

ENERGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE-4

Por Hugo CONTRERAS NAVARRO

EL IMPACTO DE LA ENERGÍA

1. Impacto medioambiental de la energía.

Las sociedades humanas generan un importante impacto en el medio ambiente, como resultado de sus actividades. La agricultura, la ganadería y la pesca, la minería, la industria o los servicios son responsables en diferente medida de este impacto, que las más de las veces se traduce en un deterioro.

En este sentido cabe señalar a la producción y consumo de energía como una de las causas más importantes. Sus efectos se manifiestan en forma evidente en el calentamiento global, la contaminación atmosférica, la lluvia ácida, la contaminación radiactiva o los vertidos de hidrocarburos entre otras afecciones medioambientales.

Para evaluar el impacto de las actividades relacionadas con la energía debemos tener en cuenta el ciclo completo de la energía, no sólo sus etapas finales. De este modo no hemos de centrarnos únicamente en el ámbito puramente inmediato de los procesos de producción y consumo, sino que debemos estudiar también las actividades extractivas que determinadas fuentes energéticas requieren, el impacto del transporte previo a su utilización, así como los procesos de tratamiento a que deben someterse antes de ser utilizadas. Igualmente hay que estudiar no sólo los focos de emisión de contaminantes a la atmósfera, hidrosfera y suelos sino seguirlos hasta su destino final en los ecosistemas, llegando finalmente hasta el hombre. Todo ello considerando que sus efectos son susceptibles de extenderse en el tiempo y el espacio.

1.1. La contaminación y sus efectos.

Como subproducto de las actividades de producción de energía se generan contaminantes que afectan a la atmósfera, la hidrosfera, el suelo y los seres vivos. Estas emisiones contaminantes tienen una doble naturaleza. Por un lado existe una contaminación inherente a la operación normal de los sistemas de producción y por otro una contaminación producida, en situaciones catastróficas de carácter accidental. Ambas deben ser valoradas y reducidas hasta niveles asumibles en términos medioambientales y socioeconómicos.

En esencia, se trata de implementar tecnologías que permitan reducir la contaminación en origen, estudiar su impacto sobre el medio y la capacidad de éste para diluir, transferir y asimilar esta contaminación, determinando los límites por encima de los cuales los efectos pueden llegar a hacerse irreversibles. Al tiempo se intenta diseñar estrategias que permitan la recuperación del medio ambiente de los daños causados.

1.1.2. En la atmósfera.

La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases: nitrógeno (78%), oxígeno (21%), dióxido de carbono (0,04%) y otros gases inertes, en pequeñas proporciones, como el helio, neón, argón, xenón y kriptón. También existen cantidades de metano (CH₄) y otras variables de vapor de agua. Se cree que la atmósfera es el resultado de procesos químicos y fotoquímicos realizados a distintas velocidades de escape del campo gravitacional terrestre. Si se estudia la composición de la atmósfera en relación con las de otros planetas, resulta especialmente anómalo el hecho de que la atmósfera esté tan oxidada y su bajo contenido en hidrógeno. Lo primero se explica, según algunas teorías, por el efecto de la fotosíntesis de los vegetales y según otras por la fotodisociación de las moléculas de agua.

La atmósfera se divide en capas esféricas a partir de la distribución vertical de la temperatura, con sus cimas marcadas por pausas:

- Troposfera.
- Estratosfera.
- Mesosfera.
- Termosfera.

La troposfera es la más cercana a la Tierra y donde ocurren los fenómenos importantes desde el punto de vista meteorológico: vientos, anticiclones, depresiones, frentes, huracanes, nubes de lluvia, etc.; en su parte inferior conocida como capa límite y que no suele sobrepasar los 2-3 km se producen principalmente los procesos relacionados con la contaminación atmosférica. La estratosfera que se extiende desde los 10 hasta los 50 km es generalmente muy estable. La mesosfera se extiende hasta los 80 km aproximadamente. Por último la termosfera llega al límite externo de la atmósfera y recibe directamente la energía de la radiación solar y en ella tienen lugar fenómenos como la aurora.

Los agentes contaminantes presentes en la atmósfera pueden ser de origen tanto natural como artificial. Entre los primeros cabe destacar los producidos por las emisiones de polvo y gases de los volcanes, los incendios forestales naturales, o las partículas salinas dispersas por las tormentas. Aunque en ocasiones la contaminación natural ha revestido gran importancia, baste recordar los efectos del volcán Pinatubo en Filipinas, lo cierto es que la forma de contaminación que más efecto tiene en la atmósfera es la de origen humano o antropogénico.

La gran importancia que se le da a la contaminación atmosférica y a su control viene dada por una doble causa: por un lado su impacto sobre el clima, influyendo en el efecto invernadero, del que nos ocuparemos después, y por otro por su comportamiento como vehículo que transporta los contaminantes a otros lugares, a veces a grandes distancias y a otros medios como el suelo o el agua. También, con

gran frecuencia, es el lugar donde se producen reacciones químicas que generan nuevos contaminantes. La dispersión de los contaminantes emitidos por una determinada fuente, viene condicionada por factores como la velocidad del viento, las turbulencias y los remolinos que éste produce y por las turbulencias térmicas. Otros factores secundarios son la lluvia, la niebla y la radiación solar.

El mayor impacto, y el que más preocupa globalmente, es el causado por la emisión a la atmósfera de los gases producidos en la combustión, de la madera y sobre todo de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas).

Tomemos como ejemplo el carbón. Como resultado de su combustión se generan fundamentalmente:

- Gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂).
- Monóxido de carbono: CO.
- Gases precursores de la lluvia ácida: dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Vapor de agua.
- Partículas, incluyendo en ocasiones metales pesados.
- Compuestos orgánicos.

Del mismo modo, la combustión del petróleo y sus derivados, como la gasolina o el gasóleo, generan unos resultados que se asemejan a los del carbón. En ellos se puede disminuir sensiblemente la proporción de azufre, para reducir la emisión de SO₂. En el extremo contrario se encuentran las emisiones de NO_x más altas, responsables del smog fotoquímico, tan frecuente en nuestras ciudades. Igualmente es posible reducir el contenido de metales pesados, plomo, presente en las gasolinas utilizadas en el transporte terrestre. Un efecto particular es el causado por las emisiones de la aviación en la estratosfera, que es como hemos dicho especialmente estable, pudiendo verse afectada la capa de ozono por las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Las emisiones producidas por la quema de la madera se parecen a las del carbón y aunque su uso ha decaído extraordinariamente en el mundo desarrollado, el consumo de leña sigue teniendo un gran importancia en amplias áreas de África y Asia. En cualquier caso el impacto mayor viene causado por la deforestación que se genera cuando su explotación se hace de forma descontrolada.

