

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

# DISCURSO INAUGURAL

## DEL AÑO ACADÉMICO 1968-1969

LEIDO EN LA SESION CELEBRADA EL DIA 20 DE NOVIEMBRE DE 1968

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. JUAN GAVALA Y LABORDE



M A D R I D

DOMICILIO DE LA ACADEMIA:

VALVERDE, 22. — TELEFONO 221-25-29

1968

Depósito Legal M. 21.595-1968

---

TALLERES GRÁFICOS VDA. DE C. BERMEJO.—J. GARCÍA MORATO, 122.—TELÉF. 233 06 19.—MADRID

## LA GEOLOGIA, GRAN IMPULSORA DEL PROGRESO

EXCMOS. SRES. ACADÉMICOS :

SEÑORAS Y SEÑORES :

Cuando en el pasado mes de mayo me encomendó el Presidente de nuestra Academia la honrosa misión de pronunciar el discurso inaugural del Año académico 1968-69, hacía poco que había yo comenzado a reunir datos sobre las disponibilidades mundiales de materias primas minerales de absoluta necesidad para el mantenimiento de la humanidad y el progreso de la civilización. Y me había inducido a ello el comprobar repetidamente que una ciencia que se ha cultivado mucho y se sigue cultivando en esta casa, y a la cual he dedicado con gran cariño muchas horas a lo largo de mi vida, la Geología, es la llamada a resolver los problemas relacionados con tan importante cuestión.

No es sólo en esta época que vivimos cuando la Geología es la encargada de descubrir las ingentes cantidades de sustancias minerales necesarias para el desarrollo industrial y económico de los pueblos, pues viene actuando en ese sentido desde la más remota antigüedad, poniendo a disposición del hombre todo lo que de una forma o de otra ha podido ayudarle a hacer más llevadera la vida, y más cómodo, eficaz y productivo su trabajo. La humanidad ha vivido, ciertamente, siglos y siglos sin saber lo que era la Geología; pero, a pesar de ello, y sin darse cuenta, hacía a cada paso Geología, y de la mejor. He aquí por qué me ha parecido oportuno escoger como tema de mi discurso la íntima relación que han guardado y siguen guardando los conocimientos geológicos con el progreso de la civilización, y titularlo : «La Geología, gran impulsora del progreso».

El tema escogido es tan amplio y tiene tantas facetas que no es posible desarrollarlo íntegramente en el escaso tiempo de que se dispone en un acto como éste, pero creo que podré ofrecer a mis oyentes bastantes datos de interés, darles curiosas noticias de importantes yacimientos minerales y hacerles algunas reflexiones que espero les harán comprender la trascendencia del asunto y les invitarán a meditar en la necesidad ineludible de prestar atención a problemas de cuya acertada resolución ha de depender el bienestar de la humanidad en épocas venideras.

No todos los problemas que plantea el abastecimiento de materias primas se presentan con características alarmantes : muchos de ellos, afortunadamente, no parecen ser motivo, por el momento, de grave preocupación, porque la Naturaleza, por la mano de Dios, se ha encargado de ofrecernos muchas sustancias con verdadera esplendidez ; pero hay casos que exigen un meditado y detenido estudio si no queremos exponernos a que de la noche a la mañana tengamos que asistir a un cambio radical de situaciones a las que estamos cómodamente acostumbrados y que constituyen hoy la base del bienestar de muchos millones de seres.

Como hemos de ver por lo que a continuación diré, la Geología interviene de manera decisiva en el abastecimiento de materias primas, y no sólo minerales, sino también alimenticias, bien estudiando la naturaleza del suelo y del subsuelo para que el agricultor elija con acierto las especies vegetales más aptas para producir cosechas abundantes, bien proporcionándole sustancias minerales que ha de incorporar a la tierra laborable para aumentar su fertilidad, o al menos evitar su empobrecimiento y esterilización.

Estas ideas generales, expuestas a modo de prólogo, podemos completarlas con la consideración de que al tratar del abastecimiento de materias primas, debemos pensar en las que precisarán de aquí en adelante los seres que pueblan el mundo a la vista de la cantidad que *per capita* consumen hoy día, pero ambas cifras se hallan en constante crecimiento y es preciso tener esto muy presente.

\* \* \*

La población mundial se cifraba en el año 1966 en 3.320 millones de habitantes, correspondiendo las cifras más altas a China con 710 millones ; a la India con 499 ; a Rusia con 233 ; a los Estados Unidos con 197 ; a Indonesia con 107 ; a Pakistán con 106 y a Japón con 98 millones. Total 1.949 millones, que equivalen al 58,7 por 100 de la población mundial. El aumento anual de la población se estima en el 14,47 por 1.000, por lo que en el año 2.000 la población mundial ascenderá casi seguramente a unos 5.500 millones de almas.

Como antes dije, no podemos quejarnos de que la Naturaleza deje de ser pródiga con nosotros ; elementos absolutamente indispensables para la vida, como el aire, nos lo ofrece sin tasa ni medida, y, salvo en regiones desérticas, puede decirse otro tanto del agua, pues si bien la del inmenso depósito de los océanos es inadecuada para muchos usos, el sol se encarga de evaporar la cantidad suficiente para que al condensarse en la atmósfera y transformarse en lluvia, alimente las fuentes y los ríos, proporcione a la tierra y a la atmósfera la humedad necesaria para el desarrollo de los vegetales, y con el sobrante, en su camino de vuelta hacia el mar, produzca cantidades considerables de energía. Estas dotaciones de la Naturaleza son prácticamente inagotables ; el oxígeno y el agua dulce los regenera el sol, cuya energía radiante, aunque aprovechada en ínfima parte por nuestro planeta, basta para mantener el complicado ciclo de la vida vegetativa, que no sólo hace posible ahora la existencia de multitud de seres en la tierra y en los mares, sino que en épocas pasadas acumuló sus restos en depósitos que enterrados a profundidad suficiente para que fueran respetados por los agentes meteóricos, están abasteciendo hoy a la humanidad de infinidad de materias necesarias a su subsistencia, y es de esperar que continúen abasteciéndola durante bastante tiempo, si no las despilfarramos, y pensamos en que si Dios las colocó en el subsuelo, lejos de nuestro alcance, fue precisamente para frenar nuestra avaricia.

Los yacimientos de combustibles sólidos : la hulla, la antracita y los lignitos ; los de combustibles líquidos y gaseosos : petróleo y gases combustibles ; los de fosfatos, los de sales potásicas y

tantos otros formados por la acción externa del globo, son tan necesarios para mantener la actual civilización, que horroriza pensar lo que ocurriría si llegaran a faltar en un momento dado. Pensemos también en los yacimientos de sustancias minerales producto más o menos directo de la acción interna de nuestro planeta : en los criaderos de cobre, de plomo, de cinc, de estaño y manganeso y de otros metales de los que el hombre no sabría prescindir hoy, y recordemos que ni aquellos yacimientos ni éstos se regeneran, que tienen una duración limitada, y que, al agotarse, fatalmente llegará el día en que habrá que prescindir de comodidades y satisfacciones a las que la humanidad se ha habituado y considera hoy consustanciales con su existencia.

Yo supongo que mis oyentes querrán consolarse pensando que ese día debe hallarse todavía muy lejano ; hacen bien, pero del mismo modo que no se deja de meditar sobre los problemas que puede crear a la humanidad la excesiva escasez o la falta de alimentos, si aquélla continúa creciendo y no se habilitan medios de aumentar en igual medida las materias alimenticias, haciendo que la tierra aumente su producción progresivamente, creo que está justificado el que sintamos al menos curiosidad por saber a qué distancia nos encontramos del día en que comenzarán a faltar, o al menos a escasear en proporción alarmante, algunas de las sustancias minerales cuyo consumo constituye hoy una de las bases fundamentales de nuestra civilización.

Por lo que respecta al incremento del consumo de la actual población mundial, se ha estimado por algunos investigadores que en las próximas décadas será aproximadamente y por término medio de un 3 por 100 anual. Pero la cifra así estimada no puede considerarse tan cercana a la real como la del aumento de la población, porque son muchas las circunstancias que pueden hacerla variar, y además el ritmo de aumento no puede ser el mismo ni permanecer constante para todas las sustancias minerales que el hombre consume. Por ello no creo que estarán de más algunas consideraciones a este respecto.

Si el consumo de sustancias minerales aumenta un 3 por 100 al año, la producción mundial de estas sustancias deberá duplicar-

se al menos en veinticinco o treinta años para que no escaseen, y ello exige un enorme esfuerzo financiero, porque como los yacimientos minerales se agotan al explotarlos, será necesario cuando llegue el momento en que esto ocurra disponer de otros nuevos. Ahora bien ; si se tiene en cuenta que la creación de una industria minera requiere una inversión de tres o cuatro veces el valor de su producción anual, se llega como luego se verá a la conclusión de que en los veinticinco o treinta años venideros, habrá que dedicar a la creación de nuevas industrias mineras una suma comprendida entre 120.000 y 160.000 millones de dólares.

Las estadísticas que se publican dan con mayor o menor aproximación las producciones de sustancias minerales en los diversos países, así como las importaciones y exportaciones que realizan, y de ahí se pueden deducir las cifras de consumo si no se tienen en cuenta los «stocks», que es de suponer que no varíen considerablemente en un espacio de tiempo algo largo.

La producción de los yacimientos suele exceder las cifras de consumo, pero los consumidores pueden a veces frenar la producción. Esto no ocurre con muchas sustancias, pero sí con algunas. Citemos el caso del oro.

El rey de los metales tiene un consumo directo muy pequeño: la mayor parte del que se produce lo absorben los Bancos Centrales, que lo encierran en sus arcas a medida que lo van adquiriendo. Puede decirse, por lo tanto, que la producción de oro es independiente del consumo.

El precio del oro tampoco depende de los productores, sino que lo fijan aquellos Bancos, y en realidad el de los Estados Unidos. Antes de 1934, el precio de la onza de oro estaba fijado en 20,67 dólares, y en 1934 pasó a 35 dólares, de modo que el valor del kilo subió de 664,6 a 1.125 dólares. Dicho de otro modo, con 1.000 dólares se podían comprar 1.500 gramos de oro hasta el año 1934, y a partir de este año sólo 890 gramos.

