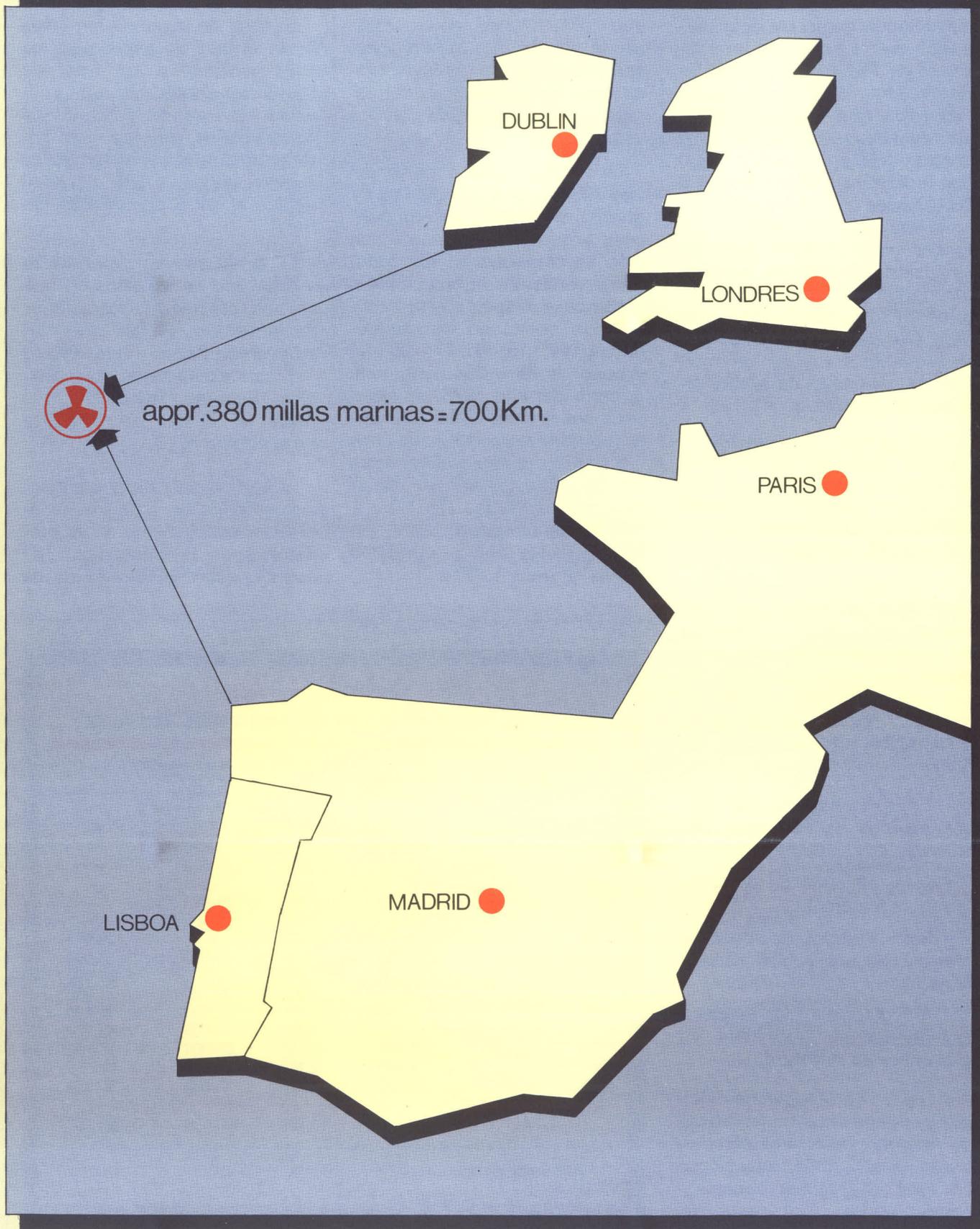
RESIDUOS INMERSOS EN EL OCEANO DESDE 1967 A 1982

