

**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

**DISCURSO INAUGURAL
DEL CURSO 1947-48**

LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 19 DE NOVIEMBRE DE 1947

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. AGUSTÍN MARÍN Y BERTRÁN DE LIS



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA:
VALVERDE, 22-Tel. 212529
1 9 4 7

Tip.-Lit. Coullaut.—María de Molina, 58. Teléfono 252295. Madrid

EL PETROLEO EN ESPAÑA

Al comenzar este discurso quiero hacer constar mi agradecimiento a mis compañeros de Academia por la honra que me han hecho al designarme para pronunciar el discurso de inauguración del curso de 1947-1948.

Con objeto de huir de las comparaciones, que no serían favorables para mí, que haríais al oír un discurso sobre ciencia pura, y recordar los maravillosos pronunciados en análogas ocasiones, he escogido un tema, no de lucubraciones científicas, sino que trate de recoger las turbulencias, las agitaciones de la Humanidad sobre problemas reales, de los que llaman los americanos de geología económica, de los que más directamente afectan a la vida misma de la Humanidad. Creemos que no estará de más que la Academia se preocupe de cosas como del petróleo, desde el momento que gobiernos, políticos y economistas buscan al geólogo y, en definitiva, a la ciencia para resolverlos.

No he de encarecer, por bien sabido, el interés que tiene el petróleo en la vida moderna del mundo, ni mucho menos lo que representa este producto en la política interior de España y, más concretamente, en el desequilibrio de nuestra balanza comercial. «¡Una gota de petróleo es para nosotros como una gota de sangre!», exclamaba Clemenceau en 1918; y Wilson declaró que la supremacía de una Nación depende de su riqueza petrolífera. Fué el petróleo una de las causas principales de la pérdida de la reciente guerra por los alemanes. España, con petróleo natural, ¡Cómo cambiaría por completo su economía! ¡Cómo se arreglaría el problema de los transportes!, tan desorganizados hoy. ¡Qué fortaleza no daría a nuestra Nación saber que los aeroplanos, que los tanques, se sostienen de aceites propios! Es producto que para conseguirlo, los países que no lo poseen, tienen que entregar algo de libertad y no sé si algo de soberanía.

El consumo de petróleo aumenta por momentos. Desde 1853, en que John D. Rockefeller deambulaba por América vendiendo en plazas

y plazuelas frascos de petróleo para medicina, hasta el momento actual, en que se consumen en el mundo 7,5 millones de barriles al día, ¡qué actividad, qué energías se han desplegado y qué ganancias obtenidas!, como ocurre siempre que la humanidad enferma con la fiebre del oro.

La industria petrolífera se creó rápidamente. Drake, con la perforación de pozos para usar el petróleo para alumbrado; Andrews, con sus estudios científicos consiguiendo un rápido progreso en la industria de refinar el petróleo; el genio financiero de Deterding y Rockefeller, hijo este último del vendedor de drogas; el humilde herrero Marcus, inventor del primer motor de explosión; Denz, el que fabricó el primer automóvil de 3/4 de caballo; Ford, con sus inventos desde niño; los hermanos Novel, que crearon el bosque de pozos de Bakú; el geólogo d'Arey, verdadero descubridor del petróleo en Persia; el mayor Holmes, explorador de las cuencas petrolíferas de Banhein, El Hasa y otras de la Arabia, escogiendo un gran número de colaboradores y en contacto con Reinos y Repúblicas y trabajando en un ambiente febril y político y, por consiguiente, tenebroso, fueron los que a grandes saltos crearon la industria petrolífera, que se considera como el eje de la economía de las naciones y a la que todos prestan atención muy preferente.

Mas, ante el inmenso consumo de petróleo en el mundo, los economistas, los gobiernos, sienten grandes preocupaciones y es a la Ciencia, es a los geólogos, a los que acuden unos y otros para saber la verdad de las reservas en el mundo y éstos tienen el deber de manifestar que son muy limitadas.

La producción acrecienta de modo grande sin satisfacer por completo las necesidades mundiales, con la circunstancia de que el consumo del mundo, en vez de disminuir, ha aumentado después de terminada la reciente conflagración mundial. La producción mundial, en 1938, era de 5,446 millones de barriles por día y, en 1946, llegó a 7,555 millones, y se prevé una producción, en 1950, de 9,300 millones de barriles diarios.

La producción en el mundo por día se reparte del modo siguiente:

	BARRILES POR DÍA	POR CIENTO
Estados Unidos	4.705.000	61,8
Estados del Centro de Eurasia .	760.000	10,0
Venezuela	1.100.000	14,5
Otros Estados	1.043.000	13,7

Pero lo interesante es el dato de que en los Estados Unidos (1) se produce, término medio, 11,1 barriles diarios por un pozo y, en cambio, en la región pérsica, se extraen 4.108 barriles y, en Venezuela, 223 barriles. Es decir, que se puede apreciar el ímpetu con que aparece el petróleo en las cuencas nuevas y la decadencia de las viejas. En 1950, la relación entre la producción de los Estados Unidos con la mundial se supone que bajará de 61 %, que es ahora, a 57 %.

Las reservas del mundo calculadas por los geólogos, teniendo en cuenta extensión y capacidad de las capas petrolíferas, se calculan en 67.366 millones de barriles, o sean unos 9.200 millones de toneladas. Se reparten por cuencas del modo siguiente:

Estados Unidos	20.827 millones de barriles		
Venezuela	7.000	»	»
Otros países de América..	2.389	»	»
Rusia	8.000	»	»
Persia-Arabia	27.000	»	»
Indias Orientales...	1.075	»	»
Otros países	1.075	»	»
TOTAL	67.366	»	»

Si se calcula la producción que se supone existirá en 1950 de 9.760.000 barriles diarios, el mundo sólo tendrá petróleo para 18 años.

Todas estas cifras constan en una comunicación de autores tan conocidos como Baker y Logan, previa consulta con el American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, y teniendo en cuenta datos de los Centros más importantes de petróleo de los Estados Unidos.

Producen estas cifras una impresión de pesimismo y no se adivina bien cuál va a ser la suerte del mundo en tan esencial cuestión; pero es preciso reaccionar y examinar bien datos y cifras. Se observa que el consumo aumenta en un 5,7 % por año con relación al anterior (aunque en 1947 se considera que va a aumentar en 6 a 9 %), pero en cambio se han descubierto nuevos campos petrolíferos que compensan el déficit. Así, por ejemplo, se calculaban en 1920 unas existencias de 43.055 millones de barriles en el mundo; después de

(1) En los Estados Unidos existen 424.286 pozos y se producen 4.705.000 barriles al día; en Venezuela, 4.933 y 1.100.000; en el Golfo Pérsico y proximidades, 185 y 760.000; en el resto del mundo existen 39.345 pozos y se producen 1.043.000 barriles al día.

haberse consumido petróleo 27 años se consideran ahora las existencias en 67.366 millones. Es cierto que en este período de tiempo se han reconocido los importantes yacimientos pérsicos. ¿Y por qué no se han de descubrir más? Por eso el programa de los americanos es investigar e investigar, no sólo en su país, sino también en todo el mundo, en donde ellos puedan disponer de los productos obtenidos, por lo menos en una parte.

En España no somos pocos los que creemos que se debe llevar a la práctica un plan grande de investigaciones petrolíferas, para apurar todas las posibilidades de que exista petróleo, del modo que indicaré después. Comprendemos que son trabajos muy aleatorios. Se considera tener suerte en la investigación acertar en un sondeo de cada diez. Sabemos también que investigar petróleo es muy caro, porque hay que llegar a grandes profundidades y con máquinas muy complicadas, que constituyen verdaderas fábricas, con laboratorios y personal muy experimentado. Solamente compañías de gran capital, o el Estado, pueden acometer esta empresa, pues hay que pensar que se pueden tirar a la calle grandes cantidades de dinero. Opinamos que tal vez en una compenetración entre el Estado e industria privada, a la manera de lo que se hace en Francia, o tal vez buscando el auxilio del capital y la técnica americana, podría acometerse el plan general de reconocimientos de petróleo, que juzgamos indispensable se lleve a cabo a la mayor brevedad posible, pues produce gran ilusión pensar en el cambio radical que tendría la economía española si se pudiera hallar tan preciada sustancia.

Debemos, por ejemplo, examinar la conducta de Francia en esta cuestión. Han acometido los reconocimientos petrolíferos con un gran empuje. Han autorizado, por Ley, a gastar 50.000 millones de francos (valor del franco en 1946) en 10 años en Francia, Marruecos, Indochina y Madagascar. En Francia unos 10.000 millones, y en Africa del Norte 20.000 millones.

Todas estas consideraciones me atrevo a exponerlas en este sitio porque la posibilidad (no la probabilidad) de hallar petróleo, se apoya en investigaciones científicas, de orden geológico; es decir, que queremos recoger los beneficios que irradian del cultivo de la ciencia pura. El mundo progresa, el mundo se afana para mejorar su bienestar, mas para conseguirlo tiene que acudir a los laboratorios, en donde el hombre se reconcentra y en donde aprovecha los dones que el Cielo le dió para ejercer la caridad en las concepciones del espíritu, entregando a la humanidad el resultado de sus estudios, de sus investigaciones para su mejora social. No creemos que se pueda cul-

tivar mejor dicha virtud, y la mayor parte de las veces con completo desinterés.