Pero el minero no ha de comparar el valor del oro con los precios de las monedas legales, sino con el nivel de precios en general, pues es evidente que si éste aumenta, los gastos de explotación del oro aumentarán igualmente y ciertos yacimientos pobres

tendrán que dejarse de trabajar, y la producción mundial disminuirá. Esto ocurrió recientemente en España con el yacimiento de Rodalquilar, en la provincia de Almería.

La producción mundial de oro, que era inferior a 100 toneladas métricas en 1850, subió a 200 en 1853 cuando se descubrieron los ricos yacimientos de California y Australia, y dio luego un salto brusco en 1890 al aparecer en escena Africa del Sur, cuya producción, que era tan sólo de 1.300 kilos en 1887, subió a 288 toneladas en 1916 y a 552 en 1957.

Estas cifras demuestran que al descubrirse nuevos yacimientos, la producción creció muy rápidamente con independencia de las condiciones económicas, y al ritmo de 5 por 100 anual, lo que supone doblar la producción en catorce años ; pero esta cifra no es siempre válida, pues si se comparan las producciones de años más recientes (908 toneladas en 1957 y 454 en 1903), se ve que para doblar la producción se necesitaron cincuenta y tres años, debido a los retrocesos y estancamientos ocurridos durante los años de guerras y de crisis económicas.

\* \* \*

Veamos lo que respecto a producción y consumo ocurre con otras sustancias minerales.

El del carbón puede decirse que es un caso extremo y por ello es interesante considerarlo.

El gráfico de la producción mundial de hulla y antracita pone de manifiesto que desde 1860 hasta 1913 (cincuenta y tres años), siguió un crecimiento casi regular de régimen exponencial, y pasando de 120 millones de toneladas anuales a 1.205, fue decuplicada la producción en esos cincuenta y tres años, lo que equivale a un crecimiento medio anual del 4 por 100.

A partir de 1913 se manifiestan grandes oscilaciones debidas a las crisis políticas y económicas. La detención del crecimiento regular ocurre en 1914, a principios de la primera guerra mundial, que entorpeció la explotación y el consumo de carbón. Sube la producción en 1942 a 1.417 millones de toneladas, y se llega en 1957 a 1.719 millones, que es aproximadamente la producción actual.



El crecimiento durante el período anterior a 1913 (4 por 100) dobló la producción en dieciocho años ; pero en el período 1905-1957 fueron precisos cincuenta y dos años para doblarla.

Hay un fenómeno que merece retener nuestra atención. Salvo Francia y el Japón, los grandes países industriales extraen el carbón que consumen en su propio territorio, y en tiempos fueron grandes exportadores. Este fue sobre todo el caso de la Gran Bretaña, cuya exportación de carbón alcanzó en 1920 el 23 por 100 de la producción nacional. Inglaterra es todavía exportadora, pero desde hace una veintena de años su exportación es muy pequeña y experimenta serias dificultades para alimentar su consumo con su propia producción, que no se ha aumentado suficientemente.

La evolución de la producción de petróleo tiene características opuestas, al menos en apariencia, a la de la producción de carbón.

De 1860 a 1882 el crecimiento fue muy rápido, puesto que se pasó de 72.000 a 4.900.000 toneladas, lo que equivale a un ritmo de crecimiento del 21 por 100 anual.

De 1882 a 1929 el aumento fue más lento: de 4,9 a 205,9 millones de toneladas anuales, lo que equivale a un ritmo de crecimiento del 4,3 por 100 al año.

De 1929 a 1943, el crecimiento fue aún menor, pues la producción pasó de 205,9 a 298 millones de toneladas, o sea al ritmo del 3,1 por 100 anual.

De 1943 a 1957 se llega a un crecimiento más normal de 298 a 884,4 millones de toneladas, o sea 8 por 100 al año. Con este aumento del 8 por 100 al año, la producción se dobló en nueve años ; durante un período más reciente se tardó en doblarla diez años. Año 1947: 414 millones ; 1957: 884 millones.

Puede decirse, pues, que el ritmo «normal» de crecimiento es del 8 al 9 por 100 al año.

La mayor parte de los grandes países industriales: Gran Bretaña, Francia, Alemania y Japón, son pequeños productores de petróleo y, por lo tanto, grandes importadores. Pero el caso de los Estados Unidos, que ha sido casi siempre el primer productor del mundo, es más curioso, pues a pesar de ser gran productor, es desde hace mucho tiempo importador, y en 1957 importó un to-

nelaje igual al 13,4 por 100 de su producción propia, a pesar de que ésta se duplicó en ese lapso de tiempo. Se registra pues en Estados Unidos un fenómeno análogo al del carbón en Gran Bretaña. Las producciones nacionales, aunque muy importantes, llegan a no cubrir el consumo y se tiene que recurrir a importaciones de países extranjeros.

El caso del mineral de hierro es intermedio entre los dos que acabamos de examinar: el del carbón y el del petróleo, y a él se aproximan mucho los de otras sustancias minerales.

El gráfico de producción de minerales de hierro acusa al principio un crecimiento rápido, pero más regular que el del carbón, y pasa de 8,1 millones de toneladas en 1860 a 79,3 millones en 1913; es decir, un crecimiento en cincuenta y tres años del 4,4 por 100 al año, aproximadamente análogo al del carbón. Con ese crecimiento del 4,4 por 100 al año se tardó en doblar la producción dieciocho años, pero entre los años 1904 y 1957, por el frenado debido a las crisis económicas, la producción tardó en doblarse cincuenta y tres años (1904: 96,1 millones de toneladas; 1957: 202 millones).

En cuanto al abastecimiento de los grandes países industriales, el caso del hierro recuerda más al del petróleo. Así, los Estados Unidos eran al principio ligeramente importadores (2 a 4 por 100 de la producción); pero a partir de 1950 la importación aumentó rápidamente y en 1957 el tonelaje importado fue el 26,7 por 100 de su propia producción, a pesar de que ésta se encontraba entonces en la época de mayor apogeo.

La situación de la Gran Bretaña es aún peor; desde hace mucho tiempo es importadora del mineral de hierro por un tonelaje igual al 50 por 100 de su producción hasta el año 1920. La importación disminuyó mucho durante la segunda guerra mundial, bajando al 9,5 por 100 de la producción propia en 1943; luego aumentó rápidamente y, con una inflexión en 1951, alcanzó el 94 por 100 en 1954. Es decir, que en esos años la importación fue casi igual a la producción nacional de menas ferríferas.

Podríamos examinar los casos de otras sustancias minerales,

y se vería que los resultados están comprendidos entre los que acabamos de examinar.

Resumiendo lo expuesto hasta aquí podemos decir que, si no resulta interferida por algún acontecimiento político o económico, la producción mundial de una sustancia mineral aumenta según una ley exponencial con ritmo de crecimiento comprendido entre el 4 y el 9 por 100 anual, y que la mayor parte de las sustancias están más cerca del 4 que del 9.

Ese crecimiento exponencial al ritmo de 4 a 9 por 100 es también el de una industria minera en «libre expansión», y es probablemente el máximo de lo que se puede esperar de yacimientos explotados con normalidad.

\* \* \*

Varios autores han intentado hacer un esquema de previsiones para un porvenir no lejano, pero tales previsiones resultan muy difíciles, dado que los acontecimientos políticos y sus consecuencias económicas alteran generalmente el ritmo de la «expansión normal». En consecuencia, no se pueden hacer pronósticos, ni aún para un período corto, sino suponiendo que tales acontecimientos no se han de producir.

El consumo individual está en crecimiento en los países industriales, y si aceptamos la cifra del 3 por 100 propuesta por varios investigadores para el crecimiento total previsible de las sustancias minerales, debemos estar cerca de la realidad. Esto equivale a admitir que la producción deberá doblarse en veinticuatro años.

Pero hay que hacer una observación esencial ; y es que actualmente sólo una parte de la humanidad —tal vez la cuarta parte— es la que consume la mayoría de las sustancias minerales que se producen ; el consumo de las otras tres cuartas partes es mucho más bajo, y además difícil de cifrar. Pero no parece que esta situación pueda prolongarse mucho tiempo. Es cierto que los esfuerzos de los países subdesarrollados se dirigen principalmente a mejorar su alimentación, pues la mitad de la humanidad está mal alimentada ; pero el consumo de sustancias minerales de estos países

actualmente subdesarrollados irá creciendo con seguridad, así que cabe afirmar que las cifras que hemos dado antes deben considerarse mínimas.

Por otra parte, los países industrializados solicitan de los otros países cantidades de sus producciones que van creciendo sin cesar, y no es posible que esos países pobres dejen salir sus producciones nacionales sin exigir alguna compensación, y ello puede dar origen a conflictos internacionales.

Resulta, pues, que la única solución al problema planteado por el consumo futuro es descubrir nuevos yacimientos minerales, y de un modo aproximado y para no pecar de exagerados, puede aceptarse la fórmula de que las explotaciones mineras deben conducirse de modo que se llegue a doblar la producción mundial en un plazo máximo de veinticinco a treinta años.

Cabe preguntar dónde podrán encontrarse yacimientos con que poder doblar la producción mundial en veinticinco o treinta años. Las producciones mundiales actuales proceden de yacimientos descubiertos hace mucho tiempo, y sería difícil aumentar de modo sustancial sus rendimientos; en cuanto a los yacimientos nuevos, las posibilidades de descubrirlos no parecen muy grandes, y por esto justamente hay que exigir a los geólogos un enorme esfuerzo de investigación.

Dijimos que doblar la producción exige inversiones considerables, y que el desarrollo de una nueva industria minera exige una inversión de tres o cuatro veces el valor de la producción anual.

Pues bien, como la producción minera actual tiene un valor aproximado de **40.000** millones de dólares, para duplicarla habrá que invertir de **120.000** a **160.000** millones de dólares. Estas cifras representan una inversión de **4.000** a **4.800** millones de dólares por año si, como decimos, se ha de doblar la producción en treinta o veinticinco años.

