

LA ENERGIA DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOLOGICO

Por

S. ORDOÑEZ y F. MINGARRO

PUBLICADO EN LA REVISTA LAS CIENCIAS, DE MADRID, TOMO XLII, NUM. 2



LITOGRAPH

Josué Lillo, 23

Madrid

1977

LA ENERGIA DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOLOGICO

Por S. ORDOÑEZ y F. MINGARRO
(Departamento de Petrología. Universidad Complutense).

I. INTRODUCCION

Si hubiese que calificar de alguna manera la década de los años setenta, habría de ser la década de la energía. Los precios del petróleo han supuesto para el mundo occidental, al decir de los economistas, el fundamento y origen de la crisis económica actual.

Nunca una especie animal o vegetal puso en tan grave peligro el equilibrio del planeta Tierra, como la especie humana. El crecimiento demográfico, junto con el crecimiento incontrolado del consumo han llevado a poner en trance de desaparición los recursos energéticos, e incluso dificultar gravemente la vida animal o vegetal sobre el planeta.

Los sistemas termodinámicos naturales son un continuo evolucionar hacia el equilibrio. La actividad humana con un crecimiento vertiginoso, tanto en el consumo de energía per cápita (duplicado cada 50 años), como en el propio crecimiento demográfico (duplica la población cada 35 años), tienden a desequilibrar gravemente el sistema. Hablando en términos geológicos, 35 ó 50 años no representan en el registro estratigráfico sino algunos milímetros de espesor de una serie sedimentaria. En ese tiempo miles de millones de toneladas métricas de CO₂, han sido lanzadas a la atmósfera, las explosiones nucleares han liberado cantidades ingentes de isótopos radioactivos, elementos químicos venenosos han sido liberados de su atrapamiento natural y lanzados a la atmósfera primero y luego a las aguas continentales y oceánicas, productos químicos artificiales como el DDT, han visto aumentar peligrosamente año a año su contenido en los sedimentos oceánicos... La humanidad en su carrera consumista bate todos los records y las consecuencias son imprevisibles.

La geología tiene unas leyes más o menos ajustadas, pero desde luego inequívocas: la evolución de la atmósfera, o de la hidrosfera en el curso de los tiempos geológicos han sido la causante de la evolución de los seres vivos; si la actividad humana hace evolucionar los parámetros químicos y físicos de la atmósfera y la hidrosfera, y en pequeña medida lo está consiguiendo, los procesos evolutivos naturales serán estimulados en cualquier sentido y desde luego de una manera incontrolada para nosotros mismos.

II. TIPOS DE RECURSOS ENERGETICOS

Los tres tipos básicos de fuentes de energía, son la energía solar, la energía derivada de reacciones nucleares y la energía propia del planeta como tal y en relación con otros cuerpos celestes, esta fuente de energía se la denomina energía planetaria.

La energía solar actual, se manifiesta bajo una acción directa de calentamiento, y bajo una acción indirecta traducida en efectos físicos de evaporación, creación de corrientes de convección cuya dirección y sentido, viene regulada por la cinemática del punto que se mueve sobre una esfera. Hay un efecto bioquímico importante, la fotosíntesis, que transforma la energía solar en materia vegetal, que sirva de base a toda la actividad biológica sobre el planeta. La materia orgánica producida, normalmente se disipa por oxi-