AÑOS	Peso bruto (toneladas)	ESTIMACIÓN DE LA RADIOACTIVIDAD EN CURIOS		
		Alfa	Beta-Gamma	Tritio
1967	10.900	250	7.600 (*)	—
1969	9.180	500	22.000 (*)	—
1971	3.970	630	11.200 (*)	—
1972	4.130	680	21.600 (*)	—
1973	4.350	740	12.600 (*)	—
1974	2.270	420	—	100.000
1975	4.460	780	30.500	30.000
1976	6.770	880	32.500	21.000
1977	5.600	950	36.300	31.900
1978	8.040	1.100	43.000	36.600
1979	5.415	1.415	40.925	42.250
1980	8.391	1.853	83.094	98.153
1981	9.548	2.180	83.102	76.053
1982	12.456	1.412	43.985	90.950
TOTAL	95.480	13.790	468.406	526.888

(*) Comprendido el tritio.

Fuente: JEN.

MAPA 1
ZONA DE INMERSION DE RESIDUOS RADIOACTIVOS



la Contaminación en el Mar de 1972. Este convenio prohíbe el vertido de residuos radiactivos de alta actividad, que son los realmente peligrosos y preocupantes, y permite la inmersión de residuos de baja actividad.

Los residuos de baja actividad contienen tan poca radiactividad que podrían enterrarse en cualquier entorno normal, sin que esto signifique un incremento importante de la radiactividad natural de la zona.

Es importante saber lo que puede ocurrir con los residuos a partir del momento en que son arrojados al agua. Se llevan a cabo de manera continua estudios oceanográficos específicos de la zona de vertidos, especialmente en lo que se refiere a las corrientes profundas. No se puede olvidar que en el océano existe una radiactividad natural de enorme importancia: un total de unos 5×10^{11} curios, incluyendo más de 10^9 curios de radio, elemento más tóxico que el plutonio. Por lo tanto, la radiactividad adicional introducida en el océano a través de los vertidos es pequeña, demasiado pequeña, incluso, para que podamos medir directamente cualquier incidencia en las cadenas alimentarias potenciales.

El Organismo Internacional de Energía Atómica asume que es posible un vertido máximo anual de 100.000 toneladas por zona durante un tiempo prácticamente indefinido (aproximadamente 40.000 años). A juicio de este Organismo, 10^{11} curios de tritio, 10^7 curios de otros emisores gamma y alfa, y 10^5 curios de plutonio no entrañarían ningún incremento digno de tenerse en cuenta en las dosis que llegan hasta el público, dosis que serían siempre muy inferiores a las

recomendadas por la CIPR (Comisión Internacional para la Protección Radiológica). Las cifras de esta última son literalmente miles de veces más elevadas que las cantidades vertidas, de hecho, en el océano.

España no ha efectuado vertido de residuos en el mar, y a mí me parece que, a pesar de que los sistemas de control y medida no han detectado incremento alguno de radiactividad en la zona de vertidos, cosa que por otro lado era de esperar, teniendo en cuenta, por un lado, los reducidísimos niveles de radiactividad de los residuos vertidos y, por otro lado, la enorme capacidad de absorción del océano, desde el punto de vista ambiental, parece aconsejable utilizar el vertido de residuos radiactivos en el mar lo menos posible, puesto que cualquier control posterior sería casi imposible; hay grandes lagunas de conocimientos en estas materias y todas estas incertidumbres apuntan hacia riesgos no medidos ni calculados, que en la práctica conducen a recomendar la eliminación de estas operaciones.

El enterramiento subterráneo a gran profundidad es el método recomendado, en la actualidad, por la mayoría de los expertos en energía nuclear de los Estados Unidos y otros países para el almacenamiento a largo plazo de residuos radiactivos de alta actividad.

Los residuos de baja y media actividad deberían almacenarse en tierra, ya sea en superficie o en cavidades subterráneas, puesto que el control de los mismos es posible.

De los datos científicos existentes se puede deducir que la

inmersión de residuos de baja y media actividad en el mar reúne suficientes condiciones de seguridad, pero es evidente que existe una incertidumbre sobre los efectos a largo plazo debidos a la acumulación de residuos radiactivos.