También dijimos que la investigación minera representa aproximadamente el **10** por **100** de la inversión, o sea que habrá que gastar en investigación una cifra del orden de **400** a **500** millones de dólares por año, que aunque no es extraordinaria, no es segu-

ro que los Gobiernos se den cuenta exacta de ella. Pero si el objetivo perseguido no llegara a alcanzarse, se originarían trastornos sociales y políticos de los que es imposible prever el desarrollo y las consecuencias. Téngase presente que doblar la producción de sustancias minerales en un plazo de veinticinco a treinta años, no es cosa fácil, y que hasta el año 1957 el ritmo de crecimiento fue mucho más lento por lo general, pues se necesitaron para doblar la producción:

53 años para el oro,  
52 para el carbón, y  
53 para el mineral de hierro.

Hay que advertir que el ritmo de crecimiento anual de las producciones de petróleo, 8 a 9 por 100, y de bauxita, 13 por 100, han sido casos realmente excepcionales.

\* \* \*

Vamos a exponer ahora las cifras de producción —que pueden considerarse iguales a las del consumo— de aquellas sustancias minerales que la humanidad consume en mayores proporciones. Indicaremos luego en qué países y en qué medida se explotan cada una de ellas, en qué consisten sus principales yacimientos, y las reservas que se calcula existen. De este modo podremos tener una idea de lo que tardará en originarse una aguda escasez de dichas sustancias si no se descubren a tiempo nuevos criaderos.

Claro es que cabe esperar que tal cosa no llegue a ocurrir, pues la investigación se está extendiendo por regiones aún poco reconocidas de todos los continentes, y en algunos casos, como ocurre con el petróleo, se están buscando yacimientos nuevos en las plataformas continentales en zonas cubiertas por 100 y más metros de agua.

Pero lo mismo en el futuro, que como ha venido ocurriendo desde que el hombre dio los primeros pasos por la senda de la civilización, los éxitos favorables que obtenga serán debidos exclusivamente al acierto con que sepa servirse de una ciencia que sin

conocer siquiera de nombre vino guiándole desde la más remota antigüedad, y cada día con mayor acierto: la Geología. Ella le llevó a efectuar sus primeros descubrimientos, desde los duros sílex que le permitieron pergeñar útiles rudimentarios con que partir leña y mondar tubérculos, hasta la obtención de aleaciones como el bronce y de metales como el hierro con los que pudo fabricar herramientas que le permitieran entrar en posesión de los grandes depósitos naturales de materias primas.

\* \* \*

Gracias a los estudios geológicos se ha logrado agrupar los yacimientos de cada sustancia por edades y modos de formación, y descubrir las estructuras de la corteza que por determinadas características es de sospechar que contengan importantes depósitos de materias minerales, e incluso vislumbrar sus posibles reservas. Sólo la Geología ha podido dilucidar todas estas cuestiones, y guiar las labores de investigación que han conducido al hallazgo de gran número de criaderos de sustancias útiles.

Sería mi deseo tratar con cierto detenimiento lo concerniente a criaderos de cobre, plomo, estaño, cinc, uranio, piritas, fosfatos, sales potásicas, etc., pero ante la imposibilidad de ocuparme en detalle de lo referente a cada sustancia me voy a limitar a los combustibles, tanto sólidos como líquidos, y a los minerales de hierro, que son las materias que figuran a la cabeza de las que el hombre consume en grandes cantidades.

\* \* \*

En el Boletín mensual de estadísticas de las Naciones Unidas correspondiente a noviembre de 1967, figuran las siguientes cifras de producción anual de diversas sustancias, cifras que pueden considerarse prácticamente equivalentes a las de consumo, pues ya dije antes que la influencia de los «stocks» era poco importante tratándose de largos períodos de tiempo.

|                          |       |                       |
|--------------------------|-------|-----------------------|
| Hulla y antracita ... .. | 1.730 | millones de toneladas |
| Petróleo bruto ... ..    | 1.622 | » » »                 |
| Lignito ... ..           | 727   | » » »                 |

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Hierro (metal contenido)..... | 306 millones de toneladas |
| Bauxita .....                 | 35   »   »   »            |
| Cobre (metal contenido).....  | 3.600.000   »             |
| Cinc (metal contenido) .....  | 3.000.000   »             |
| Plomo (metal contenido)..     | 1.689.000   »             |
| Estaño .....                  | 165.000   »               |

Comencemos por examinar el caso de los combustibles sólidos pertenecientes al grupo de hullas y antracitas.

En la XII sesión del Congreso geológico internacional de Canadá (1913), se calcularon por primera vez las reservas mundiales de carbón, llegándose a cifrarlas en 7.397.500 MT para las situadas hasta la profundidad de 1.800 metros, en capas de potencia superior a 70 cm., y las situadas hasta 1.200 metros, en capas de 60 a 30 cm. De entonces acá las reservas han aumentado en proporción asombrosa.

En el año 1913, las reservas de Rusia y Polonia juntas sumaban sólo 234.000 MT, y su producción era de 29 MT, importándose de Inglaterra el resto del carbón necesario para el consumo interior.

En 1937, tras importantes campañas geológicas de investigación, se calculaban ya las reservas de Rusia en 1.654.000 MT, a pesar de lo cual las investigaciones continuaron intensamente, dando idea de lo realizado el hecho de que en 1958 se extrajeran 2.500.000 m. de testigos de los sondeos de reconocimiento.

En primero de enero de 1965, las reservas rusas de combustibles sólidos se calculaban en 8.669.510 MT : 5.182.000 MT de hulla y antracita y 3.487.510 MT de lignito.

Las cuencas más importantes de la Unión Soviética se hallan en Siberia, y muchas de ellas son notables por su enorme extensión superficial: la del Lena, por ejemplo, tiene 750.000 km<sup>2</sup>, y la de Tunguska 1.000.000 de km<sup>2</sup>.

Merecen citarse también las cuencas de Kuznetsk y Taymir, ambas de antracitas y hullas, y con reservas que exceden de 1.500.000 MT.

Merced a los prolongados y detenidísimos estudios geológicos,

Rusia se ha colocado a la cabeza de los países que cuentan con mayores reservas de carbón.

Tal vez cause extrañeza saber que no son precisamente los terrenos de la época carbonífera los que contienen mayores reservas de hullas y antracitas, sino los del Permiano, pues en tanto que los primeros sólo contienen el 7,8 por 100 de las reservas mundiales conocidas, las del Permiano ascienden al 37,5 por 100. Los terrenos jurásicos y cretáceos se reparten la otra mitad de las reservas conocidas de combustibles sólidos, con el 53,1 por 100 de las mismas, y si bien la mayoría de esos combustibles son lignitos, hay muchas cuencas de la época jurásica y aún de la cretácea en que los carbones son verdaderas hullas.

Las reservas de hulla y antracita son también importantes en Europa ; así por ejemplo, las de *Francia* se estiman hoy en 7.172 MT, repartidas entre las cuencas del Norte y Paso de Calais, la de Lorena y las del Macizo Central.

Las reservas de *Alemania Federal* y de la *República Democrática* sumadas, ascienden a 423.356 MT. La cuenca mayor es la del Ruhr, que contiene el 50 por 100 de las reservas y es la más importante de Europa Occidental. Tiene 3.000 km<sup>2</sup> de extensión superficial y el espesor del hullero productivo es de 4.500 m. Las dos regiones alemanas cuentan también con unas reservas de lignito del orden de 40.000 MT.

La Gran Bretaña cuenta con una reserva total de 28.000 MT.

En España sólo contamos como cuenca hullera con la de Asturias, a la que se le calculan unas reservas de 1.500 millones de toneladas.

Son importantes también las cuencas de *Silesia*, frente a la Cordillera de los Cárpatos, de edad carbonífera y con espesor máximo de estratos de 7.000 m. En la cuenca de la Alta Silesia se explotan 100 capas con 160 m. de carbón, y en la de la Baja Silesia, repartida hoy entre Polonia y Checoslovaquia, el número de capas explotadas es de 25, que suman 25 m. de carbón.

Por último citaremos la cuenca de Bohemia, en Checoslovaquia, en el borde del antiguo macizo paleozoico de Praga, donde



el carbonífero productivo, de edad Westfaliense superior, Estefaniense y Permiano, tiene 600 m. de espesor.

Pasando a *América*, debemos citar en los *Estados Unidos* las cuencas que bordean la Cordillera de los Apalaches, a las que se calculan unas reservas totales de 500.000 millones de toneladas, distribuidas entre la cuenca occidental, que cuenta con 15 capas de carbón explotables, y la cuenca de Pensilvania, situada en el extremo Nordeste de la Cordillera donde el espesor del paquete productivo es de 750 m. y se explotan 24 capas, de las cuales una, llamada capa Mamuth, tiene 11 m. de potencia media, llegando a veces a alcanzar 30 metros.

Entre las cuencas interiores, la mayor es la de Illinois, con reservas de 281.000 MT y extensión de 115.000 km<sup>2</sup>, y son, por último, dignas de mención las cuencas enclavadas en las Montañas Rocosas, principalmente en su borde oriental, pues se extienden hasta Alaska por el Norte y hasta Nuevo Méjico por el Sur. La mayor parte de los combustibles que proporcionan estas cuencas son lignitos, pero en unión de los yacimientos del Canadá, por donde continúan, contienen unas reservas estimadas en 4 millones MT, constituyendo así el yacimiento más importante del mundo de combustibles sólidos.

A *China* se le calculan unas reservas totales de 1.500.000 MT, en su mayor parte de hullas grasas, y a la India 43.000 MT. Los principales yacimientos se hallan al Suroeste de Calcuta, y los combustibles son hullas.

En *Africa* las reservas más importantes de combustibles, principalmente hullas y antracitas, están localizadas en la Unión de Africa del Sūr, en donde todos los yacimientos son de edad Westfaliense y Estefaniense, y se les calculan reservas de 80.000 millones de toneladas. Los yacimientos se reparten entre las cuencas del Transvaal (la más importante), la de Natal y la del Estado Libre de Orange.

En *Argelia* sólo merece citarse la cuenca de Abadle con reservas de 1.000 MT, que contiene hullas coquizables (31-32 por 100 de volátiles) de edad Westfaliense superior.

En *Marruecos* existe una cuenca de cierta importancia, la de

Jerada, de antracitas, a la que se le calculan reservas de 120 MT.

Por último, en *Rhodesia*, entre los dos grupos principales de cuencas del Valle Medio del Zambeze y las del Limpopo, contienen reservas de 7.504 MT. La primera proporciona buenas hullas de cok, en tanto que las del Limpopo sólo producen hullas no coquizables de baja calidad.