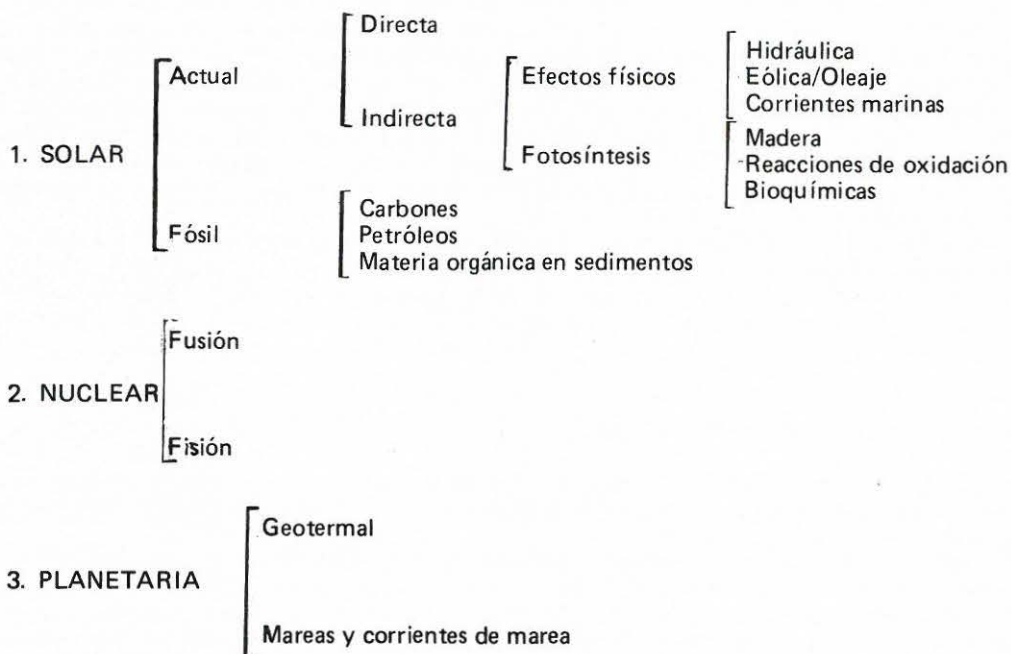
dación espontánea en la atmósfera e hidrosfera, salvo en casos excepcionales, en zonas de bajo contenido en oxígeno, que es extraordinariamente poco soluble en el agua.

Esta materia orgánica, conservada en los sedimentos, constituye el origen de los combustibles fósiles. Las reacciones de oxidación de la materia orgánica actual pueden ser controladas y pueden constituir una fuente de energía potencial.

Las posibilidades de la energía nuclear de fisión arrancan de los experimentos de Otto HAHRI (1939) y Enrico FERMI (1942) que desarrolló el concepto de "reacción en cadena". Los reactores nucleares para producción de energía han sido señalados como la gran solución al problema de la energía, sin embargo las limitadas reservas mundiales de U.235 y U.238 hacen que esta solución, a parte de presentar algunos problemas discutibles de contaminación isotópica y residuos de aguas calientes, no constituya más que un puro tránsito hacia soluciones más apropiadas. La fusión nuclear, no presenta por el momento más que una posibilidad potencial. La reacción deuterio-tritio que puede ser la más adecuada para ser controlada está condicionada por la escasez del litio 6 en la naturaleza, del cual se obtiene el tritio.

La energía planetaria presenta varias manifestaciones aprovechables realmente: el calor interno disipado por el planeta que constituye la base de la energía geotérmica y la atracción sobre el planeta de otros cuerpos celestes, cuyo resultado son las mareas y corrientes derivadas. El campo gravitatorio terrestre influye en algunos aspectos energéticos manifestación de la energía solar actual. El campo magnético terrestre, podría ser una fuente potencial de energía, hasta el momento inexplorada.

CUADRO I TIPOS DE ENERGIA



De todos los recursos energéticos que someramente se describen en el Cuadro I, la energía solar actual y la energía planetaria pertenecen al tipo de "recursos energéticos renovables", es decir, que su consumo no implica una disminución sensible de reservas energéticas del recurso de que se trate. Por el contrario la energía solar fósil (combustibles fósiles) y la energía nuclear tienen unas reservas limitadas y su consumo es tal, que se ve a escala humana el final de dichas reservas. A este tipo de recursos energéticos se les denomina "no renovables".

III. EL PROBLEMA QUE PLANTEA EL CONSUMO DE LOS COMBUSTIBLES FOSILES

"Lo peor que se puede hacer con el carbón es quemarlo".

Los combustibles fósiles representan la acumulación durante millones de años de materia orgánica en zonas realmente privilegiadas.

La formación de una capa de 1 m. de carbón supone la acumulación durante 10.000 años de materia orgánica, en unas condiciones tales que una pequeña desecación de la turbera o un cambio climático interrumpiría el proceso. El espesor original de la turba que originó la capa de carbón sería de casi treinta metros, ya que en el proceso de coalificación la reducción del espesor original es de casi una treintaava parte del espesor original.

En cuanto al petróleo, el problema de maduración es aún más complejo porque se trata de una fase fluida que puede evolucionar en el seno de los sedimentos y llegar a la superficie y oxidarse si no encuentra una trampa que interrumpa su camino. El tiempo que tarda la materia orgánica en pasar a hidrocarburos puede cifrarse entre 10 y 15 mil años.