Por último el gas natural se presenta, de forma creciente, como una alternativa más limpia, que permite reducir el impacto medioambiental del resto de los combustibles fósiles. En él resulta más fácil la reducción en su producción de la cantidad de azufre y partículas, al tiempo que en la combustión genera CO₂ y NO_x en cantidades mucho menores por unidad de energía útil producida.

La atmósfera, por sí misma, tiende a eliminar los contaminantes de varias formas:

- Lavado.
- Agregación.
- Sedimentación por gravedad.
- Turbulencia.

En el primer caso las gotas de lluvia acarrean los contaminantes al pasar entre ellos. En la agregación, se unen a las gotas que forman las nubes y se precipitan luego con ellos. La sedimentación por gravedad se da en el caso de partículas grandes (>20 micras) o de otras pequeñas que se agregan por diferentes razones

formando partículas grandes que se sedimentan. También se produce la bioasimilación de ciertos compuestos por parte de los seres vivos.

La diferencia entre el ritmo de depuración natural y el de producción de los contaminantes es la causa de que los contaminantes aumenten a escala global. Tal es el caso paradigmático del CO₂, cuya concentración ha aumentado sensiblemente en los últimos 200 años como efecto de la actividad industrial. También existen excepciones a esta eliminación de los contaminantes, especialmente en el caso de compuestos poco reactivos, cuyo tiempo de permanencia en la atmósfera puede ser muy largo.

1.1.2.1. Contaminantes secundarios: la lluvia ácida y el smog foto-químico.

Además de los contaminantes que podemos denominar primarios, se producen reacciones químicas en la atmósfera que generan nuevos agentes, contaminantes secundarios, que inciden muy negativamente en el medio ambiente originando problemas como la lluvia ácida y el smog foto-químico.

Lluvia ácida es el término que se emplea para denominar a cualquier forma de precipitación (agua, nieve, granizo o niebla) que tiene una acidez superior a un nivel determinado. El nivel de acidez, PH, a partir del cual se considera lluvia ácida es de 5,5 o inferior. La acidez normal del agua de lluvia es de 5,6, debido a la disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua. Más ampliamente el fenómeno es conocido como deposición ácida.

Las características propias de los ácidos se deben a la presencia de iones de hidrógeno H⁺, formados por un átomo de hidrógeno sin su electrón, que liberan cuando se encuentran disueltos en agua. Cuanto mayor es la concentración de iones de hidrógeno mayor es la acidez, y menor el PH, la variable con que se mide.

El análisis de la lluvia ácida pone de manifiesto la presencia de dos ácidos: ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃), en una proporción de dos a uno. Su origen está en la emisión en la atmósfera dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Estos óxidos se consideran los precursores de la lluvia ácida: liberados en grandes cantidades en la troposfera pueden transportarse a grandes distancias y originar en regiones distantes de la fuente, el fenómeno de la lluvia ácida. El proceso en esencia es el siguiente: los óxidos de azufre y de nitrógeno reaccionan en la atmósfera con el agua y el oxígeno para producir ácido nítrico y sulfúrico, que se disuelve en las gotas de lluvia o se absorbe en las partículas presentes para terminar precipitándose de esta forma en la tierra.

Las fuentes de estos contaminantes primarios, precursores de la lluvia ácida son de carácter natural (volcanes, incendios forestales y la actividad bacteriana) y antropogénico, producidos por la actividad industrial y muy especialmente por las centrales térmicas donde se queman combustibles fósiles para producir energía. Otra fuente de naturaleza antropogénica muy importante son las emisiones producidas por el transporte por carretera, basado en vehículos propulsados por motores de explosión.

La contaminación de origen humano es con mucho la principal responsable de la lluvia ácida por su mayor volumen y por la elevada concentración de los

contaminantes en las áreas industriales y urbanas. Además los niveles de emisión han tendido a crecer con la industrialización.

Los efectos de la lluvia ácida se hacen sentir sobre:

- Las aguas continentales, produciendo un descenso del PH, factor crítico en la supervivencia de los animales acuáticos, incapaces de sobrevivir en medios tan ácidos.
- Las masas forestales, especialmente las coníferas, que sufren una defoliación y una mayor vulnerabilidad ante las plagas que las hacen sucumbir finalmente.
- Las cosechas y los suelos agrícolas.
- Efectos en las construcciones humanas, sobre todo en ciertos materiales como la piedra caliza.

La lluvia ácida es la responsable de un serio declive de los bosques de Europa Central y de la acidificación y consecuente desaparición de la vida en muchos lagos de Escandinavia. Igualmente ha afectado a extensas áreas de Norteamérica y Japón.

Conscientes del problema, los países industrializados se hallan empeñados en disminuir las emisiones causantes de la lluvia ácida. La mayor parte de la responsabilidad de las emisiones de dióxido de azufre, SO₂, reside como ya dijimos, en las centrales térmicas que queman carbón y es en este campo donde se están tomando las iniciativas más importantes:

- Se trata de incidir sobre la calidad de los combustibles, sustituyendo unos tipos de carbón por otros o empleando otros alternativos como el petróleo o el gas.
- Se emplean métodos de lavado del carbón, que tienen el inconveniente de producir una gran contaminación en las aguas.
- Se emplean sistemas de combustión como el denominado de lecho fluido, de arena y caliza, que neutraliza las emisiones.
- Se instalan torres de lavado de gases (scrubbers), que hacen pasar los gases producto de la combustión a través de un spray de partículas de agua que contienen caliza disuelta y que neutraliza el dióxido de azufre.
- Se sustituyen por otras centrales (nucleares o renovables) que no consumen combustibles fósiles y no generan este tipo de emisiones.

Por último hemos de tratar un fenómeno típico de las grandes urbes, generado por las emisiones contaminantes del tráfico urbano y los efectos de las radiaciones solares: el smog foto-químico. Las ciudades que gozan de un clima soleado y sufren una elevada densidad de tráfico, como Los Ángeles o Madrid, se ven especialmente afectadas. Se origina a partir de los óxidos de nitrógeno, procedentes fundamentalmente de los tubos de escape, y los hidrocarburos presentes en el aire. Una vez en la atmósfera, reaccionan gracias a la energía de la luz solar, dando lugar al llamado smog fotoquímico. Su componente más dañino es el ozono troposférico O₃, que lejos de resultar beneficioso como el estratosférico, que a gran altura nos defiende de las radiaciones ultravioleta, provoca irritaciones en las mucosas, en los ojos y en el sistema respiratorio y daña seriamente a la vegetación. Otro contaminante secundario que también se genera en este tipo de reacciones es el nitrato de peroxiacetilo (PAN).