Las reservas mundiales de hulla, antracita y lignito se calcula que ascienden :

|              |               |          |              |
|--------------|---------------|----------|--------------|
| En Europa a  | 1             | billón   | de toneladas |
| En la URSS a | 5             | billones | »            |
| En Asia a    | $\frac{1}{2}$ | billón   | »            |
| En Africa a  | 0,17          | billones | »            |
| En América a | 4,78          | billones | »            |

En total cerca de 12 billones de toneladas. La humanidad no tiene que preocuparse, pues, por una posible falta o escasez de dicha materia prima, ya que el consumo anual es sólo de unos 2.500 millones de toneladas. Mas ha de tenerse en cuenta al comparar las cifras de consumo y reservas, que muchas de éstas están localizadas en regiones despobladas e inhóspitas, y lejos de los centros de consumo. Así, la cuestión transporte podría afectar algún día al empleo del carbón como combustible.

\* \* \*

Mucho han trabajado también los geólogos en localizar grandes yacimientos de minerales de hierro de buena calidad, a pesar de que el mineral de hierro se encuentra en muchos lugares del mundo y concentrado las más de las veces en masas importantes.

Desde que finalizó la primera guerra, en 1918, hasta que comenzó la segunda en 1939, se tuvo la impresión de que con los yacimientos que se iban descubriendo aumentaban las menas ferríferas disponibles a un ritmo superior al crecimiento del consumo, pero pronto se vio que esta impresión no estaba justificada.

Hay que tener presente que la explotabilidad de un yacimiento ferrífero está condicionada por tres factores : calidad del mine-

ral, volumen del yacimiento y situación geográfica ; y cuando estos tres factores no se compaginan se plantean serios problemas al tratar de poner en explotación nuevos yacimientos importantes, que exigen inversiones del orden de miles de millones de pesetas.

Por lo que respecta a la calidad del mineral, es sabido que las menas de hierro magnético son las más ricas en hierro, pues la *magnetita* pura contiene **72,3** por **100** de metal, pero la mayor parte de los grandes yacimientos de magnetita contienen *apatito* (fosfato y clorofosfato cálcico), elemento nocivo, que aunque se puede eliminar en gran parte antes de su empleo en el horno alto, exige tratamientos especiales costosos.

Las *hematites*,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , tienen un contenido en hierro muy semejante a la magnetita, pues la ley en hierro del mineral puro es del **70** por **100** y presenta la ventaja de contener poco fósforo.

La *siderosa* o hierro espático (carbonato de hierro); aunque es menos rica, pues el mineral puro sólo contiene el **48,3** por **100** de hierro, por calcinación puede proporcionar un óxido rico.

La *laterita* es un mineral que se forma por la descomposición de ciertas rocas en los países tropicales, en que se suceden alternativamente estaciones secas y lluviosas. En estas condiciones la sílice se disuelve con bastante facilidad, y cuando la roca que se descompone es de naturaleza básica, la parte superficial alterada llega a contener un alto porcentaje de hierro y alúmina y una textura porosa característica. En Guinea, en la India y en Cuba se explotan lateritas que contienen hasta el **50** por **100** de hierro.

Por lo que respecta a los minerales pobres, ha de tenerse en cuenta la mayor o menor facilidad con que se pueda mejorar su ley mediante un tratamiento especial antes de su empleo en siderurgia. Así, con una calcinación previa se puede eliminar el ácido carbónico de los hierros carbonatados ; pero para elevar la ley de la magnetita y las hematites impuras, es necesario emplear métodos más complicados. La tostación y la peletización han de aplicarse cuando se pretenda concentrar magnetitas por medio del electroimán, aunque si los *gneisses fajeados con magnetita* se muelen a la dimensión de los granos de este mineral, y se pasa el producto de la molienda por el separador magnético, es posible

obtener un producto de alta ley en hierro y libre de gran parte de la sílice y del fósforo que contenían.

Ese es el método que se pretende utilizar para las «taconitas» de la región del Lago Superior, pero como algunas menas pobres no tienen como mineral básico la magnetita sino la hematites, no puede aplicárseles la separación magnética sin antes tratarlas en un horno reductor para transformar la hematites en magnetita.

A la vez que la cuestión de la calidad del mineral, es necesario considerar la magnitud del yacimiento y su situación geográfica. La montaña de Cerro Bolívar, en Venezuela, que se calcula que contiene 500 millones de toneladas de hematites ricas, se considera el yacimiento de hierro mayor, más rico y mejor situado del mundo. En cambio, en el distrito de Singhbhum-Orissa, de la India, hay por lo menos media docena de yacimientos comparables a ese de Venezuela en magnitud y riqueza, que por encontrarse a unos 400 km. de Calcuta y ser el Hosghly un río de difícil navegación quedan muy distantes tanto de Europa como de América, y su importancia disminuye por ello considerablemente.

Los geólogos, tras estudiar las características de multitud de yacimientos de hierro, los han agrupado alrededor de una serie de *tipos*, y esto facilita extraordinariamente la búsqueda de nuevos criaderos y la determinación de su importancia y calidad.

En las regiones *precambrianas* se ha formado un tipo de yacimiento muy extendido que consiste en capas alternantes de óxido de hierro y de sílice. Las aguas de circulación (unas veces meteóricas y otras hidrotermales) han arrastrado con frecuencia gran parte de las capas silíceas y han afectado poco, desde el punto de vista químico, a las capas intercaladas de óxidos de hierro; pero el arrastre de una cantidad tan grande de material silíceo ha producido hundimientos en los estratos, y las capas de mineral se han roto de manera regular, produciéndose la llamada textura en fragmentos. La roca madre fajeada original no contiene generalmente más del 30 al 45 por 100 de hierro, pero el mineral en fragmentos alcanza fácilmente el 60 por 100. En ocasiones, los vacíos dejados por la sílice se han rellenado con óxido de hierro, llegando a for-

marse una hematites compacta con ley del 68 al 69 por 100 y, a veces, con muy poco fósforo. Otras veces la sílice estaba mezclada originariamente con una hematites finamente cristalina, y al eliminarse queda un mineral pulverulento que llega a contener más del 64 por 100 de hierro. De este mineral, de dimensiones generalmente demasiado pequeñas para poderse emplear sin previa aglomeración, existen masas de miles de millones de toneladas en la India y en el Brasil. Los minerales brasileños del Estado de Minas Geraes se estima que cubican 15.000 millones de toneladas y los del distrito de Singhbhum-Orissa, de la India, entre 8.000 y 10.000 millones. Y además las provincias centrales y el Estado de Bastar, también de la India, pueden contener varios miles de millones de toneladas de minerales de esta clase.

Los grandes yacimientos de la región del Lago Superior son igualmente de este tipo; han suministrado ya más de 2.500 millones de toneladas de minerales ricos, y todavía quedan más de 1.200 millones de toneladas con alto contenido en hierro.

Los yacimientos recientemente descubiertos de Cerro Bolívar y los conocidos de antiguo del Pau, en Venezuela, son del mismo tipo precambriano.

Los minerales de Quebec-Labrador, cuya extensión aún no se conoce exactamente; algunos de los yacimientos de Africa del Sur, de la cordillera australiana de Middleback, los de Sierra Leona, los de Fort Gouraud, en Mauritania, los de la península de Malasia, y los de Krivoi-Boug, en Rusia, así como varios de Corea y de China, son también de esa edad y de tipos extraordinariamente semejantes. Un fenómeno particular debió producirse en los tiempos precambrianos —fenómeno que no se ha repetido— que permitió la formación de esas grandes cantidades de rocas silíceas y ferruginosas tan exentas de materiales detríticos.

La importancia de los yacimientos de hierro precambrianos en que las leyes alcanzan el 60 por 100 es tal, que se calculan sus reservas en 36.000 millones de toneladas, y no se han tenido en cuenta al hacer este cómputo las rocas madres fajeadas silíceas designadas con los nombres de «*cuarcita fajeada de hematites*», «*fajas de jaspes*», «*Itabirita*», «*Taconita*», etc., de los que sólo una

parte puede ser utilizada sin enriquecimiento previo. Tal es el caso de los 1.390 millones de toneladas que posee China de rocas de este tipo, y el de los minerales silíceos magnéticos de baja ley que en fecha próxima se van a explotar en la región del Lago Superior, en donde se estima existen 5.000 millones de toneladas que pueden ser concentrados sin reducción previa.

Yacimientos sedimentarios de minerales de hierro se formaron en todas las épocas geológicas : los de la isla Belle, en Terranova, son de edad *Ordoviciense*, y los de Clinton, en los Estados de Alabama, Tennessee y Georgia, de edad *Gotlandiense*.

Los yacimientos de siderosa del distrito de Siegerland, en Alemania, son del *Devoniano inferior*.

En terrenos de la *formación carbonífera* se encuentran en muchos países siderosas impuras que contienen carbón en cantidad suficiente para fundir el mineral.

En el *Jurásico* se depositaron también en gran cantidad sedimentos de limonita y hematites, en gran parte oolíticos, entre los que figuran las *Minetas* de Francia y de Luxemburgo y los yacimientos del Lías y del Jurásico Medio que se encuentran en varios condados ingleses.

Aún hay que agregar a los yacimientos precedentes los del *Dogger* en Alemania y muchas capas sedimentarias marinas con minerales ferruginosos de edad *cretácea*. Estas reservas se han estimado respectivamente en 3.000 y 2.000 millones de toneladas. Las reservas totales calculadas para los yacimientos sedimentarios posteriores al Precambriano se elevan a 24.912 millones de toneladas.

Más del 90 por 100 de la producción mundial de hierro proviene de los yacimientos sedimentarios que acabamos de enumerar, pero todavía existen otros grandes yacimientos de hierro, entre los cuales, y en primera fila, se hallan los constituidos por magnetita de origen interno. Figuran a la cabeza de los de este tipo los de Kirunavara y Gellivare en Laponia, que han hecho de Suecia uno de los países exportadores más importantes de mineral de hierro del mundo ; en 1961 se exportaron 16,5 millones de toneladas. Las partes más ricas de estos criaderos tienen ley media de

60 por 100 de hierro, pero algunas partidas han llegado al 71 por 100. El contenido en fósforo es variable, y parte de este mineral se expide como mineral fosforoso y ha de tratarse por el procedimiento Thomas.