En España creemos que aun no se ha investigado el petróleo. Los escasos sondeos hechos, en general poco profundos, con maquinaria deficiente y ubicados sin preceder una exploración geológica y geofísica adecuada, no pueden servir de base para formular un juicio definitivo sobre la existencia de petróleo en España. Algunos se han hecho dejándose llevar de impresiones de carácter orográfico, después de haber estado en América; otros fueron ubicados sin más guía que la que indicaba la famosa varita, y hubo algunos con resultados satisfactorios respecto a gases e indicaciones que no se supieron o pudieron aprovechar para nuevas investigaciones. Ahora se ha estudiado mucho nuestra geología y se han buscado estructuras a propósito por todos los rincones de nuestro país, y se comienzan a realizar sondeos con ubicaciones obedientes a un plan bien pensado de reconocimientos. Sin embargo, nos parece que el problema se acomete con poca valentía, y que es preciso consignar cifras que se diferencien mucho de lo que hasta ahora se ha dedicado a investigaciones mineras. Juzgamos estos gastos, de tanta importancia para el porvenir económico y político de nuestro país, como las cifras que se emplean para fines militares, para obras públicas o para enseñanza.

De todos los estudios realizados por el Estado y por particulares, he sacado la opinión personal de que no es fácil encontrar en España, ni en nuestra zona del Protectorado, grandes cuencas petrolíferas con analogía a las de América (Texas, California), ni con las de Irak, pero sí se pueden hallar varias cuencas pequeñas, distribuidas en España y Africa, que puedan resolver nuestro problema nacional.

Para investigar nuestro suelo en busca de petróleo: 1.º Debemos reflexionar sobre el origen que atribuimos al petróleo y condiciones de su formación, con objeto de saber si pueden darse las circunstancias precisas para su existencia. 2.º Se deben examinar y visitar las cuencas petrolíferas productivas extranjeras, para recoger las enseñanzas geológicas y buscar su aplicación en España. 3.º Se debe buscar y estudiar la forma de presentarse en el terreno los indicios de hidrocarburos que se presentan en nuestro país. 4.º Se debe estudiar la estratigrafía y tectónica de las regiones de España en donde se encuentran estructuras que consideramos favorables a la existencia de petróleo, examinando bien las condiciones que concurren en cada una de estas estructuras, con objeto de saber si existen: a) Materiales en la columna estratigráfica del lugar que se examine que puedan constituir la roca madre del petróleo.

b) Estratos lo suficientemente porosos para constituir la roca-almacén. c) La cubierta sobre el criadero, formada de bancos impermeables que impidan la emigración del petróleo. d) Fallas que estén cerradas, selladas, como dicen los americanos, que dejen ascender el petróleo, pero no emigrar.

El mismo origen del petróleo, en su conexión con los testigos paleontológicos que se nos aparecen en el terreno, podrían darnos una primera impresión sobre la existencia de petróleo; pero, desgraciadamente aun no existe una teoría que explique la génesis del petróleo que pueda salir al paso a todas las objeciones que se la puedan formular, aunque sigamos sin titubear la teoría que atribuye al petróleo un origen orgánico y para su formación un proceso bioquímico.

Las teorías que consideran que el petróleo tiene un origen inorgánico, tienen ya pocos adeptos. Ni la teoría del carburo alcalino, de Berthelot, desechada por no hallarse en la Naturaleza ni metales alcalinos libres ni carburos; ni la de Mendeleef, que supone la formación de acetileno que exigiría la producción de hierro magnético en los criaderos que no se han reconocido; ni la teoría volcánica de Moissan, que exige fenómenos que no se parecen nada a lo observado por los geólogos en los criaderos petrolíferos; ni la cósmica de Sokolov; ni la teoría de la formación del petróleo por reacciones de caliza, yeso y agua caliente, reacciones que no han podido llevarse a cabo en los laboratorios, sirven para explicar la presencia de la citada sustancia.

Por otra parte, nuestra inteligencia se resiste un poco a creer cómo esas inmensas cantidades de petróleo hayan podido ser creadas por materiales orgánicos. No se concibe bien cómo se han podido formar esas masas de animales o plantas que han originado el petróleo en tantos parajes distintos y en tan grandes depósitos, pero juzgamos desvanecidas estas dudas al considerar los inmensos depósitos de carbón y la aglomeración de ciertos seres acumulados en los mares en cantidades inmensas, como los de algas flotantes del mar de Las Sargasa, en el Atlántico; como la aglomeración de corales en Oceanía y en Florida; la acumulación de organismos en el plancton; como las oscilarias, en el archipiélago de las Indias; como las peridóneas en el mar Rojo; como las diatomeas, en los países fríos de América del Norte; y aun las acumulaciones producidas por causas accidentales, como la de peces muertos, observada en una zona de 100 kilómetros, en 1882, por los barcos que navegaban en primavera hacia Boston y Nueva York, que hicieron suponer que, en un

área de 500 kilómetros de largo por 100 de ancho, el mar estaba ocupado por una capa de peces muertos de 1,90 metros de espesor. Estos son hechos históricos que pueden explicar la presencia del petróleo y que no representan nada en la larga vida del gran laboratorio existente en el interior de la tierra. Sólo basta considerar que la época del Cuaternario, o sea desde el momento que aparece el hombre en la Tierra hasta el momento actual, se calcula una duración de 600.000 años, y la total de la Tierra de 1.900 millones, o sea 0,03 % del total.

Las rocas, constituidas casi en su totalidad por foraminíferos y radiolarios, como en el Senonense y en el Eoceno de Cataluña, y tantas otras, prueban bien a las claras cómo la vida se desparramó siempre en todos los períodos geológicos.

Por consiguiente, la objeción fundada en la imposibilidad de existir cantidad de masa transformable en hidrocarburos, parece rebatida, observando la exuberancia de vida en todas las ramas de la naturaleza, que obliga a los seres que en ella existen a devorarse unos a otros para subsistir.

En cambio, propiedades y elementos constituyentes del petróleo parecen demostrar claramente su origen orgánico. Marbey, químico americano, ha demostrado que el petróleo contiene siempre nitrógeno, y que, además, se presenta en forma de piridinas y quinoleínas, que constituyen, en parte, la base de los alcaloides vegetales.

Se ha comprobado que los productos nitrogenados del petróleo se han formado durante su destilación y, por consiguiente, se desconoce de dónde proviene, aunque se sospecha proceda de sustancias albuminoides. También se ha comprobado por Theibs, en el petróleo, la existencia de productos derivados del grupo de las porfirinas, derivadas de la clorofila, que se destruye a 200 C., indicando su origen vegetal.

El oxígeno también ha llegado al petróleo, ya en forma de ácidos grasos y aromáticos como de productos derivados de la colesterolina y fitosterina, representando, respectivamente, a elementos de los reinos animal y vegetal. Tal vez sean estas sustancias las que dan origen a la actividad óptica de los petróleos naturales, que no la tienen los que se fabrican en laboratorios por medios químicos. También se observa azufre orgánico, y en algunos, como en los californianos, el metaloide orgánico por excelencia, el fósforo.

Para aceptar la teoría del origen orgánico del petróleo hay que poner de acuerdo dos hechos, dos fenómenos que aparecen como contradictorios. Para que los seres orgánicos existan hace falta oxí-

geno, pero es condición *sine qua non*, en el proceso de bituminización, que no exista oxígeno en el medio que se efectúa la descomposición, como ocurre en el fondo de los mares, y la explicación puede estar en que se haga la bituminización en golfos, mares interiores o en lagunas donde existen aportaciones grandes de seres muertos, que se depositan en el fondo, fuera de la zona oxigenada y que fueron cubiertos por aguas profundas saladas. Con este sistema de ver las cosas creemos que la microfauna y la microflora debe jugar un papel muy importante en la formación del petróleo, a los que tal vez hagan su aportación los elementos en nutrición de estos pequeños animales.

A pesar de la preponderancia que tienen en el mundo científico las teorías que atribuyen al petróleo un origen orgánico, no puede negarse que todavía no se han podido reproducir en el laboratorio las acciones y reacciones que en la naturaleza se han verificado para poder pasar de la materia orgánica a los hidrocarburos, probablemente por la dificultad de copiar la acción de las bacterias, cuya parte en la formación del petróleo parece confirmada. Los anaerobios parece atacan la materia celulosa o ligno celulosa para extraer el oxígeno, con lo que queda una sustancia de muy bajo contenido en este gas, único medio de llevarse a cabo la bituminización.

Los experimentos del Dr. F. Zo Bell, minerobiologista de la Institution Scripps de Oceanografía, patrocinados por el Instituto Americano del Petróleo, confirman que las bacterias deben haber intervenido en la formación del petróleo crudo. Para ello separan oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo de la materia orgánica y dejan residuos hidrocarbureados.

Es cosa ya reconocida que actualmente, en algunas partes del mar Pacífico y el mar Muerto, se están desarrollando procesos que convierten los sedimentos orgánicos marinos en petróleo, y que las bacterias pueden transformar los materiales albuminosos y ácidos grasos en gas natural y productos de carácter aceitoso, con pronunciado olor bituminoso.