Las reservas mundiales de energía solar fósil representan valores aproximados $2 \cdot 10^{23}$ Julios, de las cuales un 88 por 100 son carbones y lignitos, siendo el resto combustibles del tipo del petróleo.

CUADRO II

ENERGIA SOLAR FOSIL (NO RENOVABLE)

EN CONJUNTO REPRESENTAN: (BANWELL, 1974) $2,646 \cdot 10^{23}$ Julios
(HUBBERT, 1971) $2,265 \cdot 10^{23}$ Julios

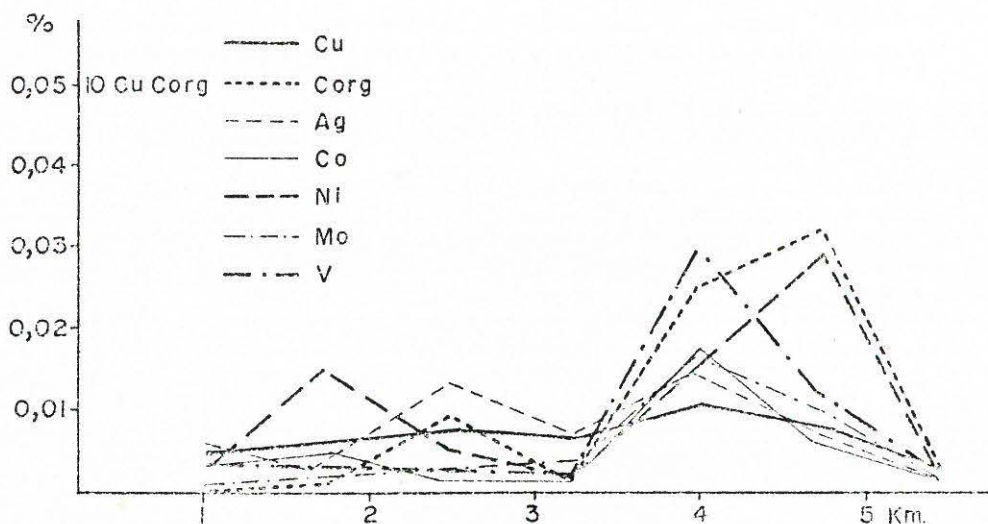
1. Carbón y Lignito	88,84
2. Gas natural.	4,67
3. Petróleo.	5,16
4. Arenas Bituminosas	0,008
5. Pizarras bituminosas.	0,005

Sólo un día del año 1985 la humanidad consumirá 10^{18} Julios y estaremos a la mitad de la fatídica carrera que nos llevará a acabar con nuestras reservas de combustibles fósiles, que allá para el año 2.142 se habrán agotado (BANWELL, 1975), y esto contando con las combustibles nucleares, porque de otra manera el problema se nos plantearía mucho antes.

La combustión de las reservas de energía solar fósil presentan además una serie de aspecto desestabilizadores del más alto interés. Es sabido que la acumulación de la materia orgánica lleva consigo la acumulación de elementos químicos que tienen una alta tendencia a asociarse a la materia orgánica. Esto es fácil de demostrar: los yacimientos de sulfuros asociados con lutitas bituminosas, que se han denominado tradicionalmente tipo MANSFELD, constituyen un ejemplo natural incuestionable.

En la Fig. 1, se observa la relación entre la materia orgánica y los elementos químicos Cu, Ag, Co, Ni, Mo y V en el corte realizado en la cuenca pérmica de Polonia, pero aparte de estos elementos otros con

CONT LIT SUB-LIT PLATAFORMA



As, Re, Sn, Ga, Se, In, Cd, Bi, Sb, Te, Tl, Au, Be, Sr, B, Hg, U y Th se detectan en cantidades superiores al clark regional, es decir están concentrados en la materia orgánica.