Otros yacimientos de magnetita de origen intrusivo se explotan en los Adirondacks, en la región oriental de los Estados Unidos, pero algunos de estos minerales tienen un elevado contenido en titano, y para poderse emplear en el horno alto, el contenido en óxido de titano debe ser inferior al 1 por 100.

Chile ha suministrado durante muchos años magnetita de alta ley formada por segregación de magmas ígneos, y los minerales de Magnitalla, en el Ural, son magnetitas de origen interno con algo de hematites. Su ley varía del 16 al 25 por 100 y las reservas se calculan en 250 millones de toneladas.

Otros yacimientos muy importantes que se explotan en la actualidad provienen de una sustitución en las calizas. En Marruecos, en el antiguo Protectorado español, el yacimiento de Minas del Rif está formado por hematites y magnetita, producto de la sustitución de calizas cambrosilurianas, y en el yacimiento de Bilbao se formaron los minerales por sustitución de calizas del Cretáceo inferior por siderosa, que se transformó en hematites y en limonita cerca de la superficie.

*Los principales yacimientos de hierro de sustitución que acabamos de mencionar, cuentan con reservas de 1.480 millones de toneladas.*

Debemos citar, por último, los yacimientos de hierro *lateríticos*. Las reservas de mineral de este tipo de Cuba se han estimado en más de 3.000 millones de toneladas, y los yacimientos de hierro más importantes de Indonesia son también lateritas con el 40 a 53 por 100 de ley, y las reservas han sido estimadas en 1.900 millones de toneladas.

En Surigao y en la parte septentrional de Mindanao, en Filipinas, existen 1.000 millones de toneladas de lateritas con un contenido de 47 a 48 por 100 de hierro, pero sus leyes en cromo (4,2 por 100), níquel y cobalto (1,26 por 100) son elevadas.

De las cifras antes anotadas se deduce que las reservas de mi-

neral de hierro correspondientes a los yacimientos precambrianos, a los sedimentarios no precambrianos, a los de magnetita, a los de sustitución y a los de hematites, se cifran hoy en **75.347** millones de toneladas, cantidad realmente importante, pero cuando se la compara con el consumo actual, que asciende anualmente a **306** millones de toneladas de hierro contenido, que con ley media en los minerales del **50** por **100** equivalen a **612** millones de toneladas anuales, se ve que al ritmo del consumo anual actual, las reservas sólo alcanzarían a cubrir las necesidades de la industria durante ciento veintitrés años.

La situación, por lo tanto, es mucho menos favorable que para los combustibles minerales sólidos, y si los continuados trabajos de geólogos e ingenieros no logran, a la vez que aumentar sensiblemente las reservas descubriendo yacimientos nuevos, hacer posible el beneficio de las grandes masas existentes de minerales de baja ley, *que no se han incluido en el cálculo de dichas reservas*, habrá que pensar en la necesidad de reducir en el futuro el consumo de hierro en las construcciones, sustituyéndose por el hormigón armado, ya que para la fabricación de cemento se cuenta con reservas inagotables de calizas, de margas y de carbón.

\* \* \*

Pero con lo que más han contribuido los geólogos al progreso de la civilización en las últimas décadas ha sido con sus estudios sobre los yacimientos de petróleo, que han permitido descubrir un sinnúmero de cuencas de alta producción, localizar dentro de ellas las áreas más ricas y hasta averiguar los métodos de explotación que debían aplicarse para extraer la mayor cantidad posible del petróleo que contienen las rocas almacenes.

Podrían atribuirse gran parte de los éxitos obtenidos en el descubrimiento de los yacimientos petrolíferos a la Geofísica, y sobre todo a la intensa aplicación de los métodos sísmicos de reflexión y refracción, pero ha de tenerse en cuenta que lo que se pretende, y no siempre se consigue, con estos trabajos geofísicos es sólo determinar la estructura geológica del subsuelo a profundidades



donde las observaciones de superficie no bastan para dar a conocer los pliegues, fallas y cobijaduras de los estratos de una determinada formación cuando ésta se halla cubierta por otra de edad posterior y discordante con ella. La Geofísica es, pues, en el caso que tratamos, un poderoso auxiliar de la Geología, pero en fin de cuentas es siempre esta última ciencia la que ha de desentrañar los complicados fenómenos que han conducido a la formación y acumulación de los combustibles líquidos en zonas muy limitadas de la corteza y la que ha de aconsejar al prospector en qué puntos y a qué profundidad debe buscar con la sonda la escondida riqueza.

Gracias al continuado y meticuloso estudio de los geólogos se ha llegado a descubrir enormes cantidades de una sustancia como el petróleo, que ha transformado radicalmente el uso de la energía, haciendo posible el funcionamiento de millones y millones de motores grandes y pequeños, independientes unos de otros, que en nuestros días impulsan los vehículos con que el hombre ha llegado a conquistar con extraordinaria facilidad y seguridad la tierra, el mar y los aires, reduciendo las distancias a escalas inverosímiles y ampliando de modo prodigioso el tiempo disponible para desarrollar sus actividades.

Muy grato me sería exponer aquí, siquiera fuera en síntesis abreviada, la historia geológica de estos extraordinarios depósitos de combustibles fósiles, pero por falta de tiempo sólo me será posible hacer algunas consideraciones que creo han de satisfacer, en parte al menos, vuestra natural curiosidad.

El petróleo, acompañado o no de gases combustibles, se ha originado siempre en cuencas sedimentarias marinas que, aunque de muy diversas edades geológicas, han seguido siempre en su formación un proceso análogo, y dentro del cual se han registrado una serie de fenómenos característicos.

Como sabéis, las cuencas sedimentarias son áreas geológicamente deprimidas que contienen grandes espesores de sedimentos en su centro y espesores mucho menores en sus bordes. Los sedimentos se han ido acumulando en ellas a medida que se hundía el basamento, y el hundimiento de éste y el crecimiento de las capas

de sedimentos han ido acompañados de esfuerzos de tensión y de compresión. En muchos casos, el equilibrio entre esas fuerzas se ha mantenido durante largos períodos de tiempo y ha permitido la deposición ininterrumpida de miles de metros de sedimentos. En otros, el equilibrio se ha roto al cabo de cierto tiempo, dando por terminada la fase de *epeirogenia* y comenzando la fase de *orogénia*.

En las cuencas asimétricas especialmente, ese hecho puede sobrevenir cuando, por una subsidencia del basamento muy pronunciada, tiene lugar el plegamiento por compresión de que hablan las teorías tectogénicas. Si las fuerzas tangenciales que se dejan sentir en la parte baja plegada son suficientemente intensas, su efecto es estrujar los sedimentos contenidos en ella para formar una masa más o menos compacta, «el cuerpo plegado», empujarla hacia arriba y hacerla emerger en la forma propia de una orogénia, acompañada generalmente de inyecciones de rocas hipogénicas y de roturas con arrastres e imbricaciones.

Basándose en el valor de la subsidencia del basamento se han clasificado las cuencas en tres categorías: se incluyen en la primera aquéllas en que la subsidencia del basamento alcanza como máximo 3.000 m. ; en la segunda, aquéllas en que la subsidencia del basamento alcanza los 5.000 m. como máximo ; y en la tercera aquéllas en que la subsidencia del basamento excede considerablemente de 5.000 m.

Estudios realizados recientemente dan las siguientes áreas para las cuencas de estas tres categorías: para las de la 1.ª, 5.600.000 km² ; para las de la 2.ª, 8.190.000 km², y para las de la 3.ª, 3.750.000 km².

La cuenca del Golfo de Méjico y la epeirogenia del Oriente Medio son los indiscutibles miembros de la 3.ª categoría. Extensas áreas de la epeirogenia del Oriente Medio, no solamente exceden los 5.000 m. de profundidad que requiere la clase, sino que los sobrepasan de modo impresionante debido a antefosas que ocupan cientos de millas ; y hay motivos para suponer que la subsidencia del basamento en muchas de esas antefosas llegue y muy posiblemente sobrepase los 8.000 metros.

La cuenca del Golfo de Méjico es en muchos aspectos, si no en todos, la cuenca sedimentaria epeirogénica mayor del mundo. Su área total y el grado de subsidencia del basamento son igualmente notables. Los sondeos han demostrado que la subsidencia del basamento sobrepasa los **7.000** metros, y es casi seguro que pueda alcanzar en ciertos lugares los **14.000**.

Hipersubsidencia es la fase de subsidencia que comienza cuando el hundimiento del basamento llega a **5.000** metros.

Los dos grandes miembros de la 3.<sup>a</sup> clase no solamente presentan grandes áreas de hipersubsidencia, sino que éstas ocupan un alto porcentaje del área total. En este aspecto, la cuenca del Golfo de Méjico ocupa el primer lugar, pues posee un área de **1.530.000** km<sup>2</sup> en que el basamento se encuentra en hipersubsidencia, es decir, por debajo de los **5.000** metros; y el porcentaje de cuenca en hipersubsidencia es posiblemente superior al **75** por **100**. En la cuenca del Oriente Medio, el área en que el basamento está en hipersubsidencia es del orden de **900.000** km<sup>2</sup>, y el porcentaje del área en hipersubsidencia es aproximadamente del **60** por **100**.

En las cuencas sedimentarias que siguen a los dos grandes miembros de la 3.<sup>a</sup> categoría se reduce considerablemente el área total de hipersubsidencia, como puede verse por las siguientes cifras :

| C U E N C A            | ÁREA KM <sup>2</sup> |
|------------------------|----------------------|
| Golfo de Méjico ... .. | <b>1.530.000</b>     |
| Oriente Medio... ..    | <b>900.000</b>       |
| Libia-Egipto ... ..    | <b>205.000</b>       |
| Bahía de Bengala... .. | <b>154.000</b>       |

Es interesante comparar estas cifras con las áreas de hipersubsidencia de otras cuencas. En la epeirogenia sumamente productiva de Venezuela Oriental, el área de hipersubsidencia es sorprendentemente baja : **20.500** km<sup>2</sup>. En cambio en la epeirogenia de Maracaibo, en Venezuela Occidental, el área de hipersubsidencia es casi doble: **38.500** km<sup>2</sup>, y es alto también el porcentaje con relación al área total de la cuenca, pues tal vez llegue al **60** por **100**.