Para poner bien de manifiesto la acción bacteriana en la formación del petróleo, diremos, aunque sea como un inciso, cómo se ha sabido aprovechar esta acción para el aumento de producción de las capas petrolíferas.

Algunas bacterias, sobre todo las llamadas tigmotácticas, pueden desplazar gotas de petróleo de la superficie de partículas de sedimentos; otras producen ácidos y, por consiguiente, liberan al petróleo que está en la superficie de las calizas. Las bacterias producen además los «detergentes», o sea sustancias de acción superficial

que separan la película de petróleo de los granos de arena, o sea, que disminuyen la tensión superficial.

Parece ser que las bacterias del género *Desulfovibrio*, y especialmente la especie *hydrocarbonoclasticus*, es la que reúne mejores condiciones para desarrollar estos fenómenos de separación del petróleo. Esta propiedad es la que quieren hoy aprovechar para extraer del terreno aquel que ya no se puede obtener por los medios hoy en aplicación. Para conseguirlo, se inyectan en las capas petrolíferas soluciones especiales formadas de salmuera acuosa, a la que se agrega en determinadas proporciones sulfato de calcio, carbonato de calcio, lactato de calcio y sulfato ferroso amoniacal (que después se hierve y se agregan las emulsiones con cultivo de bacteria) y después de varias manipulaciones se la mezcla con agua. Con estas inyecciones se espera aumentar mucho la producción en la capa petrolífera anémica. También se aplicará a los pozos abandonados que se consideren agotados. Se están haciendo pruebas de este método en Pensilvania, por la Asociación de petróleo crudo de este Estado.

La oscuridad que envuelve a la génesis del petróleo, motiva que unos crean que esta sustancia proviene de vegetales; otros, de animales, principalmente peces; varios, de unos y otros y, muchos más, los que consideran que procede de seres inferiores, cuya abundancia en la Naturaleza hemos hecho antes resaltar. Por hoy a nosotros nos parece que todas estas teorías no son exclusivas, que varias de las transformaciones concebidas para explicación de la formación del petróleo pueden subsistir, pues creemos que donde hay un trozo de materia orgánica en especiales condiciones de yacimiento, puede existir una fuente de petróleo. No entraremos en la descripción detallada de estas teorías, pues lo que acabamos de indicar acerca del origen del petróleo, lo hemos hecho con objeto de señalar lo importante que es para el investigador el saber si en el lugar en que se buscan los hidrocarburos existen las debidas condiciones geológicas para que se hayan podido engendrar.

El fósil fija la naturaleza y la edad de los estratos, datos muy interesantes en la investigación del petróleo. Nos pueden indicar esos testigos, no sólo que existió materia orgánica, sino las condiciones de vida, clima, medio en que se desarrollaron los seres que pululaban por aquel entonces y se puede saber si las rocas que lo aprisionan se han formado con materiales procedentes de un continente, del mar, de un lago, de una zona litoral, o sea, si los depósitos eran límnicos, pelágicos, batiales o abisales; en fin, se puede atisbar si los estratos

tienen condiciones para hallar hidrocarburos en ellos o en otros próximos. Una buena síntesis paleogeográfica de las presuntas cuencas petrolíferas es de gran ayuda para la investigación del petróleo. Se debe procurar establecer la situación de antiguas lagunas, lagos desérticos, variaciones de cursos de ríos, las faunas de los fondos submarinos fósiles, extensión de las cuencas de alimentación, etc., que tanta relación tienen con la existencia del petróleo.

El fósil, además, es el que dirige al explorador. En todas las cuencas principales se conoce la estratigrafía del lugar por sus fósiles característicos, y así se sabe, al aparecer restos de ellos en un sondeo, el tramo geológico de la columna estratigráfica que se alcanzó con la perforación, y se puede estimar de modo aproximado la separación entre el sitio donde está el fondo del sondeo con las capas petrolíferas. Así, por ejemplo, por el banco de *Heterosteginas* del Oligoceno y los estratos con *Discorbis yeguaensis*, de Texas Gulf Coast, se conoce la situación de los yacimientos de petróleo.

En España se ha podido determinar qué depósitos arcillosos y detríticos del Wealdense, bien desarrollado en las provincias de Santander, Burgos, Soria, Logroño, han sido de origen lacustre o presentan facies litoral, gracias a los *Unios*, *Peludinas*, *Cyrenas*, etc., que en ellos se hallaron. Además, como en esta formación hay bancos porosos, se les busca en la investigación del petróleo, se busca el indicio paleontológico, y con el hallazgo de fósiles se fija perfectamente la situación del sondeo y de los niveles en donde tenemos la esperanza de hallar el petróleo. Del mismo modo, como conocemos gracias a los estudios geológicos la columna estratigráfica del zócalo del Pirineo, en donde se encuentran estructuras interesantes en cualquier momento en que se hagan perforaciones en busca de esta sustancia, sabremos perfectamente la situación con relación al banco donde se hallaron los fósiles de los presuntos niveles petrolíferos.

Al comenzar el examen de las condiciones geológicas que necesitan reunir las cuencas petrolíferas, citaremos, en primer lugar, la teoría americana que considera como roca-madre del petróleo a las pizarras petrolíferas, y le damos esta importancia porque nos parece que la roca-madre del petróleo, en los Pirineos, en Andalucía, pueden ser las margas y pizarras del Trias, es decir, rocas de análoga porosidad. Estudios de Parker D. Trask han puesto de manifiesto que las pizarras, en general, tienen menos de 1 % de materia orgánica, y que las principales capas productoras de petróleo contienen del 2 al 6 %. La cantidad de petróleo procedente de estas pizarras se ha calculado

oscila del 1 al 15 % de la materia orgánica, y 5 % de dicha materia es convertida en petróleo, resultando una relación de 1 : 1.000 de petróleo contenido en la pizarra; es decir, una hectárea de un banco de pizarra de un metro de espesor pesaría unos 45 millones de kilogramos y, por tanto, contendrá en petróleo 195 barriles. Si se supone la materia orgánica que se encerró en los limos de esas masas de gran espesor que encierran ciertos tramos de pizarras, se comprende bien que puedan ser las rocas-madres del petróleo. Estos cálculos no tienen fundamento real científico; son una serie de suposiciones que parecen lógicas, pero que no se afirman en hechos reales y bien comprobados, y sabemos cómo la Naturaleza se permite jugar con los geólogos, presentando casos contradictorios y que parecen salirse de *nuestra* lógica.

Condición que nos parece precisa para formar una roca-madre es que los materiales que la constituyen fueran muy finos, que son los únicos que pueden tener propiedades de los cuerpos coloidales, y que pueden tener los productos resultantes de la descomposición de materias orgánicas. Nada como la arcilla, engendradora de margas y pizarras (a lo que llegan, en colaboración con la presión y el tiempo) puede satisfacer mejor las necesidades que acabamos de indicar para constituir una roca madre del petróleo.

Según Lilley, el clásico experimento de Mc Coy demuestra que el kerogeno que hubiere en las pizarras, mediante la acción del calor y de la presión, se puede convertir en aceite.

Además conviene recordar, para ver bien la posibilidad de que materiales triásicos, margas pizarreñas, puedan constituir roca-madre del petróleo, la relación de éste con la sal y con las soluciones salinas, que favorecen el proceso de bituminización. No debemos olvidar la existencia de abundantes elementos salinos en nuestro Triás.

Tampoco podemos negar, que pizarras negras que se presentan en España, en el Flysch cretáceo y en el Flysch terciario, pueden también constituir rocas-madres, como sucede en los Cárpatos.

La presión que ejercen las capas superiores sobre los depósitos finos que juzgamos, constituyen la roca-madre, complicados con otras presiones de orden tectónico, y con el calor pudieron originar que se eliminara el agua que había embebido el yacimiento, así como también pudieron expulsar una gran parte de los hidrocarburos líquidos y gaseosos que han buscado huecos en los estratos del terreno en donde depositarse, o que emigraron, si no existen capas-tapas que les cierren el paso.

Carácter también de roca-madre es la presencia del azufre en piritas y sulfatos. Suelen presentarse también en materiales triásicos.

Ejemplos de estas rocas pizarreñas son: las de Monterrey, en California; las de Maikop, en el Cáucaso; y las del Barremiense y las meliniticas oligocenas, de los Cárpatos; las pizarras llamadas Capas de Ohío, de la meseta de Los Apalaches, y las margas pizarreñas del Permiano, en Alemania.

En contraposición de lo que acabamos de indicar debemos consignar que existen pizarras, con sustancias orgánicas, que no originaron la formación de campos petrolíferos, ya sea porque no reunieron las condiciones necesarias para que se formase el petróleo o porque desapareció si se formó.

Aunque se cree que casi todos los yacimientos petrolíferos se han formado en materiales arcillosos, que luego se consolidaron y formaron rocas-madres, existen otras clases de rocas-madres, aunque sean escasas en el mundo. Podemos citar las pizarras silíceas de Monterrey, en el Mioceno de California; la caliza de Trenton, del campo petrolífero de Lima Indiana; la caliza de Ontario, del Devoniano medio del Canadá occidental; la roca caliza de Amari, del Mioceno de Persia, y, por último, ciertas formaciones carbonosas, en el Daciense rumano, y en otras antiguas y paleozoicas de Birmania, Indias Holandesas e Inglaterra, que indudablemente indican que se ha originado el petróleo en el seno mismo del carbón.