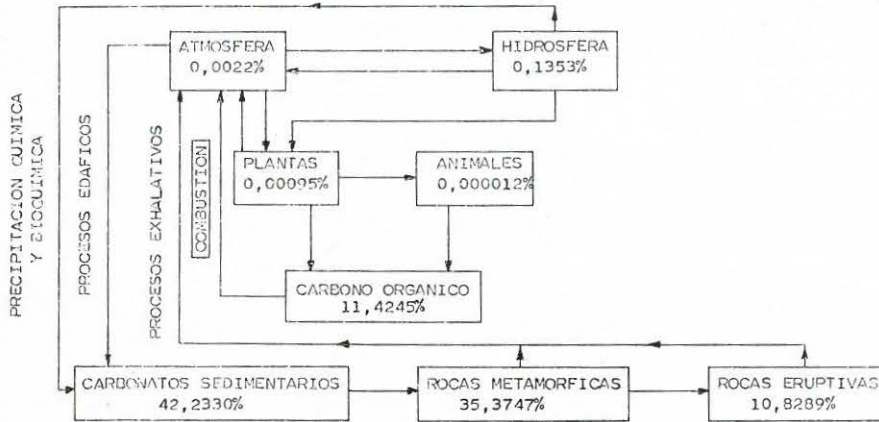
El ciclo geoquímico de los metales pesados se puede ver en la Fig. 2 donde se observa cómo estos metales transportados normalmente por formas orgánicas coloidales (chelación) son incorporados por los seres vivos o por partículas minerales activas en su superficie para concentrarse como sulfuros o bien como formas adsorbidas por la materia orgánica, precisamente por debajo de la redoxclina (línea de $Eh = 0$) es decir en condiciones en las cuales también se conserva la materia orgánica.

La mineralogía es compleja, comunmente sulfuros, sulfarseniuros, arseniuros y sulfatos más raramente.

En la combustión, estos metales, así como el azufre y el arsénico se liberan y pasan a la atmósfera dando lugar a una polución que se hace sentir de una manera importante en áreas urbanas, con problemas para la salubridad humana, animal y vegetal aún lejos de acotar pero fáciles de sospechar. Así el dióxido de azufre (SO_2), su derivado por efecto de la luz solar el SO_3 y el ácido sulfúrico aparecen en las zonas contaminadas, con un efecto clarísimo sobre edificios y desde luego con un efecto corrosivo sobre tejidos animales y vegetales. El plomo que se añade a los combustibles de automóviles, cerca de 250.000 Tm de plomo tetraetilo en USA en el año 1971, se incorpora a la atmósfera de tal manera que en los hielos de Groenlandia se encuentra en la actualidad unas quinientas veces más de plomo que hace dos mil años. El cobre está en la naturaleza en cantidades de 0,003 ppm. Cuando este valor sube por encima 0,1 ppm es extraordinariamente peligroso, pudiendo hacer desaparecer la vida oceánica. El mercurio es extraordinariamente peligroso para el sistema nervioso y se han registrado concentraciones anormalmente elevadas de mercurio en algunos tipos de peces de zonas contaminadas. Todos los elementos químicos, que se liberan en las combustiones, son lanzados en una primera etapa a la atmósfera y son las precipitaciones las que se encargan de introducirlos en el ciclo hidrogeológico que acaba en las aguas oceánicas.

El nitrógeno de la materia orgánica es liberado como dióxido de nitrógeno, que bajo los efectos de la luz solar puede pasar a monóxido de nitrógeno, produciendo oxígeno atómico, que reacciona con el oxí-