Hemos expuesto estas nociones sobre la subsidencia e hipersubsidencia en las cuencas sedimentarias marinas porque hay una indudable relación entre los depósitos de petróleo y la hipersubsidencia. Cuando se investiga esta relación es natural que se tome como punto de referencia la provincia petrolífera más extraordinaria del mundo: el Oriente Medio. Su riqueza es enorme porque se une en ella al extraordinariamente productivo «cuerpo plegado» la igualmente productiva «epeirogenia». El «cuerpo plegado» se calcula que contiene reservas del orden de 100.000 millones de barriles de petróleo (15.900 millones de m<sup>3</sup>) y esta enorme cantidad se halla fuera del área de la «epeirogenia», que puede contener a su vez reservas del orden de 200.000 millones de barriles (31.800 millones de m<sup>3</sup>).

Ahora bien ; aunque la mayor parte de esos 200.000 millones de barriles se encuentran dentro del área de hipersubsidencia, las capas que ahora producen y las que se supone que han de producir en un futuro próximo se hallan «indudablemente encima» de las que realmente pueden considerarse como hipersubsidentes. Por ello se ha pensado en una posible emigración vertical del petróleo, y aunque existe la posibilidad de que capas excesivamente profundas, desconocidas hasta ahora, hayan contribuido mediante una emigración vertical a aumentar el contenido en petróleo de las capas menos profundas que ahora se explotan, como estas capas están bien provistas de rocas madres en sus propios horizontes, hay que creer que las capas hipersubsidentes no han contribuido de modo notable a la producción actual de la epeirogenia del Oriente Medio. Pero tal vez esas capas hipersubsidentes sean capaces de dar una importante cantidad de petróleo, producido y almacenado en sus propios horizontes geológicos, pues parte al menos de la serie estratigráfica que abarcan es adecuada para ello.

Ciertas condiciones del sector de la costa del Golfo de Méjico son semejantes a las de la epeirogenia del Oriente Medio, y en él se ha obtenido y se continúa obteniendo una buena producción en capas poco profundas y de profundidad media, y una cifra generalmente aceptada para el volumen de petróleo en ellas recuperable es la de 50.000 millones de barriles (7.950 millones de m<sup>3</sup>).

Tampoco es de suponer que las capas hipersubsidentes hayan contribuido allí de modo apreciable a acumular grandes volúmenes de petróleo en las capas poco profundas o de profundidad media, pues los sondeos han demostrado que las capas que se encuentran por debajo de **5.000** metros son capaces de producir cantidades apreciables de hidrocarburos, es decir, que no ha emigrado el generado en ellas.

\* \* \*

Detenidos estudios geológicos han puesto de manifiesto que en la región del Golfo Pérsico, notable por sus enormes reservas de petróleo, la extensión de sus campos petrolíferos y la productividad de los pozos considerados aisladamente, la abundancia de petróleo no es debida a un solo factor, sino a la concurrencia de todas las circunstancias que pueden estimarse favorables para su generación, almacenamiento y conservación, a saber : gran volumen de sedimentos marinos, muchos de ellos aptos para la generación del petróleo ; trampas estructurales y estratigráficas que ya existían cuando comenzó la emigración del petróleo, entre ellas muchos grandes anticlinales, excelentes rocas almacenes y de cobertura, y falta de discordancias importantes en los estratos que contienen el petróleo.

Hasta ahora sólo se ha explorado parte de la cuenca, pero sus reservas probadas se estimaban ya a finales del año 1965 en **126.000** millones de barriles (**20.034.000.000 m<sup>3</sup>**), que equivalen a dos terceras partes de las reservas totales del mundo. Durante el año 1965 se obtuvo una producción media diaria de más de **3** millones de barriles (**470.000 m<sup>3</sup>**) con algo menos de **600** pozos y con un promedio de más de **5.000** barriles (**795 m<sup>3</sup>**) por pozo ; pero muchos de éstos mantuvieron una producción de más de **20.000** barriles (**3.180 m<sup>3</sup>**) por día.

El concurrir en esta cuenca todas las circunstancias favorables para originar su enorme riqueza petrolífera se debe exclusivamente a sus características geológicas.

Como no me es posible hacer una descripción detallada de la

estratigrafía de la comarca, diré solamente que la mayor parte de sus sedimentos, incluyendo todos los que producen petróleo, son de edad postcarbonífera.

En el Norte del Iraq y en el Irán, es de los depósitos triásicos, compuestos de calizas, dolomías y anhidritas, de donde se extrae el petróleo. En la mayor parte de los campos arábigos producen el petróleo las rocas carbonatadas jurásicas. Las calizas y dolomías del Cretáceo medio son las productoras en varios de los campos de las colinas del Iraq y del Irán. Cerca de la cabecera del Golfo Pérsico las épocas cretácea inferior y media están ampliamente representadas por arenas y pizarras, que forman los campos productivos de esta región.

Los sedimentos posteocenos están principalmente confinados en la región al Norte del Golfo Pérsico. Los depósitos oligocenos son calizas recifales y margas. La llamada caliza Asmari, que es la formación más productiva del Irán, comprende calizas del Mioceno inferior, de grano fino, foraminíferas, y en algunos campos calizas recifales oligocenas.

En general, las rocas almacenes son arenas y rocas carbonatadas. Su edad va del Mioceno al Jurásico medio y su profundidad de 200 a 3.700 m.

En las 600.000 millas cúbicas ( $2.306.800 \text{ km}^3$ ) de sedimentos que probablemente producen petróleo en la zona estimada actualmente petrolífera, las reservas comprobadas representan 210.000 barriles de petróleo recuperable por milla cúbica, o  $33.390 \text{ m}^3$  por kilómetro cúbico.

La cantidad total de petróleo recuperable (petróleo producido más reservas comprobadas) oscila en las diferentes provincias petrolíferas de los Estados Unidos entre 6.000 y 200.000 barriles por milla cúbica ( $954$  a  $31.800 \text{ m}^3$  por  $\text{km}^3$ ) de sedimentos, y es probable que alcance un promedio de 50.000 barriles por  $\text{m}^3$  ( $7.950 \text{ m}^3$  por  $\text{km}^3$ ). Así, el conjunto de sedimentos de la zona petrolífera actual del Golfo Pérsico tiene tanto petróleo por  $\text{m}^3$  como los sedimentos de las provincias más ricas en petróleo de los Estados Unidos.

Un corte general del terreno en las colinas del Irán pone de

manifiesto que el espesor de las capas sedimentarias, desde la base de las formaciones Fars del Mioceno superior hasta la base del Permiano, es de 4.422 m., cifra confirmada por estudios recientes hechos en los Montes Zagros. En el área Basra, el espesor de las capas sedimentarias desde el Eoceno hasta el Permiano es de 5.185 m. En los campos de Arabia, la base del Permiano se encuentra a 6.000 m. de profundidad, y en Omán, el espesor de los mismos terrenos es de unos 4.760 m. El espesor medio de los sedimentos susceptibles de contener petróleo es, por lo tanto, de 5.000 m.

El origen y la generación del petróleo no se conocen bien todavía. Sin embargo, se admite : 1.º, que la mayor parte del petróleo se formó en sedimentos marinos ; 2.º, que las mejores rocas madres son las de grano fino ; y 3.º, que un ambiente de estancamiento y al mismo tiempo reductor es el que más favorece la generación del petróleo. Y la cuenca del Golfo Pérsico contiene muchas rocas sedimentarias de esa naturaleza y que se han depositado en tales condiciones ambientales. Pizarras y margas, algunas de ellas bituminosas, se presentan en muchos horizontes geológicos y son probablemente rocas-madre del petróleo. La parte más importante de estas rocas son las pizarras del Cretáceo inferior en los dos lados del Golfo, y las margas del Cretáceo superior en las colinas. Además hay abundantes calizas de grano fino, que seguramente han actuado también de rocas-madre.

Condiciones de estancamiento podrían haberse producido fácilmente entre los arrecifes o entre los arrecifes y la costa, y es sabido que los arrecifes abundaban allí en los períodos Jurásico, Cretáceo y Terciario. También podrían haberse originado estancamientos frente a los deltas. Ambas circunstancias ambientales son bien conocidas como prolíficas generadoras de petróleo en América del Norte: la primera en el Oeste de Tejas y en Alberta, y la segunda en la costa del Golfo de Méjico.

Las cuencas con umbral originan fácilmente situaciones de estancamiento y son propicias a crear un ambiente reductor ; y respecto al Golfo Pérsico, se puede decir que esta cuenca estuvo limitada por un umbral, o cerrada del todo, durante la mayor parte de

su larga historia. Sólo habría sido necesario un pequeño cambio en el sistema de cierre para pasar de una cuenca con umbral, en donde se generarían volúmenes considerables de petróleo, a una cuenca completamente cerrada, en donde tendría lugar la deposición de sal y anhidrita.

Es posible que los sedimentos del Golfo Pérsico, aunque inquestionablemente muy ricos en hidrocarburos, no contengan mayor cantidad que los de las demás cuencas, sino que la alta cifra de reserva sea debida a su elevada proporción de hidrocarburos de la serie del petróleo ligero. Por ejemplo, la región occidental del Canadá contiene cientos de miles de millones de barriles de petróleo muy pesado en las arenas asfálticas de Athabasca, y las reservas comprobadas de petróleo ligero recuperable son sólo de **3.000** millones de barriles. El total de las reservas de hidrocarburos *in situ* en el Oeste del Canadá son pues del mismo orden de magnitud que las de la cuenca del Golfo Pérsico, pero no hay comparación entre sus reservas de aceite ligero.

Las rocas-almacenes de los campos petrolíferos del Golfo Pérsico tienen generalmente porosidad y permeabilidad muy grandes. En el lado arábico de la cuenca muchas rocas almacenes son excepcionalmente buenas. En la Arabia Saudita, por ejemplo, donde la principal roca almacén es una caliza oolítica parcialmente dolomitizada, es práctica corriente sondear sin retorno de lodos, pues la formación es suficientemente porosa y permeable para absorber todos los detritus de la perforación. La roca almacén productiva de Burgan, en Kuwait, consta de **270** m. de una arena suelta y limpia de grano medio a grueso y con un contenido en agua que apenas llega al 5 por 100. En estas condiciones, no solamente se originan almacenamientos muy grandes, sino que es también posible extraer una elevada proporción del petróleo contenido.