Entre las soluciones que se barajan, todas tratan de incidir sobre las emisiones originadas por el parque automovilístico, principal responsable del problema:

- Obligación de instalar convertidores catalíticos en los tubos de escape.
- Instalación de métodos de control por ordenador del funcionamiento del motor.
- Desarrollo de mejoras en la mecánica del motor: sistemas mejorados de inyección, convertidores catalíticos mejorados, etc.
- Utilización alternativa de nuevos tipos de motor: eléctricos, híbridos gasolina-eléctricos, de pila de combustible, hidrógeno, propulsados por gas natural, etc.

1.1.2.2. El calentamiento global: sus causas y efectos.

Todos estamos familiarizados con los invernaderos, edificios con grandes superficies de cristal o plástico que permiten el cultivo de especies vegetales propias de climas cálidos en otros más fríos. El principio en que se basan es el siguiente: el vidrio que forma el techo y las paredes del invernadero permite el paso de la radiación solar, que es absorbida por el aire, los objetos que hay dentro y por la superficie interior del invernadero, siendo emitida a su vez por éstos en forma de radiación infrarroja hacia el exterior. Sin embargo esta radiación es bloqueada por el vidrio de forma que la temperatura en el interior del invernadero aumenta.

El clima de nuestro planeta es un sistema complejo, fruto de la interacción de la atmósfera, la hidrosfera (mares y océanos), la criosfera (casquetes polares), la biosfera y la litosfera, incluyendo los suelos. Por otro lado se sabe que el clima no ha sido algo estático a través del tiempo. Gracias a las evidencias geológicas se conoce, por ejemplo, la existencia de periodos glaciares, en medio de otros más cálidos, en el Cuaternario. Entre sus causas podemos citar cambios cíclicos en las radiaciones solares, variaciones en la trayectoria e inclinación del eje de rotación terrestre. Además existen evidencias de variaciones en la composición de la atmósfera que pudieron influir en la evolución del clima en épocas pasadas.

A un nivel planetario, se estima que un tercio de la radiación solar que incide sobre la Tierra y su atmósfera es reflejada al espacio, el resto penetra y es absorbida por el aire, el agua, la tierra y las plantas, convertida en energía térmica y emitida en forma de radiaciones infrarrojas que se devuelven a la atmósfera. Los gases como el dióxido de carbono, CO₂, el metano, CH₄, el óxido nitroso, N₂O, y los CFC juegan un papel análogo al de los cristales del invernadero, permitiendo el paso de las radiaciones solares, pero cerrando el paso a las radiaciones infrarrojas y calentando por tanto la atmósfera terrestre. El vapor de agua H₂O es también un gas de efecto invernadero, pero al estar en la atmósfera en proporciones muy variables no se conoce con exactitud su contribución total en el proceso. Los gases antes citados presentes en la troposfera absorben estas radiaciones. A estos efectos sólo es importante la troposfera porque la estratosfera está térmicamente aislada de la parte más baja de la atmósfera y por tanto de la superficie del planeta.

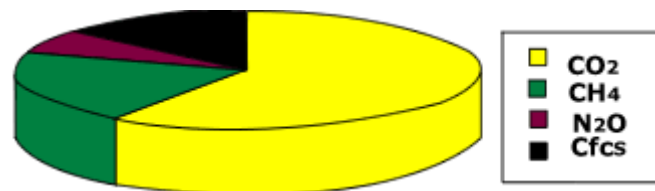
Este efecto, totalmente natural, lejos de ser perjudicial, es el que permite la existencia de la vida en la Tierra al elevar la temperatura, que de otra forma sería del orden de 33° C, más baja. De esta forma los gases de efecto invernadero, que como el CO₂, CH₄ o el N₂O, o el H₂O se encuentran de forma natural en la atmósfera se convierten en los reguladores del clima, influyendo según sus concentraciones en éste.

Dentro de este esquema hay que tener en cuenta que el nivel de CO₂ que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural, es producto del equilibrio

entre las emisiones naturales y las cantidades de este gas que se fijan por lo que se conoce como sumideros de CO₂: la cubierta vegetal y los océanos. Sin embargo el impacto de la industrialización, en los últimos doscientos años, ha venido a trastocar este equilibrio: el consumo de combustibles fósiles, que libera grandes cantidades de CO₂ inmovilizadas en eras geológicas pasadas, es el principal responsable de que las concentraciones de este gas hayan pasado de 280 a 360 ppm. Aproximadamente un incremento del 23%, entre 1870 y 1991.

Adicionalmente el aumento de la población humana en todo el planeta ha supuesto un crecimiento paralelo en las necesidades de tierra cultivable, que ha sido la causa de la roturación de enormes extensiones de bosque, generalmente por medio del fuego, sobre todo en los trópicos, destruyendo así estos sumideros y aportando cantidades muy significativas de CO₂ a la atmósfera. Muchos científicos creen que de no tomarse las medidas adecuadas y continuar creciendo al ritmo actual el consumo de combustibles fósiles y la deforestación, las concentraciones se duplicarán entre 2030 y 2050.

El CO₂ es el gas con mayor importancia en la contribución antropogénica, no natural, al calentamiento global. Se estima que es responsable de un 60% del total. Le sigue en importancia el metano, CH₄, que supone sobre un 20% y del que se estima que la mitad de sus emisiones son responsabilidad humana (ganado vacuno, arrozales y emisiones de gas natural). Al óxido nitroso, N₂O, se le atribuye una responsabilidad del 6% y su origen se atribuye a los abonos nitrogenados. Finalmente los clorofluorocarbonados (CFCs), sustancias totalmente artificiales, son responsables de un 14% del total.



Estos incrementos en los gases de efecto invernadero son, en opinión ya prácticamente unánime de la comunidad científica, los responsables de la elevación de la temperatura media del planeta experimentada en las últimas décadas. Según el informe de 2001 del IPCC, la temperatura media de la Tierra ha aumentado 0,6 °C en los últimos cien años. Las predicciones del IPCC para el año 2100 estiman que la temperatura global ascenderá entre 1,4 °C y 5,8 °C, según los cálculos. Los cinco años más calurosos que se han registrado desde 1860, fecha en que comenzaron a realizarse medidas fiables, han tenido lugar en los últimos 10 años.

Como consecuencia de este aumento global de las temperaturas se está empezando ya a constatar una reducción en la superficie de los glaciares de montaña y una disminución de los casquetes polares (En el Ártico un 10% en extensión y un 40% en grosor). Como resultado el nivel del mar podría ascender entre 0,1 y 0,9 metros. Existen otras estimaciones, como las de la NASA, que pronostican que la subida del nivel del mar será de entre 0,4 y 0,65 metros. En cualquier caso estas subidas del nivel del mar pueden ser potencialmente catastróficas al suponer la inmersión de los espacios costeros donde se concentra un elevado porcentaje de la población mundial. También se cree que el calentamiento global no será homogéneo y que será mayor en los polos que en el ecuador, con lo que se modificará la forma en que fluye el calor entre estos y se alterarán los sistemas atmosféricos (borrascas, anticiclones, etc.) lo que podría traducirse en importantes variaciones en el régimen de precipitaciones de diversas áreas con la acentuación de sequías y lluvias torrenciales. Todo ello es de esperar

que tendrá un importante impacto, por ahora difícil de estimar en los ecosistemas naturales y en las áreas cultivadas, así como en el aumento de las catástrofes producidas por causas meteorológicas.