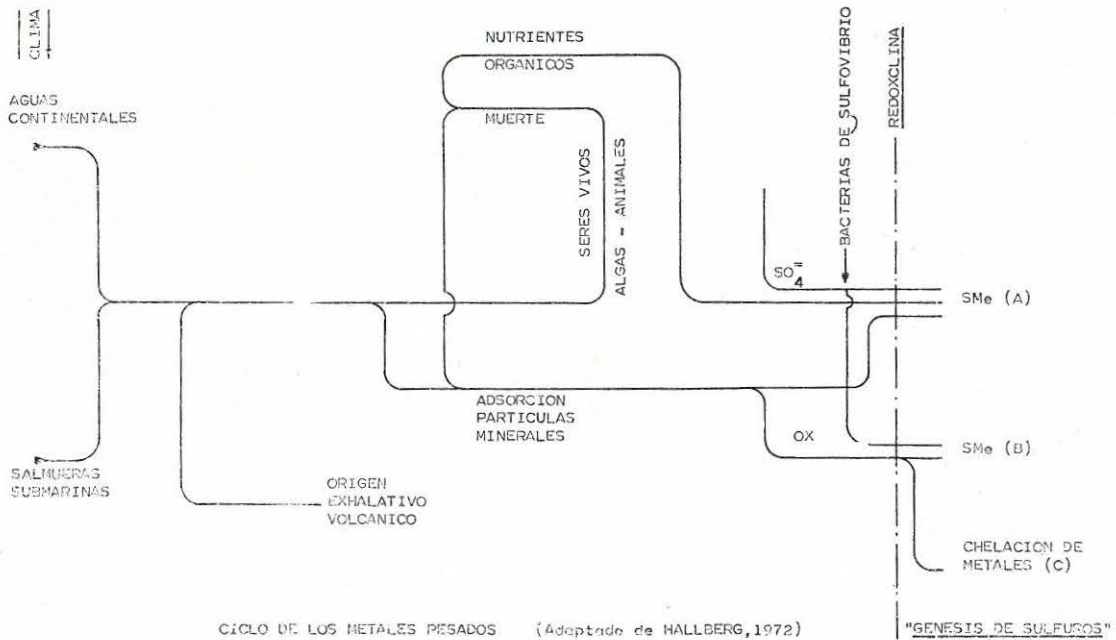
CICLO DEL CARBONO



Según datos de DIETRICH, 1963

geno atmosférico para dar ozono. Pero además los hidrocarburos no quemados y los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar por efectos fotoquímicos para dar lugar al PAN (nitrato de peroxiacetilo), que es oxidante energético, que junto con el ozono, son responsables de la destrucción de la vegetación, problemas respiratorios en los seres humanos...

En un solo día del año 1985 nuestra especie lanzará al espacio del orden de 50 millones de Tm de CO₂. En el cuadro III se ve el ciclo del C en la naturaleza. Teniendo en cuenta que el contenido en la atmósfe-



CICLO DE LOS METALES PESADOS (Adaptado de HALLBERG, 1972)

"GENESIS DE SULFUROS"

ra es del orden de $0.6 \cdot 10^{12}$ Tm. y que en un sólo día pueden lanzarse a la atmósfera $16 \cdot 10^6$ Tm de carbono, no resulta difícil señalar que en unos 100 años la proporción de CO_2 en la atmósfera se hará doble, que además el equilibrio atmósfera-hidrosfera en cuanto a contenido en CO_2 se desplazará, aumentando el contenido en CO_2 en las agua oceánicas, con una influencia extraordinaria sobre la vida marina, abriéndose así un abanico de posibilidades incontroladas que cuestiona por sí sólo la utilización incontrolada de los combustibles fósiles.

IV. EL MITO DE LA INEXHAUSTIBILIDAD DE LOS COMBUSTIBLES NUCLEARES

La energía nuclear de fisión, ha representado la gran alternativa al problema de la energía, de tal manera que se ha pensado en ella como la gran solución.

Los enemigos de la utilización de la energía nuclear han creado la teoría, a veces basada en la realidad, del peligro y de los riesgos de las centrales nucleares; no es propósito de este trabajo defender ni atacar estas posturas. Efectivamente los riesgos existen, los problemas de incidencia sobre la salud humana son cuestionables, ahora bien como dice WATKINS et al (1975) "los riesgos de la energía nuclear son menores en comparación con otros combustibles".

A todos estos problemas, uno más y de gran interés viene a añadirse: las reservas de uranio-235, el que se utiliza en los denominados reactores "burner" o térmico como se ve en el cuadro IV, son aproximadamente del orden de unas mil veces menores que las de la "energía solar fósil". Si se consideran reactores "breeders" reproductores, las reservas se multiplican por cien pudiendo utilizarlo al máximo las posibilidades llegar a valores en reservas del orden de los combustibles fósiles.

La fusión nuclear la incluimos a título indicativo y con sus posibilidades teóricas.

CUADRO IV

FISION NUCLEAR (NO RENOVABLE)

Adaptado de BANWELL (1975)

REACTORES QUEMADORES (BURNER) (U235)	$1.74 \cdot 10^{20}$	JULIOS
REACTORES REPRODUCTORES (BREEDERS) (U235 + U238)	$2.41 \cdot 10^{22}$	JULIOS
REACTORES REPRODUCTORES (MAXIMO RECUPERABLE)	$2.41 \cdot 10^{23}$	JULIOS

FUSION NUCLEAR (NO RENOVABLES)

1. REACCION DEUTERIO + TRITIO (*)	$2.08 \cdot 10^{23}$	JULIOS (**)
2. REACCION DEUTERIO + DEUTERIO (*)	$6.10 \cdot 10^{30}$	JULIOS

(*) Esta reacción viene limitada por el Tritio que debe de obtenerse a partir del Litio 6 (HUBBER, 1971)

(**) Para Estados Unidos de América.