Por consiguiente, parece aconsejable recomendar la reducción de los vertidos en los próximos años y, en un plazo de tiempo prudencial, cuatro o cinco años, eliminar totalmente estas prácticas de vertido, disponiendo en tierra las instalaciones adecuadas.

III. EFECTOS MICROECOLOGICOS DE LA PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA

Los efectos microecológicos, o impacto ambiental localizado de la producción y consumo de energía, son también muchos y de alta incidencia. Realmente, como puede apreciarse en este bosquejo general, el principal protagonista respecto a los efectos ambientales es el sector de la energía.

El deterioro ambiental se puede producir en la obtención de energía, ya sea primaria o secundaria, y en el transporte y consumo. Hay impactos ambientales en todas las operaciones:

- Obtención de energía secundaria: energía eléctrica térmica convencional (de carbón, de fuel-oil o gas) y nuclear.
- Transporte de los recursos energéticos: carbón, petróleo, gas, combustibles nucleares.
- Transporte y distribución de energía eléctrica: líneas de alta,

media y baja tensión, y estaciones transformadoras.

- Tratamiento de recursos: refinerías de petróleo, tratamientos de carbón, y operaciones del ciclo del combustible nuclear.

- Consumo de productos energéticos: industriales, calefacciones y vehículos.

Minería del carbón

Presenta una preocupación especial por el gran número de explotaciones y por afectar a áreas de gran extensión. Por otra parte, su repercusión es múltiple, ya que afecta al paisaje y contamina suelo, aguas y atmósfera, con mayores o menores efectos según los tipos de explotaciones.

En las explotaciones subterráneas los problemas principales se presentan después de abandonada la explotación, ya que frecuentemente suelen inundarse de forma natural, y las aguas que se filtran contaminan los ríos próximos con polvos y granos de carbón que forman rellenos de lodo, y con contenido de sulfuros y sulfatos enormemente perjudiciales para la vida vegetal y animal.

Las explotaciones a cielo abierto son las que ocupan mayores extensiones de terreno, 45 por 100 de toda la minería, y, por tanto, las que más afectan al paisaje y a los recursos naturales, especialmente al más costoso y frágil: el suelo, por la cantidad de suelo removido por encima de la capa de carbón, que a veces llega a 30 veces ésta (para las hullas) o a 20 veces (para los lignitos). Este procedimiento se convierte día a día

en el más ventajoso económicamente, dados los poderosos medios mecánicos de movimiento de tierras, y por ello ha de tenerse muy presente su impacto en el medio natural. En la provincia de Teruel este impacto es muy importante.

Las medidas correctoras a considerar son principalmente las que incluyen reposición del terreno, particularmente si era cultivable, y la desviación de carreteras y aguas que sean afectadas.

También es muy preocupante el elevado número de accidentes mortales que hay en la minería del carbón en todo el mundo, cifras que en proporción son aún mayores en España.

Las explotaciones petrolíferas

Los esfuerzos de prospección y explotación de yacimientos de hidrocarburos se centran, en lo que a Europa Occidental se refiere, en la plataforma continental próxima a las costas (Cantábrico, Mediterráneo, etc.) o en explotaciones submarinas en mar abierto (Mar del Norte), siendo menos frecuentes o importantes las explotaciones en tierra.

La minería del uranio

Además de la incidencia en el medio propia de toda minería metálica (contaminación de la atmósfera, etc.) tiene un aspecto especial por la radiactividad natural del mineral. Produce también un gran movimiento de tierras, ya que la concentración del mineral en contenido es muy

pequeña y, además, está muy diseminado en el terreno que hay que remover. Para una central de 1.000 MW. se necesitan unas 200 Tm/año U_3O_8 , para lo que se precisa extraer 3.000.000 de toneladas de montera.

La minería puede ser subterránea o a cielo abierto. En la primera es importante la buena ventilación para eliminar el radón 222 ambiental y las partículas de radio 226 en polvo. Existe igualmente el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

Sin embargo, el impacto ambiental de la minería de uranio es muchísimo menor que el correspondiente a la minería del carbón.