Como hemos dicho esta visión es la más extendida entre la comunidad científica, con una abrumadora diferencia. Todo ello gracias al acúmulo de evidencias presentadas por los climatólogos, aunque existen opiniones, muy pocas, que todavía niegan que exista una relación directa entre el aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero debidas a la actividad industrial y el calentamiento global. Se aduce en contra la complejidad del mecanismo del clima y el desconocimiento de todos los factores implicados como el papel del vapor de agua, así como la existencia de cambios en el clima producidos por causas naturales en periodos geológicos anteriores.

Lo que si está fuera de toda duda es la gran complejidad de los factores implicados. Por ejemplo la actividad volcánica parece ser responsable con la emisión de grandes cantidades de cenizas a la atmósfera de la formación de un velo que refleja los rayos del sol. Igualmente las emisiones de origen antropogénico de aerosoles contaminantes provenientes de las fábricas, centrales térmicas, motores de explosión, etc. podrían estar detrás del fenómeno conocido como oscurecimiento global, consistente en una disminución de la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. Algunos científicos lo relacionan con catástrofes como las sequías y hambrunas que se produjeron en el continente africano en los años 80. También se afirma que puede estar enmascarando aumentos mayores del efecto invernadero.

Para terminar hay que decir que los científicos estiman que los mecanismos que se han puesto en marcha al alterar la composición atmosférica por la actividad antropogénica son muy difíciles de detener y aunque se logre estabilizar la proporción de dióxido de carbono en la atmósfera, dada la gran inercia del sistema climático la temperatura del planeta seguirá aumentando y con ella el nivel del mar durante siglos. Lo que sí que será posible, sin embargo, será influir en esta evolución y hacer que los daños sean menores. Para ello se han tratado de poner en funcionamiento acuerdos internacionales, como el **Protocolo de Kioto**.

Con el fin de aminorar las emisiones de CO₂ de origen antrópico se barajan distintas alternativas:

- Optar por otras alternativas no basadas en los combustibles fósiles: renovables, energía nuclear.
- Mejorar la **eficiencia energética**.
- Implementar **mecanismos para capturar las emisiones de CO₂** a la atmósfera y confinarlas en el subsuelo
- Luchar contra la deforestación.

1.1.3. En la hidrosfera.

Aproximadamente el 74% de la superficie del planeta Tierra está cubierto por agua, bien sea que esté en estado líquido o sólido. La hidrosfera está compuesta por: mares y océanos, lagos de agua dulce, mares interiores y lagos salados, ríos, marismas y humedales, aguas subterráneas, glaciares y casquetes polares. Estos últimos constituyen la llamada criosfera.

Los principales efectos contaminantes producidos por la producción de energía en la hidrosfera se derivan de:

- Los vertidos accidentales o no de hidrocarburos ocurridos durante el transporte en:
 - Desastres marítimos.
 - Averías en oleoductos.
 - Vertidos intencionados por limpieza de tanques, etc.
- Los efectos de la lluvia ácida sobre las aguas continentales.
- Los efectos de la minería y otras actividades extractivas.
- La contaminación térmica en las aguas continentales producida por las centrales productoras de energía (atómicas y térmicas).
- Los vertidos de residuos nucleares en los océanos.

Los problemas derivados de los vertidos de hidrocarburos, pueden llegar a ser de enorme importancia, afectando a extensas áreas, y alcanzando dimensiones catastróficas. Baste pensar en tragedias como la del Exxon Valdez o más recientemente del Prestige. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, también pueden ser controlados con relativa menor complicación, comparados con otros que afectan a la atmósfera, cuyo alcance es sin duda mayor a pesar de todo. En muchos casos las soluciones técnicas existen y se trata de tomar medidas legislativas e impulsar su eficaz cumplimiento para establecer políticas preventivas y correctoras que pueden con una adecuada planificación, disminuir el problema hasta dimensiones controlables o hacerlo prácticamente desaparecer.

1.1.4. En los suelos y la biosfera.

El suelo no es como podría parecer a primera vista un medio inerte, que se limita a ser mero soporte de las actividades de los seres vivos. Constituye un sistema complejo y dinámico integrado por tres componentes: partículas minerales, detritus y organismos que se alimentan de esos detritus. En él se producen procesos biológicos y geoquímicos fundamentales para el mantenimiento de los ciclos de los nutrientes. De este modo el suelo provee a las plantas de nutrientes, actuando también como el medio en el que crecen. En resumen, de su mantenimiento depende el sostenimiento de los ecosistemas terrestres y particularmente de los cultivos humanos.

Con respecto a los agentes contaminantes, se aprecia que su pervivencia en el suelo es más larga que en la atmósfera o la hidrosfera, por lo que con frecuencia son más difíciles de detectar, factor que ha influido en la menor preocupación que la contaminación del suelo ha generado tradicionalmente. Además las diferencias existentes en los diversos tipos de suelo y su cubierta vegetal hacen más difícil cualquier intento de generalización sobre el particular.

Entre los procesos de degradación de los suelos inducidos por las actividades relacionadas con la producción de energía se encuentran:

- La acidificación.
- La contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos (hidrocarburos).

La primera, consecuencia de la lluvia ácida, de la que hemos tenido tiempo de ocuparnos, depende de dos factores: la carga de contaminantes recibida y de la propia sensibilidad del suelo. Para evaluar el impacto del depósito se ha creado el concepto de carga crítica, umbral por debajo del cual no se registran efectos apreciables. Igualmente es aplicable al segundo tipo de contaminación.

Finalmente existen otros impactos sobre el suelo relacionados con la energía que se derivan de la minería del carbón, especialmente a cielo abierto, que suponen la destrucción total de ecosistemas enteros y graves problemas que no siempre son fáciles de subsanar con medidas correctoras.

Los efectos sobre la biosfera pueden clasificarse del siguiente modo:

- Sobre la cubierta vegetal.
- Sobre los animales y especialmente el hombre.

Ambos, animales y plantas, sufren un estrés añadido causado por la contaminación que los hace más vulnerables a otros factores ambientales como enfermedades y parásitos. Lo que provoca que con frecuencia sea difícil aislar los efectos de un contaminante determinado.