No se puede por menos, al tratar de hacer investigaciones, de destacar la importancia que tiene en la exploración del petróleo el estudio y análisis de las aguas saladas que le acompañan. En todos los yacimientos petrolíferos, el agua salada acompaña al hidrocarburo, del mismo modo que el cuarzo acompaña al oro en los filones de este metal. Ya sea que el agua marina en donde vivían los elementos orgánicos del petróleo, y que se conservaron allí como aguas fósiles, o sea, como cree Macovei, que el agua ha seguido el mismo proceso que el petróleo, y que procede de los organismos pelágicos, sobre todo de los procedentes del plancton, que contiene más de 90 % de agua, es el caso que el hallazgo de aguas de ciertas condiciones constituye indicios de la existencia de yacimientos petrolíferos.

En las aguas que se alumbran en los yacimientos petrolíferos los mineros distinguen bien, por sus diferentes propiedades y por el modo de presentarse los veneros, entre las aguas primarias («botton water»), que forman parte intrínseca del yacimiento petrolífero, y las

meteóricas, que han alcanzado por diversos conductos los estratos donde se depositó el petróleo.

En esta exposición esquemática de síntomas de indicios que ayuden a llevar a cabo la investigación del petróleo, haremos resaltar, respecto al estudio de las aguas de los yacimientos petrolíferos, como interesante, el que en todos los criaderos las aguas que acompañan al petróleo tienen siempre yodo en cantidades muy variables. En las Indias Holandesas, las aguas del yacimiento contienen de 100 a 135 gramos por metro cúbico. Generalmente contienen de término medio 0,02 a 0,07 por ciento del residuo. Macovei dice que los yacimientos rumanos, que suponemos de alguna analogía con los presuntos españoles, contienen de 50 a 60 gramos de yodo por tonelada de residuo. El yodo se conceptúa que procede de la sustancia orgánica. Varios autores hacen presente que existen algas, cuerpos animales de fauna bentónica, como espongiarios y corales, y, sobre todo, los cuerpos pequeños, simples, de la microfauna y microflora del placton, que contienen yodo en apreciables cantidades.

El bromo acompaña también a las aguas de los yacimientos de petróleo, haciendo ver el origen marino del mismo. También se presentan en estas aguas ácidos nefelínicos, como en Trinidad, que enturbian las aguas, cuya propiedad les sirve, en este país, no sólo para presumir la presencia del petróleo, sino también para aprovecharlo en la perforación del sondeo, para reconocer los diversos niveles en que se encuentra.

La salinidad de estas aguas es muy variable, así, en el mar, hay 35 por mil de residuos; en California las aguas contienen de 15 a 28 por mil; en Texas, Powell-Mexia, 36 por mil, y en la cuenca permiana 97 por mil; en Oklahoma 163 por mil. Se caracterizan porque las relaciones de la potasa con la sosa, y la de la magnesia con la cal, son más pequeñas que el agua del mar. En un campo de vías de exploración el análisis de las aguas puede ser muy útil.

Por último indiquemos, como datos interesantes, que las aguas del yacimiento no tienen sulfatos a no ser que estén en contacto directo con anhidritas o yeso.

La sal y el petróleo están ambos formados en el mismo período genético, y en la roca madre es natural que se depositen primero los elementos orgánicos, y sólo cuando la concentración de las aguas hace imposible la vida se comienza a depositar la sal común, pero como el petróleo emigra después, y las aguas saladas con él, no es indicio la aparición de la sal para que exista debajo petróleo, sino que

suele ocurrir todo lo contrario, atendiendo que el petróleo es más ligero que el agua salada.

El petróleo, a causa de su tensión, en lo que influye mucho la acción de elementos gaseosos, el peso de los sedimentos superiores, los empujes en las distintas fases orogénicas y el calor del subsuelo, emigra del sitio donde se formó, y se deposita en una capa permeable que tenga una cubierta impermeable que le impida salir a la superficie. Los hidrocarburos aprovechan los conductos que le proporciona la misma Naturaleza, unas veces circulando por los poros de rocas permeables, y otras por grietas y oquedades, formadas las más de las veces por empujes orogénicos. A veces la circulación es vertical, pero otras veces transversal, aprovechando oquedades, sean de la clase que sean.

En España, como en ninguna parte, han sido grandes los efectos de la tectónica que ha resquebrajado la corteza terrestre, y todas nuestras cordilleras, principalmente la Bética, tienen una constitución geológica muy complicada, constituidas algunas de ellas de mosaico de bloques, pedazos de las formaciones, colocadas sin orden ni concierto. Es por esta razón, por este resquebrajamiento, por lo que fueron siempre pesimistas las opiniones sobre la existencia de petróleo en nuestro país. Se consideraba que de haber existido petróleo, éste habría emigrado a través de las muchas roturas producidas por la tortura a que fué sometido nuestro subsuelo. Sin embargo, juzgamos que hay zonas en España, en verdad no muy grandes, en donde tal vez se encuentren estructuras estratigráficas sin señales de cicatrices, y otras, como los pliegues diapíricos, en que las fallas, las grietas, están cerradas, selladas. En Larache hemos podido observar cómo estas fallas estaban cerradas por depósitos margosos, hasta tal punto que en los sondeos se observaban gases a distancias pequeñas de la superficie; a 140 metros de profundidad tenían los gases más de 30 atmósferas de presión, y a 40 metros de hondura existían ya gases a presión. La naturaleza presenta pruebas inequívocas de que los hidrocarburos han pasado por los conductos abiertos (por las causas que sean) en el terreno, pues son frecuentes los depósitos, en los campos petrolíferos, de elementos procedentes de la transformación de los hidrocarburos: asfaltos, parafinas y ozokerita. Además, como ocurre en Rumania, es en la vecindad de las fracturas donde se efectúan las mayores acumulaciones de petróleo.

Este fenómeno de la emigración del petróleo hay que considerarlo

dando al factor tiempo un sentido dilatado, geológico. Hay que concebir que el proceso puede durar varios períodos geológicos, o sea contando por millones de años, y que puede ser activado o detenido por las conmociones tectónicas.

Al hablar del calor del suelo no queremos dejar de hacer constar las perturbaciones que se observan en el grado geotérmico por los niveles petrolíferos, y los que se observan en la ejecución de los sondeos. Generalmente, en las inmediaciones de los yacimientos, el grado es de 12 a 15, y sabemos que el corriente es de 30. Son estas observaciones las que conviene tener presente en nuestras exploraciones petrolíferas. En la base del Pirineo, zona que como veremos después la consideramos como interesante, el grado geotérmico, medido por nosotros en dos sondeos, fué normal.

Juzgamos en España difícil adivinar, por el estudio que hemos hecho de diversas estructuras, dónde puede existir la roca-almacén del petróleo. Desde luego lo deben ser las gravas, conglomerados, arenas sueltas y areniscas y calizas y dolomías con oquedades.

El volumen de los poros varía mucho de unas rocas a otras. En general, en las arenas es de 25 ó 20 %, en las areniscas de 5 a 20, en los conglomerados hasta el 30 %. En las calizas y dolomías es sumamente variable. Hay que considerar bien los dos conceptos distintos de porosidad y permeabilidad. En las arcillas puede tener por capilaridad hasta un 50 % de poros, pero sin embargo el petróleo se retendrá y no servirá para roca-almacén.

Cuando nos ocupemos más adelante de las estructuras petrolíferas, veremos que estos depósitos de hidrocarburos se presentan generalmente, sobre todo en América, en formaciones anticlinales, pero no todo el volumen de la roca permeable está ocupado por el petróleo. El agua y otras causas la desplazan a ciertas zonas. Según F. H. Lahee, la relación de las cuencas productivas con la total permeable, que llaman los americanos «Drainage Areas», es la siguiente:

	AREAS PERMEABLES — Millas cuadradas	AREAS PRODUCTIVAS — Millas cuadradas	PROPORCIÓN
La Homer	70	4,7	6,8
Van Texas	100	6,4	6,4
Big Lake Texas	180	5,4	0,3
Santa Fe Spring Calif. ...	30	2,2	4,4

Como hemos indicado, puede haber rocas muy porosas y no ser permeables. Esto es debido al agua llamada de adhesión o congénita, que en función de la capilaridad y tensión superficial se adhiere a la capa periférica del grano y resta petróleo aprovechable. En las arenas finas puede retenerse el petróleo un 50 % del existente entre poros, y en las arcillas esas propiedades las inutiliza como roca petrolífera. La viscosidad, la temperatura del terreno, las presiones, razones hidrostáticas y otros muchos factores, no sólo influyen en la cantidad de petróleo que puede tener una roca, sino también en la velocidad de la salida del flujo petrolífero. Se han hecho muchos estudios sobre todas estas propiedades y circunstancias de formación del petróleo, en las que no podemos entrar porque se sale fuera de nuestro tema.