Energía hidroeléctrica

El aprovechamiento energético del agua exige transformaciones irreversibles (embalses, presas, azudes, canales, galerías, tuberías forzadas, etc.) que modifican sustancialmente el curso de los ríos. En España la creación de una capacidad de embalsado superior a 40.000 Hm³ ha creado costas interiores de un perímetro superior a las marítimas. Su incidencia ha sido de balance positivo; sin embargo, la transformación de condiciones locales, con modificaciones que afectan a las poblaciones asentadas en los parajes próximos, e incluso la desaparición de aldeas o municipios, tiene una incidencia social que puede ser muy importante aunque queda circunscrita físicamente a la zona.

Los efectos positivos de las presas, embalses y centrales hidroeléctricas pueden ser los si-

guientes, considerando embalses de uso múltiple:

- Generación de energía eléctrica, a partir de un recurso natural renovable en gran escala. Estas centrales son además excelentes factores de regulación de potencia.

- Control de inundaciones.
- Suministro de agua potable a poblaciones.
- Posibilidades de riego.
- Suministro de agua a la industria.
- Zonas recreativas y deportivas.

Entre los efectos negativos pueden citarse:

- Posible modificación de la calidad de las aguas.
- Pérdida de recursos, tanto renovables como no renovables.
- Utilización del suelo en detrimento de otras alternativas.
- Reasentamientos humanos.
- Alteraciones importantes del paisaje y del hábitat, sobre todo de la *biota*, tanto terrestre como acuática.
- Disolución de comunidades, estilos de vida y tradiciones culturales.
- Riesgos humanos en la construcción de presas.

Sin embargo, el balance es muy positivo, pero no cabe duda de que hay una serie de alteraciones en el ecosistema, durante la construcción y en el funcionamiento. Las mayores alteraciones se producen a través de las presas y embalses, sobre todo en el recurso agua y en la *biota*, tanto terrestre como acuática.

Por otra parte, habrá que tener en cuenta, en un futuro, las exigencias sociales, puesto que utilizar valles fértiles y zo-

nas con potencial agrícola para embalses tropieza cada vez con mayor oposición.

Producción de energía termoeléctrica

La transformación de la energía primaria en electricidad tiene una incidencia sobre el medio ambiente muy diferente según el tipo de recursos de que se parta: energía hidráulica, carbón, fuel-oil, gas natural o uranio.

En cuanto a las centrales de combustibles fósiles, sea cual fuere el recurso primario utilizado (carbón, petróleo, gas natural), todas extraen su energía mediante una combustión que genera productos de desecho gaseosos y sólidos, en mayor o menor proporción, los cuales son evacuados al medio ambiente. Por otra parte, como el rendimiento de la transformación está limitado por las propias leyes termodinámicas (normalmente entre 32 y 40 por 100), gran parte de la energía calorífica no es aprovechable, y ha de evacuarse por la chimenea y por el circuito de refrigeración. Existe aún una cuarta contaminación de las aguas, por vertidos líquidos de los equipos de tratamiento del circuito de refrigeración o vertidos de hidrocarburos. En resumen, se presentan los siguientes tipos de contaminación:

- Gases de combustión (óxidos de azufre y nitrógeno, de carbono, hidrocarburos no quemados, etc.).
- Líquidos vertidos (hidrocarburos, productos de tratamiento de aguas).

- Polvos, cenizas (residuales de combustión).

- Contaminación térmica (por chimenea y por refrigerante).

De ellos, los que revisten mayor importancia son los residuos que salen por chimenea con los gases de combustión. La fuente de mayor contaminación en el sector energético son las térmicas de carbón.