(***) Valor teórico obtenido suponiendo que la energía que puede producir el Deuterio que se encuentra en 50 Km^3 de agua marina es igual a todos los combustibles fósiles (WATKINS, 1974). Y que el volumen de aguas oceánicas es de $1380 \cdot 10^6 \text{ Km}^3$

V. LOS RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES, UNA SOLUCION ACEPTABLE

Si la energía solar que el planeta recibe en poco más de 18 días se pudiera recoger, su valor sería del orden del de todos los combustibles fósiles existentes. La radiación solar, es pues una importante fuente de energía cuyo consumo no supone problemas de contaminación, ni problemas de agotamiento de reservas. En el cuadro V, se señalan los valores teóricos de la energía en watios que recibe el planeta y el balance de su distribución, así como las posibilidades teóricas de aprovechamiento.

La energía calorífica del sol puede ser aprovechada mediante células solares situadas sobre la superficie del planeta o bien en órbita; la eficiencia en la conversión de energía es del orden del 10 por 100. La energía calorífica solar es tan importante que, prácticamente, aún manteniéndose el ritmo de crecimiento actual, se estaría muy lejos de poder llegar a un consumo del mismo orden de valores, que los que supone esta fuente de energía.

La energía hidroeléctrica, es una manifestación de la energía solar. Todos los años $4.46 \cdot 10^{14}$ Tm. de agua se evaporan en las áreas oceánicas y continentales, de las que sólo $0.99 \cdot 10^{14}$ Tm. se precipitan sobre las aguas continentales, y de éstas sólo una tercera parte va a ir a parar a las corrientes superficiales. Estas corrientes son el origen de la energía hidroeléctrica. La utilización de la energía hidroeléctrica plantea una serie de problemas, relacionados con la regulación adecuada del caudal y la necesidad de crear gradientes de altura importantes, lo que lleva a la construcción de canales de deriva, presas... que perturban los sistemas morfológicos naturales, y plantean problemas adicionales, que si bien no son de la importancia cuantitativa de los planteados por los combustibles fósiles o nucleares, no es menos cierto que en las zonas afectadas, anulan la capacidad de regulación y pueden causar grandes cambios ecológicos. El aterramiento de los embalses es un serio problema al que se han dedicado importantes estudios y que dista de estar resuelto, y es la reacción lógica de la naturaleza en su tendencia a establecer el equilibrio sólo por la actividad humana. ORTEGA CORDOVIN (1976), refiriéndose a los embalses de la Cuenca del Río Jalón y Guadalupe dice: "Las inversiones que realicemos en estas obras son una preciosa herencia que dejamos a las generaciones futuras... ¿Y qué herencia vamos a dejar a nuestros descendientes, si al realizar un Plan de Aprovechamiento Integral, nos olvidamos de tomar las medidas necesarias para que los embalses construídos no hayan desaparecido dentro de 100 años? "

CUADRO V
ENERGIA RENOVABLE (EN WATIOS)

	<u>Entrada</u>	<u>Aprovechable</u>	<u>Observaciones</u>	
A. RADIACION SOLAR (173.000. 10^{12})	1. Reflexión	52.000. 10^{12}	—	
	2. Conversión en calor	81.000. 10^{12}	2.961. 10^{12}	Celular
	3. Evaporación y precipitación	40.000 10^{12}	155. 10^{12}	Solar
	4. Vientos, olas y corrientes	370. 10^{12}	—	Hidroeléctrico
	5. Fotosíntesis	40. 10^{12}	—	
B. GEOTERMICA	—	0,8 10^{12}		
C. MAREAS	—	3,94 10^{12}		

La energía del viento puede tener gran importancia, aunque es muy difícil de regular, debido a los grandes cambios en intensidad y sentido en el movimiento de las masas de aire. La energía de las corrientes marinas, tanto las profundas (convección de masas por efecto de calentamiento en superficie), como las superficiales (producidas por rozamiento del viento sobre la superficie del océano) pueden tener un gran interés, dado su continuidad y el enorme trabajo que pueden desarrollar. Sin embargo no se conocen métodos para el aprovechamiento a nivel industrial.