Los efectos sobre la vegetación son causados fundamentalmente por la lluvia ácida y el ozono troposférico y pueden tomar dimensiones muy graves en algunos lugares, como ha ocurrido con grandes áreas forestales en Europa Central y Norteamérica. Un caso especial es el de los líquenes, asociación simbiótica de un hongo y un alga, que son extremadamente sensibles a la contaminación atmosférica, lo que les ha valido el jugar un papel de bioindicadores de la salud de la atmósfera de un determinado lugar

La interacción de los contaminantes y los animales, a nivel celular y molecular tienen un especial interés. En lo que toca a los seres humanos son causantes de problemas crónicos y agudos:

- Enfermedades respiratorias: bronquitis crónica, enfisema, asma, etc.
- Cáncer, al producirse una interacción entre los contaminantes y el material genético, con el resultado de la producción de mutaciones. Aunque no está claramente establecida, por la gran diversidad de los factores implicados, la relación directa entre cáncer y contaminación atmosférica.

Finalmente hay que hacer notar los efectos corrosivos que los elementos contaminantes tienen sobre los materiales que componen los bienes de los seres humanos: metales, piedra y cemento, pinturas, papel, cerámicas, etc. Los contaminantes más corrosivos son el dióxido de azufre, el ácido sulfúrico, el ozono troposférico y el ácido nítrico. Quizá la manifestación más dramática de este problema sean sus efectos sobre el patrimonio histórico y artístico de la Humanidad, visible en muchos cascos históricos y áreas monumentales del mundo industrializado.

1.1.5. La contaminación radiactiva.

Se pueden cifrar los principales impactos medioambientales de la energía nuclear en los siguientes puntos:

- Peligro de accidente nuclear.
- Peligro de utilización bélica.
- Producción de residuos radiactivos.
- Contaminación térmica de las aguas.

El problema más acuciante y el más visible para la opinión pública, altamente sensibilizada sobre el particular, es el peligro de un accidente que pueda producir la liberación incontrolada de altas cantidades de radiactividad al medio ambiente. En 1979 se produjo el accidente de Three Mile Island en los EE.UU., el más grave ocurrido hasta la fecha en el mundo occidental. Se produjo una fusión parcial del núcleo del reactor de la central, pero gracias a que las medidas de seguridad existentes funcionaron supuso un mínimo escape de radiactividad al medio. Como resultado en el mundo occidental se incrementaron las medidas de seguridad y se implementaron planes de evacuación de las áreas adyacentes a las centrales nucleares.

Sin embargo, en la década siguiente, en 1986, este incidente se vio ampliamente superado por la catástrofe ocurrida en Chernobil, en el territorio de la extinta URSS, hoy Ucrania. Su impacto sobre el medioambiente, la economía y la salud de los habitantes de un amplia área de Bielorrusia, Rusia y Ucrania fue enorme. Como resultado del accidente se produjo la liberación de grandes cantidades de radiactividad a la atmósfera cuyos efectos se extendieron y se hicieron notar por un amplia área del continente europeo. Fue necesario evacuar de un amplio radio en torno a la central a centenares de miles de habitantes, a pesar de lo cual un número indeterminado y muy elevado de personas, especialmente trabajadores de los servicios de emergencia, quedaron expuestas a unas dosis muy altas de radiación que se cree que han causado ya un número muy grande de casos de cáncer.

Según un reciente y polémico **informe** de la OMS (septiembre de 2005) el número de fallecidos podría terminar llegando a 4000, aunque afirma que los fallecimientos efectivamente constatados hasta la fecha no superan los 50. Según este informe el número de casos de cáncer de tiroides en niños y adolescentes alcanza los 4000, aunque con un alto nivel de supervivencia entre los afectados. Otras fuentes, como la organización ecologista **Greenpeace** son bastante más pesimistas y estiman en 67.000 los fallecidos por causa del accidente en el periodo comprendido entre 1990 y 2004.

En cualquier caso las consecuencias han sido desoladoras para el futuro de la región, con grandes extensiones de terreno inutilizables en mucho tiempo por la contaminación, una fuerte pérdida demográfica y con la amenaza pendiente de nuevas fugas procedentes del sarcófago en que ha sido confinado el reactor nuclear, que al parecer se está deteriorando. Las causas del accidente estuvieron en las deficiencias estructurales del reactor, de un modelo cuyo uso estaba descartado en Occidente por su inestabilidad, y en los bajos niveles de preparación científica y técnica del personal implicado, sumados al secretismo, la opacidad y el desprecio general por la seguridad de la ciudadanía y el medioambiente de que hacía gala el sistema soviético, víctima de sus propias carencias intrínsecas.

En nuestro país el organismo competente en materia de seguridad nuclear es el **Consejo de Seguridad Nuclear**

Como resultado inmediato de estos accidentes la confianza de amplios sectores de la sociedad en la energía nuclear se ha visto seriamente disminuida, lo que ha supuesto un parón en los planes previstos de desarrollo de la misma, sobre todo en los países de la OCDE. Como consecuencia de los problemas relacionados con el

calentamiento global y la inestabilidad en los mercados de petróleo, en la actualidad han crecido las voces favorables a la energía nuclear, poniendo de relieve el hecho de que supone producir energía eléctrica sin aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero y con unos bajísimos niveles de emisión de radiactividad al medio, en condiciones normales.

Otro problema adicional es el originado por el hecho de que la tecnología nuclear puede ser de doble uso: civil y militar. La misma tecnología que puede permitir la creación de centrales nucleares para producir energía eléctrica con fines pacíficos puede modificarse para ser utilizada con fines bélicos y constituir una amenaza para la paz mundial. Aunque es cierto que la industria nuclear civil no ha estado nunca involucrada en el desarrollo de armas nucleares, el desarrollo de instalaciones de enriquecimiento levanta un fuerte recelo internacional. Recordemos el reciente caso de Irán o el más antiguo de Irak. Otros países como la India, Pakistán o Israel, que se han dotado de armamento nuclear, lo han hecho en reactores de investigación, que no eran de uso civil. Un peligro relacionado también con conflictos armados, que recientemente se ha puesto de relieve, es la posibilidad de sufrir atentados terroristas con potenciales consecuencias catastróficas.

Por último, pero no menos importante, es el problema de los residuos nucleares. Como consecuencia de la actividad de las centrales nucleares se generan isótopos radiactivos cuya peligrosidad y larga vida hace que constituyan un serio problema. Es cierto que hay otras actividades como la industria o la medicina que también generan estos residuos, pero son las centrales nucleares las que los originan en mayor cantidad y de mayor duración.

Los residuos radiactivos se clasifican en tres categorías:

- Baja actividad.
- Media actividad.
- Alta actividad.

Los dos primeros, presentan menor problemática, por las moderadas dosis de radiación que emiten. En casos de muy baja actividad se opta por su dilución y dispersión en el medio ambiente, sólo en el caso de que ello no suponga elevar de forma inadmisiblemente la radiactividad natural. En el resto de casos su tratamiento consiste en depositarlos en contenedores especiales que se almacenan en superficie, para después confinarlos en depósitos subterráneos controlados, en terrenos geológicamente estables. En nuestro país existe una instalación de este tipo, El Cabril (Córdoba), gestionada por **ENRESA**, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, con capacidad para 50.000 m³ para este tipo de residuos. Hasta 1992 también se vertieron en el mar encerrados en bidones especiales, con el grave riesgo que esto supone en caso de deterioro del contenedor, ya que una vez vertidos es imposible ningún tipo de supervisión de su estado.