Respecto a la energía nuclear, hay que señalar que en su explotación comercial hay otras etapas, antes y después de la central termonuclear; son las correspondientes al ciclo del combustible nuclear, en el que, para las centrales de agua ligera, hay que considerar las siguientes fases: minería de uranio; fabricación de concentrados de uranio; fabricación de hexafluoruro de uranio; enriquecimiento de uranio y fabricación de elementos combustibles; utilización del uranio en el reactor (central termonuclear); transporte de residuos sólidos; reelaboración del combustible, y almacenamiento de residuos sólidos.

Quizá la fase de utilización del uranio en la central térmica es de las que produce efectos ambientales de menor cuantía.

Los tipos de contaminación que produce son dos: radiactividad y contaminación térmica. Esta última es común a las centrales térmicas convencionales, pero, en este caso de centrales nucleares, aún es más importante, ya que el rendimiento térmico es inferior al de aquellas (31 a 33 por 100) por ser la temperatura y presión del vapor producido inferiores. Además, el 100 por 100 del calor residual de las nucleares es totalmente transferido, a través del con-

densador, al agua de refrigeración, mientras que en las térmicas convencionales un 40 por 100 sale por los gases de la chimenea. Es todo esto lo que hace que una central térmica tenga que disipar por el agua de refrigeración más calor que una convencional de igual potencia.

La contaminación radiactiva representa el principal problema de las nucleares, pero las seguridades del diseño, construcción y explotación, impiden que las radiaciones de estas plantas tengan incidencia apreciable en el medio ambiente.

Incidencia ambiental derivada del consumo final de energía

Para terminar, habría que señalar los problemas ambientales que plantea el consumo final de energía; se hace referencia solamente a las emisiones de contaminantes procedentes de los tubos de escape de los vehículos.

Los vehículos con motor de explosión (gasolina) emiten monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y compuestos de plomo. El principal contaminante es el CO. Los motores de combustión (diesel) emiten partículas sólidas y líquidas, CO, CO₂, SO y NO_x.

En los vehículos con motor diesel hay que considerar, principalmente, los humos, que son hidrocarburos volátiles no quemados y partículas de carbono.

IV. CONCLUSIONES

De todo lo anterior se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1.º El impacto ambiental de la industria energética es muy alto y se produce en todas las vertientes, ya que son muy acusados los efectos sobre el medio ambiente natural y sobre el medio ambiente social, lo que puede concretarse en impactos en los cinco sectores siguientes: físico, biológico, geológico, sociológico y socioeconómico.

2.º El impacto ambiental de la energía se produce en la generación, transporte y consumo de energía, y los efectos tienen dos dimensiones, una localizada o microecológica y otra mundial o macroecológica. Los primeros son los que se perciben mejor, pero seguramente son más preocupantes los segundos porque son difíciles de cuantificar y de enorme trascendencia para el futuro de la humanidad.

3.º En el sector de la energía se trata siempre de grandes plantas de producción, lo que da lugar a grandes impactos, con efectos, unos primarios y otros secundarios, inducidos por los primeros.

4.º Se utiliza gran cantidad de recursos de todo tipo.

5.º El dilema —o más bien, en muchos casos, el enfrentamiento— entre la protección del medio ambiente y el crecimiento económico ha incidido, y sigue incidiendo, de forma realmente importante en las grandes realizaciones de la industria básica, y provoca notables conflictos sociales. Esto es particularmente cierto en las actividades relacionadas con el sector de la energía. De ahí la ne-

cesidad de tener un conocimiento y disponer de una información veraz, lo más completa posible, sobre la incidencia de las realizaciones energéticas en el medio ambiente, con objeto de que la opinión pública pueda pronunciarse y, sobre todo, pueda juzgar y sopesar realmente si los efectos de tales realizaciones en el medio son o no importantes, si son perjudiciales o beneficiosas y, en especial, si la comunidad —que va a recibir tanto los beneficios como los inconvenientes de estos proyectos— está dispuesta a admitir de buen grado las consecuencias que pueden derivarse de su realización y puesta en marcha.

Necesitan asimismo una información semejante los planificadores y/o ejecutivos de los sectores público y privado, que les permita decidir con un conocimiento real y completo del problema. Ello es posible, efectuando previamente una evaluación del impacto ambiental.