En cambio, en los campos de Irán la caliza de Asmari, que es allí la principal formación productora, tiene permeabilidad muy baja y lo mismo ocurre con las calizas del Cretáceo medio y superior de las colinas del Iraq; sin embargo, los pozos pueden producir más de **20.000** barriles por día debido a las fracturas que establecen comunicación entre las capas rocosas. Estas fracturas fue-



ron causadas principalmente por los movimientos orogénicos del Plioceno.

Debido a la existencia de más de un sistema de plegamiento se presentan anticlinales a través de la mayor parte de la cuenca, y las estructuras son de enorme tamaño. Las de más de **30** kilómetros de longitud son frecuentes tanto en el Norte como en el Sur del Golfo, y se conocen anticlinales cuya longitud excede de **160** kilómetros. En el Norte, muchos pliegues tienen amplitud superior a **3.300** m., y muchos de los anticlinales están llenos de hidrocarburos hasta rebosar. El campo de Kirkuk, en las colinas del Iraq, tiene una línea de producción ininterrumpida de más de **90** kilómetros, y la longitud del campo de Ghawar, en la Arabia Saudita, es de más de **160**. Ese tamaño de los anticlinales no sólo permite que se formen grandes acumulaciones de hidrocarburos, sino que hace relativamente fácil descubrir la estructura del subsuelo por medio de geología de superficie, de calicatas y pocillos o de trabajos sísmicos.

Las rocas de cobertura al Sur del Golfo Pérsico y del Río Tigris son anhidritas, calizas y pizarras, y en algunos campos tienen menos de **30** m. de espesor. En el campo de Dukhan, de Qatar, donde la roca de cobertura es anhidrita de sólo **20** m. de espesor, existe una falla con un salto de **23** m., pero el sellado se ha mantenido por la plasticidad de la anhidrita inyectada a presión.

Las rocas de cobertura en el lado de Arabia son adecuadas sólo porque el plegamiento en este área fue muy suave; pero en las colinas, donde las rocas están fuertemente plegadas y fracturadas, y donde capas de cobertura de tan poco espesor habrían sido ineficaces, la sal, o bien una marga pastosa, selló allí los depósitos. A no ser por la sal, bolsas de petróleo que tienen una cobertura de menos de **300** m. no se habrían conservado, pero a pesar de las coberturas de sal hay muchas exudaciones de petróleo en las colinas del Irán.

En la cuenca del Golfo Pérsico, la casi continua subsidencia desde el Carbonífero y la consiguiente limitada erosión han permitido la conservación de la mayor parte de los campos petrolíferos.

Además, como ni en el área considerada actualmente petrolífera, ni en el resto de la cuenca existen rocas ígneas ni rocas metamórficas, muy poco petróleo ha podido ser destruido o descompuesto por efecto de altas temperaturas o presiones.

De lo expuesto se deduce que las grandes reservas de petróleo del área del Golfo Pérsico son resultado, como ya dije, no de un solo factor, sino de la coincidencia de todas las circunstancias favorables para la formación, acumulación y conservación de los hidrocarburos.

\* \* \*

Las reservas mundiales de petróleo crudo son grandes y siguen creciendo, pero la cantidad en que sobrepasan al consumo va descendiendo gradualmente.

En el año 1966 las reservas aumentaron en la importante cantidad de **23.000 millones de barriles (3.657.000.000 de m<sup>3</sup>)**, alcanzando un total de **387.984.744.000 barriles (61.690 millones de m<sup>3</sup>)**, pero el aumento resultó ser sólo de **3,6 por 100** en tanto que el consumo mundial de crudo aumentó el **8,7 por 100**.

El *Oriente Medio* continúa siendo el país que tiene mayores reservas de petróleo crudo, y registró otra vez un gran aumento en 1966, elevándolas a **241.400 millones de barriles (38.300 millones de m<sup>3</sup>)** que representan el **62,2 por 100** de las de todo el mundo.

La mayor parte del aumento de reservas en el Oriente Medio corresponde a la Arabia Saudita con **11.000 millones de barriles (1.749 millones de m<sup>3</sup>)**.

Irán continúa siendo, en cuanto a reservas, el tercer país del mundo, habiendo alcanzado en 1966 la cifra de **41.000 millones de barriles (6.519 millones de m<sup>3</sup>)**.

El cuarto lugar del Oriente Medio, y el sexto en el mundo después de Rusia y los Estados Unidos, es el Iraq, que a finales de 1966 contaba con unas reservas de **30.000 millones de barriles (4.760 millones de m<sup>3</sup>)**.

Rusia está a punto de arrebatarse al Irán el tercer puesto en la

lista de países con mayores reservas de petróleo, y desde luego ha alcanzado ya el cuarto lugar. A finales de 1966 las reservas de petróleo de Rusia se estimaban en un mínimo de 38.000 millones de barriles (6.000 millones de m<sup>3</sup>), pues durante ese año hizo Rusia varios descubrimientos de gran importancia en Siberia, e informaciones que parecen verídicas indican que Rusia puede disponer de reservas superiores a 40.000 millones de barriles (6.300 millones de m<sup>3</sup>).

En el *Hemisferio Occidental*, las reservas de petróleo crudo eran de 66.100 millones de barriles (10.100 millones de m<sup>3</sup>) al finalizar el año 1966 (17 por 100 del total del mundo).

\* \* \*

Como ya se ha hecho público recientemente, si no se descubren nuevos campos de petróleo, las reservas actualmente conocidas podrían agotarse en un plazo de treinta y dos años, pero los nuevos procedimientos de extracción permitirán tal vez alargar dicho plazo obteniendo mejores rendimientos de los campos actuales.

El «British Petroleum» calcula el consumo mundial de productos petrolíferos en unos 36 millones de barriles (5.723.000 m<sup>3</sup>) diarios, lo que equivale a unos 13.000 millones de barriles por año. Las reservas conocidas las calcula en unos 417.000 millones de barriles, que sólo podrían cubrir, al *ritmo actual de consumo*, las necesidades de petróleo en los próximos treinta y dos años.

El consumo mundial pasó de 33 millones de barriles (5.250.000 m<sup>3</sup>) en 1966 a 36 millones (5.720.000 m<sup>3</sup>) en 1967. Hace diez años, el consumo mundial era sólo de 17 millones de barriles (2.702.000 m<sup>3</sup>), o sea aproximadamente la mitad.

No tenemos tiempo de ocuparnos de otra interesante cuestión relacionada con el consumo de petróleo, cual es la reserva mundial de gas, que está aumentando rápidamente y que según un reciente estudio de «World Oil» asciende a un total de 1.000 trillones de pies cúbicos, y como el cálculo de las reservas de muchos países se cree que se ha hecho con criterio conservador y se continúa encontrando más gas del que se consume, es posible que las reservas mundiales sean hoy muy superiores a la cifra indicada.

En la Europa occidental los mayores aumentos de reservas de gas se consiguieron en Inglaterra y en Holanda. Frente a la costa Sudeste de Inglaterra, sólo el Banco Leman ha mostrado reservas seguras de 6 trillones de pies cúbicos, y la parte Oeste del Gran Sole es también un campo importante que ha comenzado ahora a producir. El gas se ha encontrado principalmente en la arenisca roja del Permiano inferior y también en la arenisca del Triás inferior y en las formaciones magnesianas del Permiano. Grandes extensiones de areniscas rojas permianas pueden contener reservas no descubiertas aún frente a la costa holandesa del Mar del Norte.

\* \* \*

Ante el temor de que se consuman rápidamente las reservas hoy conocidas de petróleo en tierra firme se están extendiendo las investigaciones petrolíferas a las plataformas continentales, y a pesar de que las operaciones submarinas son mucho más costosas y peligrosas que las realizadas en tierra, se está intensificando la busca de petróleo bajo el mar, y ahora alcanza hasta los últimos límites de las plataformas, porque existen en ellas áreas vírgenes que ofrecen buenas perspectivas. La perforación de un pozo submarino suele costar tres veces la de un pozo en tierra firme de características similares, porque son muchos y complicados los accidentes que pueden ocurrir. En el corto espacio de dos meses se hundieron a causa de los temporales dos plataformas de perforación, la *semisumergible Ocean Prince* en el Mar del Norte y la *Trípode Julie Ann* en el Golfo de Méjico, y se perdieron los 6 y 4 millones de dólares que respectivamente habían costado ; pero a pesar de los elevados costes y los grandes riesgos, se multiplican de día en día las perforaciones submarinas.

La exploración en el mar no se limita ya al Golfo de Méjico y al Golfo Pérsico, que son las áreas tradicionales de producción submarina, pues ahora se exploran las plataformas de todos los continentes, excepto la Antártida.

En *Europa*, la explotación que empezó en el Mar del Norte se está extendiendo a la zona holandesa, y se ha constituido un

consorcio sueco que emprenderá la exploración en gran escala del Mar Báltico. Los franceses han estado perforando durante dos años en el Golfo de Vizcaya. Se está perforando en aguas españolas cerca de Cádiz, después de haberse hecho un sondeo en aguas del Mediterráneo frente a Tarragona, que no tuvo éxito favorable.

En el *Norte de Africa*, una Empresa estatal egipcia comenzó este verano un pozo submarino en aguas jurisdiccionales, y se ha empezado a perforar también frente a Túnez y Libia.

En el *Africa Oriental* se están haciendo estudios en aguas de la República Malgache y de Mozambique, y en el Mar Rojo se ha abierto ya un pozo frente a la costa saudita.

En el *Sudeste de Asia* es donde se está perforando con mayor intensidad, pues la prospección se está extendiendo desde el Norte de Sumatra, donde ya se han abierto varios pozos, a otras aguas del Archipiélago Indonesio. Varias compañías internacionales y australianas están haciendo estudios en la plataforma continental del Noroeste australiano, en el Golfo de Pápua ; otras los hacen en los arrecifes de la Gran Barrera, y dentro de unos meses se abrirá el primer pozo submarino en Nueva Zelanda. en el Mar de Tasmania.