El problema más grave lo plantean los residuos de alta actividad, restos del combustible utilizado en las centrales y de armamento atómico. Su vida útil puede llegar a varios cientos de miles de años. Como consecuencia, tras un periodo de decaimiento, el combustible gastado debe ser almacenado (ciclo abierto). Existe la alternativa de reprocesar el combustible usado (ciclo cerrado) y utilizarlo en plantas especiales, con el fin de utilizar el uranio y el plutonio presentes en los residuos y disminuir el volumen total de éstos. En cualquier caso, también el residuo final debe ser almacenado de forma segura por largo tiempo. La solución técnica que se maneja es su vitrificación y almacenamiento en contenedores especiales no corrosibles, que se emplazarían a gran profundidad, en depósitos refrigerados de alta seguridad en terrenos de una gran estabilidad geológica.

En Estados Unidos está ya operativa desde 1999, la instalación denominada WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) para almacenamiento geológico profundo de residuos de alta actividad producidos en el programa de defensa y existen planes para crear una instalación de este tipo por parte del Departamento de Energía en el emplazamiento de Yucca Mountain. Países como Francia, Japón o Reino Unido han optado por el ciclo cerrado y el reprocesado, mientras que otros como Suecia lo han hecho por el ciclo abierto y su almacenamiento profundo. Nuestro país ha optado en la actualidad, por mantener estos residuos en las piscinas habilitadas al efecto dentro de las centrales nucleares, de acuerdo con el Quinto Plan General de Residuos Radiactivos, que retrasa la toma de cualquier decisión hasta el año 2010.

Por último, hay que hacer notar que la relativa corta vida de las centrales nucleares hace que se produzcan en su desmantelamiento grandes cantidades de residuos de alta, media y baja actividad que han de ser tratados por los procedimientos antes descritos.

1.2. Otras formas de impacto ambiental.

Además de todo lo referido hasta ahora existen otros impactos ambientales derivados de la producción energética. Son quizá menos importantes globalmente, pero en muchas ocasiones tienen una gran efecto en el ámbito local.

Ni siquiera las conocidas como energías renovables, verdes o limpias están exentas de ciertos costes ambientales. Entre ellos podemos destacar:

- Los derivados de la construcción de grandes centrales hidroeléctricas.
- El impacto sobre el paisaje y la avifauna que pueden crear los parques eólicos.
- Los problemas de deforestación que el uso incontrolado de la biomasa puede generar.
- Los problemas causados por los tendidos eléctricos.
- La invasión de espacios naturales para hacer realizar explotaciones petrolíferas.

La construcción de grandes embalses para producir energía hidroeléctrica supone el desplazamiento de los habitantes de la zona, así como variaciones en el régimen natural de los cursos fluviales. Como consecuencia extensas áreas pueden verse afectadas, viéndose sumergidos por las aguas ecosistemas enteros y zonas de cultivo. El ejemplo más evidente de ello en los últimos tiempos es el de la presa de las Tres Gargantas, en China. Es el mayor proyecto realizado hasta la fecha con fines energéticos y su construcción ha implicado el desplazamiento de más de 1 millón de personas y de más de 140 núcleos urbanos.

Los científicos creen que la acumulación de cienos y sedimentos, interrumpida por la gigantesca presa, puede generar graves problemas que afecten a la vida útil del mismo e incluso a la navegabilidad del Yangtzé. Para evitarlo se han tomado medidas que faciliten su salida por medio de una serie de agujeros en la parte inferior de la presa y que además permitan mantener el caudal ecológico.

Por otro lado, existe el temor, más que fundado, de que al represarse las aguas aumente la concentración de contaminantes en el río, ya de por sí elevada. Así mismo el proyecto amenaza gravemente la supervivencia de especies como el

esturión chino, auténtico fósil viviente, que vería reducidas sus áreas de desove y al escasísimo delfín chino (*Lipotes Vexillifer*) del que se cree que pueden quedar unas decenas de individuos. Para terminar el proyecto inundará importantes monumentos y yacimientos históricos.

El gobierno chino argumenta que la presa producirá a partir de 2009 el 10% de la energía consumida en el país, con un potencial de 17680 MW, y evitará quemar 50 millones de toneladas de carbón al año reduciendo así de manera importante las emisiones de CO₂ y de óxidos de azufre y nitrógeno. Además impedirá inundaciones catastróficas, muy graves en el pasado, protegiendo a una población de 15 millones.

Los parques eólicos y los tendidos eléctricos pueden causar, sin las medidas correctoras adecuadas, un importante impacto sobre las aves, produciendo una elevada mortalidad de algunas especies de gran envergadura como águilas perdiceras, imperiales, milanos, cigüeñas, etc. Se calcula por parte de la **Sociedad Española de Ornitología** que son 25.000 las aves muertas anualmente en los tendidos eléctricos en España. Las muertes se producen sobre todo por electrocución al posarse las aves en torretas de diseño peligroso y entrar en contacto con los cables. También, en menor medida, por el choque con los cables o las palas de los rotores de los aerogeneradores. Ya existen algunos proyectos que han permitido reducir en gran medida la mortalidad de especies protegidas allí donde se han puesto en práctica, pero aun siguen sin generalizarse en los tendidos más antiguos y más peligrosos. Por último este tipo de instalaciones son también responsables de importantes modificaciones en el paisaje.

Los problemas de deforestación asociados con la explotación de la biomasa se producen cuando se sobrepasa la capacidad del bosque de regenerarse. Esto ha sucedido muchas veces en el pasado. No tenemos más que contemplar el estado de muchos de nuestros montes, afectados por años de explotación abusiva, sometidos a una fuerte presión para extraer leña y fabricar carbón vegetal. Este problema se ha reducido extraordinariamente en los países desarrollados, donde se practica en general, una explotación del bosque basada en criterios racionales. Sin embargo subsiste todavía en muchos países del Tercer Mundo, donde la biomasa es con frecuencia el único recurso disponible para la mayor parte de la población.

En último lugar se encuentra la invasión de espacios naturales, sobre todo para crear instalaciones petrolíferas. Existen múltiples ejemplos en los últimos tiempos, en la Amazonía ecuatoriana, el Golfo de Guinea, etc. Pero el de más actualidad, sin duda, es el de la pretensión del gobierno de los EE.UU. de abrir a las explotaciones petrolíferas amplias extensiones de la Reserva Ártica, creada en los años 50 en Alaska y que atesora una valiosísima fauna ártica. Los efectos en estos casos no se limitan a los de las propias instalaciones, sino a la creación de oleoductos, carreteras, etc. que terminan por hacer imposible la supervivencia de la fauna salvaje.