Nos interesan, sin embargo, estas cuestiones, porque tenemos que examinar si se pueden hallar en España capas acumuladoras de petróleo, y se precisa saber qué propiedades físicas y de formación reúnen las que en el extranjero se explotan con gran éxito.

Las arenas constituyen la principal roca acumuladora de petróleo. Aunque en las arenas, si los granos fueran iguales y uniformes, los huecos serían los mismos, es indudable que retienen menos petróleo; son más permeables las que tienen los granos mayores, por las razones que antes hemos apuntado. Los graños de las arenas de los campos petrolíferos ricos de América tienen de 0,1 a 0,2 mm. de diámetro. Hay arenas en el rico campo de Texas Oriental que tienen hasta 0,25 milímetros. Oolites de una caliza de McClosky, Illinois, que contienen el petróleo lo mismo que los granos de una arena, tienen de 0,6 a 0,7 mm. Sin embargo, las arenas más gruesas, libres por completo de la acción capilar, suelen contener mucho más petróleo.

La permeabilidad varía mucho, por los factores que hemos indicado, entre 10 y 1.500 milidarcias (1).

Las arenas petrolíferas tienen las mismas leyes que las arenas acuíferas; las permeabilidades oscilan entre 10 y 1.500 milidarcias.

Las areniscas, como tienen un cemento que ocupa parte de los

(1) La darcia se define: «Cuando fluye la emulsión 1 mm. por 1" con una viscosidad de 1 centipoise a través de una cara de 1 cm.² normal de un cuerpo, presentada normalmente a la dirección del flujo impulsado a fluir bajo un gradiente de una atmósfera por centímetro. Darcy, en 1856, fué el autor de la ley de que en un estrato, dada la proporción del flujo, varía directamente con el gradiente hidráulico.

poros, la permeabilidad es menor, aunque es también roca acumuladora de petróleo, y en España creemos que si hay petróleo lo tendremos que hallar en esta clase de rocas.

La caliza, como almacén de petróleo, se ha reivindicado. Antes se consideraba que no había en ellas las acumulaciones de petróleo que existen en las arenas, pero hoy hay muchos casos petrolíferos importantes con calizas como depósito de petróleo.

Las grandes cuencas del Texas occidental y Nuevo México oriental se deben a las calizas Delaware, de edad permiana, llamadas Edward. Baluxi y Tamasopo; las calizas missisipienses (carboníferas) y ordovicienses de Oklahoma y Kansas, las calizas de *San Genevieve de Illinois* y las calizas Traverse y Demdee, de Michigán, son las que han hecho cambiar la opinión sobre las rocas calizas como fuentes del petróleo.

También existen campos de petróleo en que la roca con petróleo debe su permeabilidad a trastornos orogénicos y acciones erosivas. No podemos por menos de recordar que en la zona francesa de Saint Gaudens, del Pirineo francés, la roca acumuladora de los gases, que se explotan con gran éxito, es una brecha bien rota y resquebrajada, que atribuyen al Cenomanense, y que nos enseña mucho para nuestras exploraciones pirenaicas. La citada formación caliza de *San Genevieve de Illinois* es considerada por algunos geólogos como zona erosionada.

Para que el petróleo no alcance la atmósfera, y se pierda, hace falta que el yacimiento esté cubierto, que tenga una buena tapa impermeable que impida la salida de los hidrocarburos líquidos y gaseosos. En general, este papel lo juegan las margas arcillosas, lo mismo en los criaderos americanos que en los europeos. En España, en que se vislumbra escasez de capas-almacén del petróleo, se observan que existen muchas rocas que pueden llenar el papel de tapa. Las margas lutecienses, sobre areniscas de niveles eocenos inferiores; las margas senonenses, cubriendo a tramos areniscosos, las margas miocenas, son materiales bien impermeables. Claro es que estas rocas pueden ocasionar conductos a los hidrocarburos si el terreno ha sido cruzado por fallas y roturas. Hemos podido ver hidrocarburos dentro de margas muy impermeables, como en Terradets (Lérida). Sin embargo, el atravesar, por ejemplo, 1.700 metros de margas impermeables con el sondeo de Tremp, nos asegura que en muchas de las estructuras en donde en España se piensan hacer trabajos de investigación, parece asegurada la existencia de bancos impermeables de

cubierta. Por consiguiente, las margas, desde el Plioceno al Cretáceo, pueden formar la tapa de los yacimientos terciarios y cretáceos.

Las pizarras, sobre todo en las formaciones paleozoicas de petróleo, cubren muy bien su papel de capas protectoras, con areniscas y calizas no fisuradas.

El asfalto desprendido de los criaderos y hecho sólido en las fisuras por reacciones químicas, puede muy bien taponar grietas y fisuras, cuyo papel puede hacer en algunas estructuras españolas.

El espesor de esta capa impermeable es muy variable. Ya hemos indicado el caso de Larache, y en el pozo Drake, de Titusville, en California, extraían 25 barriles diarios a 21 metros de profundidad.

Debemos también indicar la conveniencia de que en las capas petrolíferas existe un muro y un techo impermeables, y que se repita esta circunstancia en los diferentes niveles petrolíferos, porque la unión de unas y otras capas, sobre todo en los trabajos de investigación, puede perjudicar al aprovechamiento industrial de la cuenca en estudio.

Por último queremos, al ocuparnos de las tapas de los yacimientos petrolíferos, presentar la anomalía que parece existe en las estructuras en que el petróleo se encuentra en relación con pliegues diapíricos. Por un lado, el petróleo aprovecha los conductos que proporcionan la rotura de los estratos contiguos a los materiales extrusivos, y hasta el contacto anormal de estos mismos materiales con las rocas sedimentarias que forman las ramas o flancos del pliegue y, por otro lado, los hidrocarburos se depositan en las capas permeables de las formaciones laterales al pliegue sin aprovechar las grietas, para perderse en la superficie. Para deshacer esta anomalía, se precisa volver a discernir bien sobre lo que el tiempo representa en geología, concepto afirmado con ejemplos, como el de hallar capas de carbón en climas subtropicales y aun en el propio Polo Sur, que representa un cambio completo en la estructura del Globo. Las conmociones que quebrantaron la tierra surtieron sus efectos sobre grandes períodos de tiempo. Por tanto, el proceso de génesis del petróleo, el de su acumulación, exige siglos y siglos y, además, en el período de formación y de su emigración, debieron sufrir interrupciones y reanudaciones cuyo origen hay que buscarlo siempre en la orogenia. No cabe duda que la tectónica del lugar es el más influyente elemento para la formación del petróleo.

Nos falta considerar las condiciones que reúnen las estructuras geológicas en las que se presentan acumulaciones de petróleo, para

poder sacar consecuencias para nuestras investigaciones. Bien conocida es la teoría del anticlinal, fundamento que se ha tenido en cuenta en todas las investigaciones realizadas en el mundo. Esta teoría, en el terreno científico se debe a Hunt (1), y, a Ortó, su verdadero aprovechamiento industrial.

Aunque los yacimientos importantes del mundo se presenten en la cúpula del anticlinal, o en un domo, o en sus flancos, no por esto se han dejado de descubrir yacimientos de importancia en otra clase de estructuras. De los yacimientos petrolíferos se hacen muchas clasificaciones, pero nos atrevemos a proponer la división en cuatro grupos importantes:

- 1.º Depósitos en pliegues de los estratos del terreno.
- 2.º Depósitos debidos a relación de los pliegues con fallas.
- 3.º Depósitos debidos a extrusiones o diapiros.
- 4.º Por diferencias de permeabilidad en el terreno, combinado o no con accidentes orogénicos.

En el primer grupo se incluyen las estructuras de los campos petrolíferos más importantes, como los de California, Kansas, Illinois, Oklahoma, Pensilvania y una parte de los de Texas. Los recién descubiertos yacimientos de Inglaterra también se presentan en anticlinal paleozoico.

En domos o cúpulas, se presentan los de Rusia, Persia, Mesopotamia y Sumatra. En sinclinal, como caso raro, los de Virginia.

En el segundo grupo, en el cual las fallas han proporcionado caminos al petróleo, son también criaderos de cierta importancia. A ellos corresponden una parte, tal vez la más importante, de Texas y algunas (pocas) de California, Oklahoma y Wyoming. Creemos también que será difícil en España encontrar cúpulas y anticlinales sin resquebrajaduras. Lo probable es que fallas y roturas compliquen la estructura de la formación petrolífera, si es que existe.

El grupo de yacimientos de petróleo en relación con diapiros, no tiene gran representación en América, como no sea en el golfo de México. Existen frecuentemente extrusiones salinas, a veces acompañadas de terrenos arrastrados y rocas eruptivas, aunque otras veces, en el violento accidente, sólo ha dejado pasar a éstas últimas.

(1) Sin embargo, el profesor Rogers, de la Universidad de Glasgow, fué quien primero relacionó la formación del petróleo con los anticlinales.