La fotosíntesis es un proceso bioquímico del más alto interés. En áreas de intensa actividad fotosintética se encuentra que un 5 por mil de la energía solar recibida por unidad de superficie; puede ser almacenada por diversos tipos de plantas; animales herbívoros, y carnívoros, no hacen sino transformar parte de esta energía en la creación de su propia biomasa y en sus funciones vitales. Otra parte de esta energía fotosintética se oxida en contacto con la atmósfera para dar CO_2 ; sólo una pequeña parte se incorpora al suelo para dar ácidos húmicos, o bien en casos muy excepcionales constituye el origen de los combustibles fósiles. La energía fotosintética fijada en las plantas en sólo un año es casi cuarenta veces superior a la energía gastada durante 1970 en el mundo. Sería necesario crear una agricultura específica para obtener energía, con plantas que tengan una alta eficiencia en la fijación de la energía y de las cuales se podría obtener energía, no por un proceso de combustión directa, sino mediante un sistema de fermentación bacteriana que dé lugar a la producción de metano u otros compuestos orgánicos.

La energía geotérmica se encuentra localizada en áreas muy concretas, relacionadas con vulcanismos reciente o subreciente. Su interés está fuera de toda duda y en las zonas donde existen puede representar una solución a problemas locales de calefacción, incluso en zonas muy activas en producción de energía eléctrica. Realmente la radiación del calor interno de la tierra es una posible fuente energética inexplorada y cuyo interés no ha hecho más que empezar, ya que a medida que se perfeccionan las técnicas de sondeos profundos, los gradientes térmicos, aún en zonas sin anomalías, pueden representar un suministro energético sin problemas de contaminación y a unos pocos de kilómetros de profundidad del punto donde se la necesite.

La energía de las mareas representa menos del uno por ciento de la energía potencial de tipo hidroeléctrico, sin embargo allí donde se den las circunstancias adecuadas de altura de marea, buen cierre natural, se podrá instalar una central mareomotriz; sin embargo, con todo no representaría en ningún caso una solución al problema de la energía, sino una aportación suplementaria.

VI. CONSIDERACIONES FINALES

El propósito de esta comunicación es poner de relieve que el consumo incontrolado de los combustibles fósiles, puede llevar consigo un grave deterioro del medio ambiente, en un tiempo relativamente corto. Los combustibles fósiles en muchos casos pueden ser fuente de productos químicos del más alto interés que van desde compuestos orgánicos, hasta incluso elementos químicos. La energía nuclear de fisión es cuestionada, sobre todo la basada en el U-235, ya que sus reservas son muy bajas. La energía nuclear de fusión está pendiente de un perfeccionamiento de los sistemas de regulación, y en algunos casos existen condicionantes debidos a la escasez de litio-6 en la naturaleza.

Desde un punto de vista geológico, teniendo en cuenta el planeta como tal, las fuentes energéticas renovables: radiación solar en sus múltiples manifestaciones, la energía geotérmica, la energía de las mareas... tienen la ventaja de que no presentan efectos contaminantes y desde luego que introducen un desequilibrio mínimo en los sistemas naturales. Dicho de otra manera son los medios naturales de obtención de energía. Quizá la eficacia en la conversión, o los problemas tecnológicos de puesta a punto de los métodos de conversión sean difíciles y onerosos pero esto no justifica en caso alguno la destrucción del planeta por uso inadecuado y abusivo de sus recursos.

VII. BIBLIOGRAFIA

- J.J. Fagan (1974) The Earth Environment. Prentice-Hall New Jersey 244 pp.
- D.M. Gates (1971) The Flow of Energy in the Biosphere Scientific American. V. 225. Número 3 U.S.A. 89-100 pp.

- M.K. Hubbert (1971) The Energy Resources of the Earth. Scientific American. V. 225. Número 3 U.S.A. 61-70 pp.
- Oficina de Educación Iberoamericana (1975) Recursos Naturales. O.E.I. Promoción Cultural S.A. Madrid 168 pp.
- B.J. Skinner y K.K. Turkian (1976) El Hombre y el Océano. Ed. Omega. Barcelona. 150 pp.
- Ch. Starr (1971) Energy and Power. Scientific American. V. 225. N.º 3. U.S.A. 37-49 pp.
- C.M. Summers (1971) The Conversion of Energy. Scientific American. V. 225. N.º 3. U.S.A. 149-160 pp.
- J.S. Watkins, M.L. Bottino and M. Morisawa (1975) Our Geological Environment. Ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia.