2. Impacto socioeconómico de la energía.

El funcionamiento de la economía mundial se basa en el consumo de energía. Sin ella sería imposible extraer las materias primas necesarias, ni hacer funcionar el sistema productivo para generar los bienes y servicios que la sociedad necesita, tampoco su transporte ni el de las personas. Gracias a disponer de un suministro

adecuado y suficiente de energía las sociedades desarrolladas disfrutaban de un elevado nivel de bienestar.

En principio parece evidente establecer una correlación entre consumo energético y nivel de vida: los países más ricos, fuertemente industrializados y urbanizados, con importantes sistemas de transporte y una fuerte mecanización, consumen cantidades muy superiores de energía per cápita, mientras que los más pobres con economías a veces de mera subsistencia se limitan a actividades primarias y artesanales y tienen un escaso desarrollo industrial, lo que se traduce en un bajo consumo energético. Igualmente en los países ricos se disfruta de múltiples comodidades en los hogares gracias a disponer de multitud de electrodomésticos que utilizan importantes cantidades de energía, mientras en muchos países pobres millones de personas carecen de acceso a servicios básicos como el agua, la electricidad, el teléfono, etc. Estas diferencias se ilustran en el siguiente cuadro.

TABLA 1
Consumo de Energía Comercial Primaria en el Mundo Evolución por Áreas (Mtep)

Área geográfica /año	1987	1990	1996	1997	Cuota Total %
América del Norte(*)	2.095	2.231	2.471	2.490	29,3
América del Sur y Central	253	270	341	357	4,2
Europa	1.738	1.739	1.787	1.782	20,9
Antigua Unión Soviética	1.353	1.397	923	891	10,5
Oriente Medio	226	253	340	352	4,1
África	191	212	249	258	3,1
Asia y Oceanía	1.493	1.746	2.307	2.376	27,9
Total Mundo	7.352	7.850	8.421	8.509	100
Países OCDE	4.202	4.437	4.917	4.950	58,2
Unión Europea (15)	1.266	1.308	1.395	1.389	16,3

(*) Incluye Méjico
Fuente: Foro Nuclear, "Energía 1999"

Sin embargo cabe hacer una matización a la afirmación anterior ya que un consumo elevado puede también ser debido a una falta de eficiencia, cuando no al simple derroche de recursos. De este modo es perfectamente posible obtener cuotas de bienestar idénticas o superiores con un consumo de energía inferior, gracias a las mejoras en el ahorro y la eficiencia energética, que se producen por los avances tecnológicos y las variaciones en los hábitos sociales. De hecho el desarrollo de políticas que estimulen la eficiencia energética se ha convertido en un impulsor del I+D+I (Investigación + Desarrollo + Innovación), que puede traducirse en importantes ventajas competitivas para las empresas y los estados.

Si nos centramos en la evolución del consumo mundial de energía primaria desde el término de la 2ª Guerra mundial, podemos observar como hasta la década de los 70 se produjo un incremento sostenido, satisfecho gracias a aumentos correlativos en la producción energética. Además en este periodo el papel del petróleo fue creciendo en importancia hasta hacerse dominante: en 1971 el petróleo suponía un 49% del total frente a sólo un 29% del carbón. El escenario era entonces el de un fuerte crecimiento económico sostenido por un consumo creciente de petróleo que se suministraba a precios bajos.

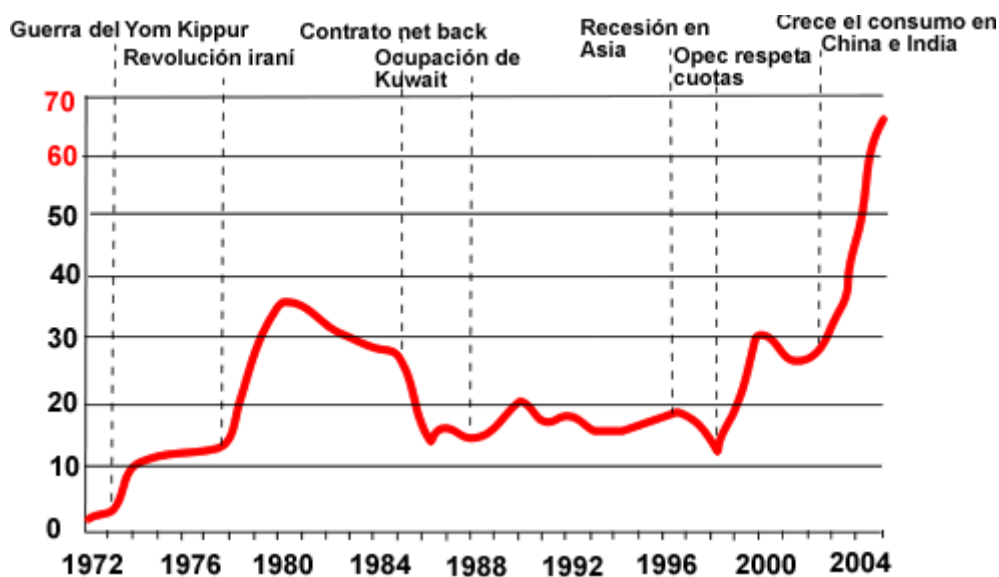
Este escenario de precios energéticos bajos tuvo su final con la crisis energética de 1973. Una crisis energética se define como un desajuste temporal entre la oferta y la demanda de energía, lo que genera un inevitable incremento de su precio. Esta crisis tuvo como causa inmediata la decisión de la OPEP, organización que agrupa a una parte fundamental de los países productores de petróleo, de quintuplicar los precios del petróleo en bruto, que pasó de 2 a 10 \$.

Como consecuencia de la fuerte subida de los precios del crudo, los países más industrializados, importadores netos de crudo, sufrieron una fuerte disminución en el crecimiento económico, un aumento del desempleo y un alza de la inflación que alcanzó tasas de dos dígitos. Igualmente, como consecuencia del encarecimiento de los productos energéticos se produjo en ellos un deterioro en la balanza de pagos con el exterior. Por otro lado los países menos desarrollados, no tardaron en experimentar también las consecuencias, por la contracción que sufrió el comercio internacional, y sufrieron un fuerte empobrecimiento y endeudamiento, al tiempo que los países exportadores de petróleo aumentaron de forma muy importante sus ingresos, obteniendo cuantiosos superávits en su balanza de pagos.