El petróleo se encuentra en relación con los diapiros salinos porque los hidrocarburos se han encontrado preparado el camino desde que se separaron de la roca-madre hasta los horizontes permeables de los terrenos que han sido rotos a causa del violento accidente. A ellos corresponden, además de los del golfo de México, los de West Columbia y Van de Texas y una parte importante de los yacimientos de Rumania, algunos de Persia y Rusia, los de los Pirineos y Marruecos, etc., y se observa, en general, en muchos europeos cuando se encuentra la capa petrolífera en el Cretáceo superior y Terciario. Para nosotros son los más interesantes porque los fenómenos diapíricos son muy frecuentes, lo mismo en el Pirineo y zona cantábrica que en las regiones béticas, y así como también en la zona atlántica de nuestro Protectorado en Marruecos.

El grupo donde el petróleo ha emigrado a zonas permeables contiguas y hallarse cerrado por rocas antiguas de diferente porosidad, se presenta algunas veces. Lo es el yacimiento de Lytton Springs (Texas), en los huecos de rocas eruptivas y metamórficas y otros varios.

En todos los terrenos geológicos se presenta el petróleo. En Venezuela, en pizarras antiquísimas del Uroniense y en el mar Muerto se observan desparramientos bituminosos actuales. Esto depende de que en todos los terrenos hay posibilidad de que existan capas permeables, ya porque por naturaleza así lo son, ya porque hay rocas en las que los movimientos orogénicos producen roturas y las convierten en porosas.

No tiene nada que ver dónde se presenta el petróleo con donde se crea; y, como dijimos anteriormente, en una detallada síntesis paleogeográfica de la comarca, ésta es la base para prever la situación probable de las rocas-madres y del modo de presentarse.

Del estudio que hemos hecho de la distribución de los criaderos petrolíferos, se puede sacar la consecuencia que la formación del petróleo debió seguir a las conmociones tectónicas, y así nos parece que existen posibilidades en España de formarse el petróleo en el período del Siluriano-Devoniano, Carbonífero-Permiano-Trías, base del Cretáceo, Cretáceo superior y en el Terciario, y hasta puede suceder que gracias a esos movimientos se facilitara su emigración.

Si se analiza la repartición del petróleo en el mundo se observa que, con excepciones, las cuencas petrolíferas que se presentan en los terrenos paleozoicos y triásicos están comprendidas en una faja más al Norte que las que se encuentran en la serie Cretáceo superior-

Terciario. Comprende la faja septentrional las insignificantes cuencas de las provincias centrales de Rusia, las de Hannóver y Brunswick, Bohemia, Sajonia, Turingia, de Alemania; la cuenca de Rossitz, la de Oslawan, a 15 Km. al SO. de Brünn; la recién descubierta cuenca de Eakring, en el condado de Nottingham, Inglaterra. Pasado el Atlántico tienen su continuación estos yacimientos en los americanos, tan importantes como los de Pensilvania, Kentucky, Ohio, Michigan, Illinois, Oklahoma, la cuenca Norte del estado de Texas y en los estados de Ontario, Nueva Holanda, Nueva Brunswick y Nueva Escocia, del Canadá.

La faja de yacimientos petrolíferos modernos se extiende desde el Japón hasta el golfo de México, siguiendo, por decirlo así, la gran cicatriz alpina. En esta faja están comprendidos los campos petrolíferos de Sumatra, Java, Borneo, las cuencas de Turgai, Tchukot, Tesghana, Transcarpia, de la Rusia asiática; las importantísimas tres regiones petrolíferas de Persia, Bajtiaris, Ahwas Pusht-e-Kug, que se extienden por Mesopotamia, y la de la isla de Quishm y región contigua del golfo Pérsico; los famosos criaderos rusos de la comarca del Cáucaso, Kubanl, Terek, Kutais y Bakú; los yacimientos de Baviera y los alsacianos. En América corresponden a este tipo de yacimientos modernos los de Florida, Louisiana, los más importantes de Texas, Nuevo México, California, los de México (incluidos los extensos del llamado Chapapote) y los de Venezuela.

En otros estados de América del Sur, como Colombia, Bolivia, etcétera, los yacimientos no están en relación con la zona débil alpina, sino con la orogenia de Los Andes.

Estas ideas que acabamos de verter sobre la relación de la distribución del petróleo en el mundo con las grandes conmociones a que éste ha estado sometido, no pueden tener más que un carácter de generalidad, pues hay excepciones y anomalías; así, en Utah (U. S.), existen yacimientos petrolíferos desde los horizontes paleozoicos hasta la formación terciaria Bridge, debido a que en estas comarcas los fenómenos de acumulación se han prolongado mucho más tiempo.

En las comarcas que acabamos de indicar no es que se encuentre exactamente el petróleo en los mismos horizontes, sino que se observa una analogía de distribución, probablemente porque su formación y acumulación ha sido debida a las mismas causas. En los mismos campos petrolíferos, como en Texas, comprendidos en los yacimientos de la faja Sur, se observa que hay dos clases de criaderos: una del Cretáceo-Oligoceno, y otra de rocas exclusivamente terciarias,

Lo mismo en Rumania, hay yacimientos del Cretáceo superior-Oligoceno y otros del Terciario Mioceno-Plioceno, que son los más importantes.

En España se adivina también la posibilidad de que existan varios niveles geológicos, que por reunir condiciones idénticas a las indicadas puedan tener petróleo. En los Pirineos, por ejemplo, uno en el Cretáceo superior-Eoceno, otro en el Cretáceo inferior, y un tercero en las calizas y dolomías que cubren al Trías.

En relación con esta distribución del petróleo ¿qué papel puede jugar España? Nuestro país sabido es que se encuentra dentro de la cicatriz alpina. Sin duda alguna, dentro de ésta se hallan también las cordilleras Bética y Pirenaica (júzguese como se quiera el papel de esta última en relación con la alpina, es indudable que se encuentra en íntima relación con ella). Así, en las dos comarcas en que los técnicos han considerado como más aptas, por razones tectónicas, para contener petróleo, depresión del Ebro y zona de Sevilla-Cádiz, si no se hallan en ellas hidrocarburos nos atrevemos a afirmar que estas comarcas no han cumplido con su obligación. Ahora bien, no cabe duda que la orogenia española fué muy violenta y quedó nuestro suelo patrio muy resquebrajado, y como las presiones fueron muy grandes y debieron influir grandemente, no sólo en la formación y separación del petróleo de la roca-madre sino que pudo realizarse su completa emigración. Puede también haber destruído el yacimiento en formación; este temor lo sentimos más en la región bética que en la pirenaica-cantábrica, por estar aquélla mucho más atormentada.

El estilo de yacimiento que se adivina en España y en el Norte marroquí, es el relacionado con los pliegues diapíricos semejantes a los de Rumania, Cáucaso y pérsicos, es decir, los que se separan algo de la estructura clásica anticlinal, aunque no hemos dejado de reconocer estructuras de esta última clase, que deseamos sean investigadas con sondeos.

Consecuencia de nuestra tectónica complicada es que los bloques, las dovelas en que ha quedado dividido nuestro subsuelo por fallas y roturas, no son de gran extensión; así que no se prevén en España esas extensas cuencas, como en Texas y California, sino tendremos que contentarnos con cuencas pequeñas, pero que pueden contener el petróleo suficiente para cubrir nuestras necesidades.

Dicen los americanos que para hallar petróleo es preciso ver en la superficie un poquitito de éste. Realmente, el hallazgo de las grandes cuencas petrolíferas ha sido debido a haber encaminado las

investigaciones hacia las comarcas donde existían exudaciones petrolíferas. Sin embargo, capas petrolíferas han sido descubiertas en comarcas donde no se presentaba indicio alguno de hidrocarburos. El descubrimiento, o fué casual o fué debido al resultado de estudios geológicos y geofísicos. Nada hacía presumir la existencia en las recientes cuencas descubiertas del Terciario de Austria y del Carbonífero de Earking (Inglaterra).

Conviene también señalar que no debemos considerar como indicio de petróleo la existencia de margas bituminosas, pues la formación de uno y otras se deben a causas muy distintas. Como hemos dicho en la génesis del petróleo, es preciso la desaparición del oxígeno por la fermentación anaerobia en presencia de agua salada y de restos marinos. En las rocas bituminosas, constituídas en su mayor parte por resinas, no parece que intervenga el reino animal, la fermentación no es totalmente anaerobia y contiene notables cantidades de oxígeno. También contienen mucho nitrógeno, lo que hace suponer que las pizarras bituminosas deben tener un origen vegetal.

Las pizarras bituminosas tienen cierta relación con el carbón; por lo menos es común el paso a pizarras carbonosas. Esto se observa perfectamente en las zonas lignitíferas de Torrelapaja (Zaragoza) y en diversas localidades de la provincia de Teruel. Por destilación dan productos análogos a los del carbón y por pirogenación un producto que se diferencia del petróleo por su gran cantidad de fenoles, o sea mucho oxígeno y menor proporción de hidrógeno. No es, por tanto, indicio de que exista petróleo el que se encuentren materiales bituminosos.

La repartición geográfica en España de los indicios naturales de petróleo está limitada a ciertas comarcas. Se puede considerar que son tres, comprendidas dentro de la gran cicatriz que hemos indicado antes, que cruza el mundo de oriente a poniente. Entre ellas presentan diferencias bien claras. Las tres comarcas son: la depresión pirenaica, la comarca cántabro-ibérica y la región bética.