En el *Hemisferio Occidental* se está buscando petróleo al otro lado del Golfo de Méjico y de la costa occidental de los Estados Unidos, y frente a la costa atlántica se han emprendido ya reconocimientos. También se está perforando frente a la costa occidental del Canadá desde el pasado año. En derredor de las islas árticas existen concesiones en las que se pondrán en práctica técnicas especiales de perforación en aguas heladas.

En *Iberoamérica* se está perforando en el Pacífico, frente a la costa de Nicaragua, y existen concesiones en aguas de Honduras y Jamaica. En el litoral atlántico se han emprendido reconocimientos sísmicos en el Golfo de Venezuela, La Vela y Coro, y frente a las costas Este y Nordeste del Brasil se empezará a perforar este año.

Los geólogos que se han dedicado preferentemente al estudio de las cuencas sedimentarias de la corteza terrestre y han prestado siempre atención a los hidrocarburos que éstas hayan podido con-

tener, en recientes publicaciones en que han dado cuenta de las investigaciones de petróleo y gas que se realizan en las plataformas continentales, han acometido la ímproba y difícilísima tarea de calcular los volúmenes de hidrocarburos que las cuencas situadas en estas plataformas pueden contener.

Para ese cálculo han de tenerse presentes dos factores básicos: uno, la distribución de las rocas sedimentarias que yacen bajo los mares actuales ; otro, sin duda el más importante, el carácter más o menos favorable de los sedimentos en cada área, que está determinado por el medio ambiente en que se depositaron y por su historia posterior.

El primer paso para calcular las riquezas submarinas de hidrocarburos es hacer un inventario que abarque todo el mundo, y área por área, de la superficie, volumen y composición de las rocas sedimentarias que pueden presentar interés a lo largo y fuera de la costa. Luego, clasificar cada una de las áreas sedimentarias según su aptitud para contener petróleo, estimaciones que han de basarse en la experiencia adquirida al estudiar áreas terrestres de condiciones geológicas similares.

Ya se ha llegado a superficiar el área costera submarina que hasta la profundidad de 1.000 pies corresponde a cada región importante del mundo, y este área se ha dividido en cuatro categorías según sus características más o menos favorables para contener petróleo. Para cada categoría se han calculado las  $\text{mi}^2$  y el porcentaje que esa categoría representa de la superficie total de la región considerada. En la 1.ª categoría se han agrupado las áreas que están en prolongación de un área terrestre de excelente producción y que tiene una constitución geológica semejante. En la 2.ª, las que están en prolongación de áreas francamente productivas o cuya geología es favorable para una producción comercial. En la 3.ª, las áreas que cuentan con algunas posibilidades, pero no se juzgan comercialmente atractivas, y por último en la 4.ª, aquellas que geológicamente no se consideran prometedoras, bien porque no haya cubierta sedimentaria o porque ésta sea inadecuada.

El área total de las cuencas submarinas del mundo es de 6.170.000  $\text{mi}^2$ , aproximadamente el 57 por 100 del área total de

las plataformas. El área total de las cuencas que se encuentran en tierra firme es aproximadamente de 18 a 18,5 millones de mi<sup>2</sup> ; así, las cuencas submarinas hasta 1.000 pies de profundidad miden un área total que es aproximadamente un tercio de la de las cuencas terrestres.

Una vez que las áreas de una cuenca se han dividido en las debidas categorías o subcategorías, se pueden aplicar los porcentajes promedios de las áreas que probablemente deben ser productivas, y para determinar la cuantía de la producción se puede utilizar el número promedio de barriles de petróleo recuperable que puede ser aplicado en cada caso.

Cifras que parecen razonables de promedios para el mundo en conjunto son : 4 por 100 del área total de la categoría 1.<sup>a</sup>, a razón de 35.000 barriles por acre, y 2,5 por 100 de la superficie total de la 2.<sup>a</sup> categoría, a razón de 20.000 barriles por acre.

Aplicando los anteriores promedios mundiales a las áreas de las cuencas submarinas que pertenecen a las categorías 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> se obtienen las siguientes cifras:

|                                             | B A R R I L E S |
|---------------------------------------------|-----------------|
| Area de la 1. <sup>a</sup> categoría ... .. | 168.450.000.000 |
| Area de la 2. <sup>a</sup> categoría ... .. | 530.240.000.000 |
| TOTAL ... ..                                | 698.690.000.000 |

O sea, 700.000 millones de barriles de petróleo líquido.

Esta estimación de 700.000 millones de barriles de petróleo fuera de las costas incluye los gases licuados naturales, esto es, los líquidos que están disueltos en el gas por la presión existente en el depósito, pero no incluyen el petróleo que puede ser objeto de recuperación secundaria empleando técnicas tales como el aumento de presión en los depósitos por medio de gas o de agua, o cualquier otro método para estimular la afluencia a los sondeos.

Con la recuperación secundaria en muchos campos viejos se puede conseguir un volumen de petróleo y gas igual al 50 por 100

y posiblemente al 80 por 100 del recuperado por métodos antiguos. Sobre esta base se calcula que 300.000 millones de barriles de petróleo podrán ser obtenidos por recuperación secundaria en las cuencas submarinas.

Las cifras que damos a continuación son solamente estimaciones. Sin embargo, están basadas en los únicos parámetros aceptables, que son los geológicos.

| Fuentes                                                   | Millones de barriles de petróleo |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Petróleos líquidos de 1. <sup>a</sup> recuperación ... .. | 700.000                          |
| Petróleos líquidos de 2. <sup>a</sup> recuperación ... .. | 300.000                          |
| Arenas petrolíferas asfálticas.. ... ..                   | 200.000                          |
| Rocas bituminosas ... ..                                  | 1.000.000                        |
| Gases de petróleo ... ..                                  | 300.000                          |
| TOTAL ... ..                                              | 2.500.000                        |

\* \* \*

Conviene recordar que toda la energía de fuentes orgánicas de la tierra procede de épocas geológicas pasadas. Mediante la fotosíntesis, la energía calorífica del sol fue almacenada y preservada en cantidades fantásticas de plantas y animales marinos y luego transferida a los sedimentos, de modo análogo a como fue acumulada en el carbón y en su mayor parte enterrada en los estratos de la tierra; y que aunque las fuentes de energía son vastas, en realidad son relativamente limitadas si se las compara con las necesidades futuras del hombre. Se debe tener presente que el ritmo de crecimiento del consumo de energía se está acelerando, que este crecimiento acelerado parece que ha de continuar, y que a fines de este siglo la cantidad de energía consumida será aproximadamente seis veces la de hoy.

Si las predicciones a que nos hemos referido llegan a confirmarse, a fines de este siglo, o tal vez antes, si el consumo sigue creciendo y nuevos países subdesarrollados inician o aumentan su industrialización, todas las reservas conocidas de petróleo se ha-



brán agotado, y el mundo entero estará pendiente de lo que se vaya descubriendo con las exploraciones submarinas en las plataformas continentales. El precio de los hidrocarburos experimentará sin duda un fuerte aumento, y habrá que renunciar a emplearlos en infinidad de casos en que son hoy de uso frecuente. Es difícil imaginarse los trastornos que la falta, escasez o subida de precio del petróleo ocasionará en el desarrollo de las industrias y de los medios modernos de transporte, y si no se resuelve satisfactoriamente el problema, recurriendo por ejemplo a la hidrogenación de carbones minerales, o la producción artificial de hidrocarburos no se consigue a un precio razonable, habrá que renunciar a muchas comodidades a que actualmente está acostumbrada una buena parte del mundo, y nuestro género de vida experimentará un cambio radical.

El caso del petróleo es, pues, el que más debe preocupar hoy por hoy a los gobernantes y a la humanidad entera, que montó para su prosperidad y desarrollo, a base del consumo ilimitado de hidrocarburos, un engranaje que pudiera fallar en un momento dado. Es sin duda un caso más serio que los otros dos a que hemos pasado revista: el de los combustibles sólidos y el del hierro.

\* \* \*

Muchas cuestiones les quedan aún a los geólogos por abordar y que una vez dilucidadas constituirían con seguridad una poderosa ayuda para la localización de yacimientos de diversas sustancias en regiones poco exploradas o difícilmente explorables del globo.

Determinadas condiciones ambientales de temperatura, profundidad y aislamiento más o menos efectivo de grandes masas de agua marina llegarán un día a ser reconocidas como las principales causantes de la deposición de determinadas sustancias minerales. Es por demás llamativo que en ciertos horizontes estratigráficos haya predominado la de materiales ferruginosos, y que aparte de verdaderos criaderos de hierro se hayan depositado areniscas, como las del Devoniano inferior y las del Trías, que indican por su color rojo intenso su alto contenido en hierro ; que en determinadas épo-

cas del Carbonífero inferior, del Jurásico, del Cretáceo y aun del Eoceno se hayan depositado ingentes cantidades de calizas y dolomías, dando origen a potentes series de estratos que con el tiempo habrían de formar altas cordilleras, como las de los Picos de Europa, las de nuestro Sistema Penibético y las del Jura francés. Que abundantes sedimentaciones de fosfato tricálcico se hayan verificado en ciertas regiones marinas en las épocas Cretácea y Eocena, dando lugar, entre otros, a los grandes y ricos yacimientos del Norte de Africa. Posiblemente, además de las mencionadas condiciones ambientales habrán influido exhalaciones submarinas de diversos compuestos químicos y a ellas habrá que atribuir tal vez criaderos como los de piritas de Río Tinto, pero la Geología tiene seguramente un largo camino que recorrer hasta encontrar la razón de ser de todos estos complicados fenómenos. El día en que se conozcan las causas que los producen será mucho más fácil puntualizar en qué zonas de la tierra emergida y aún de las plataformas continentales habrán de actuar preferentemente los prospectores para descubrir las riquezas del subsuelo. Pero no se puede negar que se han conseguido ya muchos éxitos favorables, que todos ellos se deben exclusivamente al desarrollo y perfeccionamiento de los conocimientos geológicos, y que, como ha venido ocurriendo hasta ahora, será siempre la Geología la que contribuirá en mayor medida que cualquier otra ciencia a poner a disposición de la humanidad las sustancias minerales de que se ha venido sirviendo sucesivamente desde los albores de su historia para mejorar su género de vida ; en suma, para consolidar y fomentar cuanto el hombre necesita para progresar. Ved, pues, con cuanta razón decía al comienzo de esta disertación que la Ciencia geológica es una gran propulsora del progreso.