La consecuencia más inmediata de la crisis energética en las políticas de los países industrializados fue la toma de conciencia de los gobiernos de la vulnerabilidad de sus economías, excesivamente dependientes del petróleo. Hay que tener en cuenta que las dos terceras partes de las reservas existentes se localizan en Oriente Medio, una de las áreas más calientes del planeta en términos geopolíticos. Todo ello supuso un acicate para el desarrollo de nuevas políticas más favorables, al menos en teoría, al ahorro, el aumento de la eficiencia energética y la diversificación de las fuentes de abastecimiento, con el fin de reducir la dependencia.

En 1979 la Revolución Islámica en Irán supuso la llegada de un régimen político hostil a Occidente y la desaparición del mercado mundial de 4 millones de barriles diarios. Ello trajo consigo el alza de los precios hasta los 40 \$ por barril. Con la disminución del precio del petróleo que se produjo a mediados de los 80, gracias a la producción de otras áreas como México, Alaska y el Mar del Norte, el consumo de petróleo volvió a una senda de crecimiento pero con tasas más moderadas. Por áreas, se aprecia en este periodo una relativa estabilidad en Europa, frente a un fuerte desplome en los países integrantes de la ex Unión Soviética tras la caída del muro y un fuerte crecimiento en los países de Asia y el Pacífico.

Los sucesivos conflictos que se han ido produciendo en el segundo tercio del siglo XX en Oriente Medio (Guerra del Yom Kippur, Revolución Iraní e invasión de Kuwait) han tenido su correspondencia en un incremento paralelo de los precios del barril de crudo. Sin embargo los efectos de estos acontecimientos han sido más moderados en intensidad y duración comparados con el alza sostenida que se viene experimentando en los últimos tiempos. En la actualidad el precio del barril ya supera los 70 \$.



Evolución del precio del barril en \$.Fuente: Wenceslao Martínez del Olmo.

Esta fuerte subida se atribuye a diferentes causas, algunas de ellas coyunturales como la reciente escalada bélica que se sufre en Irak o el conflicto por la nuclearización de Irán. Sin embargo no es posible obviar el importante papel que puede jugar a medio y largo plazo el aumento de la demanda en las economías emergentes de Asia, China e India fundamentalmente.

Estos países, que no hay que olvidar, suman una tercera parte de los habitantes del globo, están experimentando un fuerte desarrollo en todos los aspectos, que afortunadamente les está llevando a dejar atrás la pobreza en que se encontraban. Lógicamente este desarrollo lleva aparejado el que fracciones cada vez mayores de su población accedan a comodidades que aquí son frecuentes, pero que allí no están en absoluto generalizadas, como el uso de vehículos particulares o algo tan elemental como la electricidad doméstica. Todo ello hace suponer, con todo fundamento un incremento de las demandas energéticas aun mayor en el futuro. Éstas generarán, sin duda, nuevas tensiones en el mercado.

A pesar de que las reservas de petróleo crecieron en los últimos 25 años del siglo XX de 90.000 millones de toneladas a 140.000 (BP Statistical Review) y que se han producido grandes avances en las técnicas de exploración y producción de hidrocarburos, muchos expertos albergan serias dudas sobre la posibilidad de que se pueda satisfacer en los próximos años las nuevas demandas a precios accesibles.

De hecho en los años 50, un geólogo norteamericano llamado M. King Hubbert predijo, basándose en las estadísticas, que la producción petrolífera en los EE.UU. alcanzaría un punto máximo en los 70 para empezar a decaer inflexiblemente a partir de entonces. El tiempo le dio la razón. Las causas de su acierto radican, de manera sucinta, en que el ritmo al que crece la explotación de los yacimientos para cubrir la demanda creciente es superior a aquel en que lo hace la exploración y descubrimiento de nuevas reservas. Para terminar de complicar el panorama, hay que añadir las incertidumbres que genera el hecho de que las 2/3 partes de las reservas mundiales de petróleo se encuentran concentradas en Oriente Medio, escenario de frecuentes conflictos internacionales y de tensiones bélicas constantes.

En el caso del gas natural y del carbón la situación es algo mejor, con reservas estimadas de 150 billones de metros cúbicos del primero y suficientes para

satisfacer la demanda actual del segundo durante 200 años. Además están más repartidas por el planeta.

Esta situación, de agotamiento de las reservas, lleva a muchos expertos a pronosticar que el modelo energético actual basado en el consumo de petróleo va a entrar en una fuerte crisis en un horizonte nada lejano, cuando la demanda sobrepase a las posibilidades de la oferta. Aunque hay que precisar que la opinión no es unánime, en absoluto.

En cualquier caso las implicaciones económicas y geopolíticas que se derivarán del fin de este ciclo basado en el petróleo, especialmente cuando empiece a visualizarse con claridad el final, son hoy por hoy una incógnita.

Para saber más: (**[Especial mercado y crisis del petróleo de Tecnociencia ; Artículo del especialista de Repsol YPF Wenceslao Martínez del Olmo, en Madrid+D.](#)**)

3. Bibliografía

Cambio climático [en línea]. [s.l.]: Tecnociencia, 2003. [ref. de 25 de noviembre de 2005]. Disponible en web:

<http://www.tecnociencia.es/especiales/cambioclim/Default.htm>

DELÉAGE, Jean Paul. La energía: tema interdisciplinar para la educación ambiental. Madrid: MOPT, 1990. 209 p. ISBN 84-7433-679-1

Energía y desarrollo. Rojas Rodríguez, Sebastián (coord.). Cáceres: Universidad de Extremadura, 2001. 202 p. ISBN 84-772-3465-5

Jornadas sobre el futuro de la energía: 28-29 de octubre 2003. Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2004. ISBN 84-9566-227-2

Mercado y crisis del petróleo [en línea]. [s.l.]: Tecnociencia, 2004. [ref. de 26 de julio de 2006]. Disponible en web:

<http://www.tecnociencia.es/especiales/petroleo/petroleo1.htm>

MENÉNDEZ PÉREZ, Emilio. Energía y sostenibilidad : incidencia en el medio marino. A Coruña: Netbiblo, 2003. 155 p. ISBN 84-9745-054-X

NEBEL, Bernard J. ; WRIGHT, Richard T. Environmental science : the way the world works. London : Prentice-Hall International, 1996. XXI, 698 p. ISBN 0-1339-8124-X

Protocolo de Kioto: situación actual y perspectivas [en línea]. Madrid : WWF/Adena, [200-?]. Disponible en web:

<http://www.wwf.es/descarga/Protocolo%20Kioto.pdf>

RISTINEN, Robert A.; KRAUSHAAR, Jack J. Energy and the environment. New York: John Wiley & sons, 1999. XVI, 367 p. ISBN 0-471-17248-0

SMITH, Kimberly K. Powering our future: an energy sourcebook for sustainable living. New York: IUniverse, 2005. XXI, 354 p. ISBN 0-595-33929-8

Hugo CONTRERAS NAVARRO

hcontreras@pas.uned.es

Biblioteca de Ingenierías de la UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia)
<http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/index.htm>