Las manifestaciones de hidrocarburos no se presentan en el verdadero Pirineo, sino en el zócalo del mismo o en las sierras secundarias prepirenaicas, por ejemplo: en Cataluña, en la Sierra del Montsech y, en los Pequeños Pirineos, en Francia.

Dentro de las manifestaciones pirenaicas se pueden distinguir tres zonas, que a nuestro juicio pueden tener interés: una se extiende desde Figueras hasta San Juan de las Abadesas, en la provincia de Gerona, y se observan manifestaciones petrolíferas en toda la región del citado Figueras (Pont de Molins, Escaulas), en San Lorenzo de

Muga, donde se efectuó un pocillo de investigación, en San Pablo de Seguries, donde se hicieron seis galerías persiguiendo las capas impregnadas de petróleo, en el barranco de Cayot (Vallfogona), en donde se llevaron a cabo varias galerías y pocillos de reconocimiento, en muchos sitios de la región de Ogassa y San Juan de las Abadesas, descritos en una Memoria de los ingenieros Mir, Guach y Fonrodona.

En la cuenca del Llobregat, en Riutort, se conocen las manifestaciones más ostentosas de toda esta zona, que llamó mucho la atención de los investigadores. Se perforó una galería de 140 metros y manaba petróleo líquido a gotas. Desde esta galería se empezó un sondeo inclinado a 45°, de 80 metros de longitud y dió, con intermitencias, gas metano.

También existen desprendimientos de hidrocarburos en Bagá (Barcelona) y en Pobla de Lillet, donde se perforó un gran socavón. En la cuenca del Segre, en Pedrá, también se observan manifestaciones petrolíferas y se inició una explotación cerca de un pliegue diapírico. En un anticlinal roto al Sur, se presentan, en margas grises, manifestaciones de un aceite pesado con algo de parafina y asfalto, conteniendo las aguas que le acompañaban mucho hidrógeno sulfurado en disolución. Se hizo un socavón, dos galerías y dos pocillos, hoy llenos de agua, presentando en su superficie una película aceitosa. El Eoceno que presenta las manifestaciones petrolíferas continúa por Aragón, pero allí realmente apenas hay exudaciones.

Todas estas manifestaciones que acabamos de indicar y que tienen su mejor presentación en Riutort, se presentan en el Luteciense, en su parte inferior, en margas calizas con algunas alternancias de calizas. Las formaciones son casi siempre monoclinales, y en Riutort, para los efectos de acumulación de hidrocarburos, así es, pues aunque corresponde a un amplio sinclinal, cuya rama Sur está en Vileda, está interrumpida ésta por un gran pliegue, por una extrusión secundaria que limita al Sur la rama eocena de Riutort. Precisamente por estas circunstancias tectónicas y no ver clara la posibilidad de que exista una roca-almacén es por lo que, a pesar de su apariencia, no incita mucho esta zona a su investigación.

Las manifestaciones de petróleo en el Eoceno han motivado la realización de algunos sondeos, uno de ellos de 700 m. de profundidad, en la plana de Vich, que no salió de las margas eocenas y que no tuvo éxito. Recientemente, en el anticlinal de Oliana, en donde asoman a la superficie las margas lutecienses, rasgando los estratos oligocenos, la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S. A., con dirección técnica americana, ha comenzado otro

sondeo, que tenía en 30 de septiembre 1.200 m., y que no había salido de las margas lutecienses; es decir, que la cubierta preservadora tiene un espesor grande.

Solamente en Riutort se ha podido extraer petróleo, y nos parece que define el de toda esta región eocena. Corresponde al grupo de los nafteno-parafínicos, con una densidad a 15° de 0,941. Inflamabilidad a 1.430 grados. Se obtienen productos destilados hasta 340° C., con una densidad en los ligeros, a 15°, de 0,860 (1). Potencia calorífica, 10.935 calorías.

Al hablar de análisis no podemos por menos de hacer la indicación de que se trata de muestras superficiales, alteradas por los agentes atmosféricos. Debemos también manifestar que los hidrocarburos, para estar con sus características bien determinadas, necesitan estar en capas o bolsadas acompañadas de gases, señal, la más clara, del aislamiento completo del exterior. El agua infiltrada, poniéndose en contacto con el petróleo, llevando en disolución sulfatos, carbonatos y oxígeno, altera la composición de éste, formándose por reducción compuestos sulfurados, tales como mercaptanos y tiofenos, y por oxidación asfaltos. A su vez, la pérdida de hidrógeno en los hidrocarburos hace que éstos tiendan a polimerizarse en condiciones a propósito de presión, temperatura y catalizador. En definitiva, que el petróleo, desde que se desprende de la roca-madre hasta que termina su emigración, puede presentar toda la serie de los hidrocarburos, desde los más ligeros a los asfaltos. Hacemos también la observación de que por encima de un nivel petrolífero parafínico se suelen presentar otros nafténicos, pero no al revés.

Existen también manifestaciones hidrocarburadas en el Cretáceo, en las estribaciones secundarias del Pirineo. No creemos que existan estos indicios petrolíferos en la provincia de Gerona, pero sí se observan en las de Barcelona y Lérida. La corrida de las rocas impregnadas parece situada como al Sur de la faja eocena del pie del Pirineo. Se citan en la provincia de Barcelona en Figols, en Baldes y en Valldan en diversos parajes. En Terradets hemos podido recoger, en las obras del salto de agua que lleva este nombre, grandes pedazos de chapapote. En el sitio donde más indicaciones hemos hallado es en Boixols; en la cabeza de un barranco, junto al pueblo, hemos visto exudaciones líquidas de petróleo. Existe un gran anticlinal cre-

(1) La destilación principia a 225°; a 258° produce 10 % de aceites; a 276 grados 40 %; a 282° 50 %; a 289° 60 %; a 296° 70 %; a 305° 80 %; a 326° 90 %; y al final a 340°.

táceo que se prolonga como accidente secundario en el gran sinclinal que forma la cuenca de Tremp, y que hacia el Este presenta una gran falla en Coll Nargot, que pone, en horizontal, el Cretáceo superior en contacto con el inferior. Las manifestaciones aquí, como en todos los sitios de esta comarca petrolífera, se presentan en el Senonense. Las rocas cretáceas que presentan estas impregnaciones se prolongan formando dos fajas alargadas según dirección Este-Oeste, y entran en la provincia de Huesca. En relación con estos indicios, desde luego interesantes, se presentan manifestaciones en los pueblos de Sallent de Montanisell y Abella de la Conca.

En esta comarca petrolífera se han realizado tres sondeos: uno, pequeño, de 150 m., en Boixols, que se terminó, a poco de comenzar, por disentiimiento del explorador. Otro en Soterraña, al SE. de Tremp, de 1.700 m. de profundidad, que no salió del Senonense, en toda su longitud, demostrando el gran espesor de la tapa margosa impermeable. Se suspendió por deficiencias de la máquina. Otro sondeo, de 600 m., se perforó en Puigcercós, comenzado en el Eoceno por los rojos, y que fué suspendido al terminar la guerra por considerarlo mal situado.

En la región cántabro-ibérica, desde Santander y provincias vascas, hasta las provincias de Soria y Cuenca, y muy especialmente en la provincia de Burgos, se conocen manifestaciones petrolíferas en la superficie, que han provocado un interés mayor por la investigación petrolífera que las otras comarcas y un mayor número de galerías y sondeos.

En la región Santander, Burgos, Navarra, las investigaciones se encariñaron con las profusas manifestaciones de hidrocarburos, que se encuentran en relación principalmente con el Infracretáceo. Este terreno se extiende mucho por las provincias antes citadas, y por sus reversiones de facies y por otros aspectos parece que en él se reúnen circunstancias muy a propósito para la formación del petróleo. Está comprendido entre cordilleras tan importantes como la Cantábrica, la Demanda y Montes Ovarenes, y da lugar a la formación de anticlinales, que parece animan a su reconocimiento. Estos anticlinales son de carácter ibérico y, en general, tienen dirección NO.-SE., y han sido objeto de varias investigaciones.

En Santander, en el puerto del Escudo, son de antiguo bien conocidas las manifestaciones petrolíferas. Se intentó muchas veces su explotación y se halló en la superficie una capa de arenisca de unos dos metros de espesor, del Wealdense, al que se superpone el Apten-

se, y a su vez sobre éste se apoya el Cenomanense con orbitolinas. Se han realizado varias galerías, y por algunas fluía el petróleo hasta el exterior. Tal vez por la mala calidad de los hidrocarburos obtenidos, y puede ser porque eran pequeñas las cantidades obtenidas para una explotación económica, todos los intentos de trabajar estas minas fueron fracasos. Estas manifestaciones petrolíferas se extienden por los términos de Rescenario y Parbayón (Santander), Virtus, Cilleruelo, Soncillos y Basconcillos del Tozo, de la provincia de Burgos. En Basconcillos del Tozo hay un afloramiento de arenas petrolíferas con betún asfáltico en cantidad interesante.

En la provincia de Burgos se llevaron a cabo dos sondeos en el anticlinal Robredo-Ahedo; uno de 513 m. y otro de 1.009. En este segundo se cortaron capas impregnadas de hidrocarburos a los 710, 738 y 847 m. de profundidad. Otro sondeo en Leva, que llegó a los 612 m., no tuvo resultado positivo, a nuestro juicio, por hallarse en zona cuajada de fallas.

Es en el valle de Zamanzas, en donde las manifestaciones petrolíferas han sido más intensas, y en donde la entidad C. A. M. P. S. A. ha comenzado un importante plan de investigaciones. Del Valle y Hernández Sampelayo preconizaron esta comarca como muy digna de investigación, y el ingeniero Sr. Sanz prosigue estudios y reconocimientos con verdadero entusiasmo. Se hizo un pequeño pozo, donde se hallaron hidrocarburos, pero no pudo explotarse el petróleo en condiciones económicas. El primer sondeo que se hizo alcanzó 335 metros. Se comenzó en la caliza turonense y terminó en las areniscas albenses, sin resultado alguno. El segundo está ubicado en Villanueva de Rampalay, en una cúpula un poco diapírica de un gran anticlinal; todo él se perforó en el Wealdense, hasta 602 m. de hondura. Atravesó varias capas petrolíferas, siendo la única interesante la hallada a 372 m., que cortó gas, petróleo y agua salada. El sondeo número 3, muy cerca del anterior, alcanzó 820 m. de hondura; los 461 m. primeros en el Wealdense y, los restantes, en el Lías. Se hallaron niveles petrolíferos a los 430 y 452 m. en el Wealdense, y a los 660 y 783 m. en grietas del Lías; datos muy interesantes y que parecen demostrar, como tantas veces hemos preconizado, que es preciso alcanzar el Trías con las investigaciones. Se ha iniciado el cuarto sondeo también en el Wealdense, pero sólo tenía el 30 de septiembre 310 m. de profundidad.

Otra de las estructuras interesantes, dentro de las dovelas en que se encuentra dividida la comarca burgalesa y navarra, es la situada a dos kilómetros al SE. de Huidobro (Burgos), constituida por una

bóveda cenomanense, en cuyo centro afloran las capas wealdense. Los primeros indicios se observaron en una fuente, en 1873. En el siglo pasado, en la mina «Narcisa», se hicieron algunas labores para cortar unas areniscas impregnadas de cobre, y en el socavón se atravesaron tres capas petrolíferas, de cinco, de cuatro y de un metro de potencia. En ellas rezumaba el petróleo gota a gota, y animados los investigadores con el hallazgo, llegaron a montar una fábrica de destilación, pero pronto se suspendió la explotación por la poca cantidad de petróleo que se extraía. Se perforaron en esta zona, por la casa Hulster Hermanos, dos sondeos en el año 1900, uno pequeño, suspendido a los 40 m. de hondura por dificultades de explotación, y otro que llegó a los 501 m. sin atravesar el Aptense.

En el Condado de Treviño, en los lugares de Uzquiano y Ozane, se hicieron, por la Compañía Española de Petróleos, sendos sondeos, que alcanzaron profundidades de 600 y 200 m., respectivamente. Ubicados en el Oligoceno no tuvieron éxito. Posteriormente, el geólogo holandés Kruisher perforó un tercer sondeo en Cubillo del Rojo, que llegó a 800 m. de hondura y, aunque mejor situado geológicamente, alcanzó poca profundidad para tener éxito satisfactorio.

En Navarra existen estructuras anticlinales interesantes en la faja cretácea que, al Sur de Andía y Urbasa, se extiende desde Miranda de Ebro hasta cerca de Estella, en donde se presentan accidentes diapíricos de gran importancia. Las manifestaciones asfálticas de Maestu, Elorz (Navarra), Atauri, San Román y Bermeo (Alava), que aparecen en el Cretáceo y Eoceno, deben corresponder con las halladas en la indicada faja cretácea. Se hizo en esta zona el importante sondeo de Gastiain (Navarra), por la Compañía Petrolera Iberoamericana, cuyo control tenía Inter Ocean-Oil Company. Se hallaron muchos gases, los primeros a 107 m., hasta tal punto que los aprovecharon para producir la fuerza necesaria para mover la maquinaria. Tuvo una profundidad de 1.611 metros. El sondeo está ubicado en una cúpula perfecta turonense, probablemente rodeada por todos los flancos de margas y calizas senonenses. No salió del Cretáceo y fué muy lamentable que no se pudiera continuar por dificultades de perforación. Los gases contenían 98 % de metano.

También una Compañía inglesa, Oils fields of England, hizo un sondeo en el Oligoceno, en Aras, al Norte de Viana (Navarra), y lo suspendieron a los 610 m., convencidos de que la ubicación no había sido buena.

En Salvatierra, por el conde del Valle, con fin patriótico, se hicieron algunos trabajos de investigación por conocerse algunas manifes-

taciones petrolíferas. Se hicieron calicatas y pocillos con objeto de descubrir un anticlinal cretáceo recubierto por el terreno moderno, y se efectuó un sondeo, que llegó a 252 m. de profundidad. En un principio se cortó arcilla y luego caliza, la más baja oscura y con olor a petróleo. El sondeo se suspendió por incapacidad de la maquinaria. Hubiera sido interesante su prolongación.

No podemos por menos indicar, al dejar de ocuparnos de esta comarca, que existen muchas estructuras interesantes en las zonas que acabamos de considerar no estudiadas y otras fuera de ellas, como las del valle de Orduña, la región de Olazagutia-Alsasua, Amescóas, Tafalla, Ega Uredena (Navarra), Ondátegui (Alava), etcétera.

En la zona cantábrica, en la vertiente que da al mar y siempre buscando el Wealdense, se hicieron algunos trabajos de investigación que no tuvieron buen resultado. En la provincia de Santander, en Ajo, cerca de Santoña y en Liendo, se hicieron durante los años 1926-1928 dos sondeos. El primero llegó a la profundidad de 1.200 m. Se comenzó en calizas y después se atravesaron arcillas y arenas. En Liendo, sólo se perforaron 90 metros, pero al hallar los mismos terrenos que en el de Ajo se suspendió la perforación. En ninguno de los dos se notó indicio de petróleo.

En Zumaya se realizaron dos sondeos, que se comenzaron en el Flysch cretáceo con capas muy levantadas, que dieron algunos gases. La proximidad de una gran falla, al parecer no sellada, quita interés a este sondeo.

En Elorrio, por la Compañía Franco-Española de Petróleo, se hicieron dos sondeos colocados por el geólogo Hoffman, buscando la relación del petróleo con los diques ofíticos. Uno de los taladros alcanzó 750 metros de profundidad y encontró algo de petróleo. El otro, de 646 metros, se perforó en margas muy arcillosas, empinadas, sin obtener resultado positivo alguno. Lo mismo que a este último, ocurrió al de Fuenterrabía, realizado por la Sociedad Petrolífera del Jaizquível, de 612 metros de hondura, cerca del faro, y comenzado también en el Flysch eoceno. En Polanco, en la región salina de Cabezón de la Sal, la Sociedad Solvay, en busca de sal y de petróleo, hizo varios sondeos. Hizo un taladro de 700 metros, de donde se extrajeron algunos barriles de petróleo.

En toda la costa cantábrica, desde Santander al Bidasoa, se observan manifestaciones de hidrocarburos, pero lo constituyen, principalmente, impregnaciones bituminosas.

En la región de Soria, el Wealdense ocupa las sierras de la parte septentrional de la provincia, y el Albense-Aptense las vertientes de

aquéllas, y en ellas se observan manifestaciones asfálticas impregnando arkosas y areniscas. Los bancos aptenses-albenses, forman la rama N. de un sinclinal y está erosionado, dejando ver al Wealdense. En todo este Cretáceo inferior se ven manifestaciones petrolíferas. Al Sur se desarrollan los bancos cretáceos con pliegues de fase alpina, que están soterrados en el Terciario. Todo este Cretáceo, por sus manifestaciones petrolíferas y por su estructura, interesa siempre al buscador de petróleo.

Las manifestaciones principales son en Fuentetoba, en donde en 1850 se inició la explotación y en 1863 se llegó a alumbrar Soria con los productos de la destilación. En la trinchera del ferrocarril Santander-Mediterráneo, se presentan varias capas de arenisca bituminosa. El Estado hizo un sondeo que alcanzó la profundidad de 298 metros. Desde los 33 metros se empezaron a cortar capas de arena con asfalto. En la superficie tenían 7 % de aceites y en profundidad llegó a 17 %. En la mina «Maceda» se perforó un pozo al pie de Rico La Cruz y se explotó una capa de 1,20 a 1,80 de espesor. En Quintana Redonda fracasó un sondeo de 400 metros de hondura, iniciado en el Mioceno y que no llegó al Cretáceo.

Creemos que las manifestaciones petrolíferas de esta comarca soriana, pueden tener su prolongación en las halladas en Torrelapeja, en Sigüenza (Guadalajara), Molina de Aragón y, también, las de Cuenca, en análogos niveles estratigráficos.

Nos parece muy oportuna la observación de Sanz haciendo resaltar el hallazgo, en Medinaceli, de petróleo, en las dolomías del Muschelkalk, en un anticlinal triásico. Es el indicio de petróleo más antiguo de España, y si tenemos en cuenta que por su estructura no nos parece que ni el Wealdense ni los episodios detríticos de otros bancos cretáceos superiores puedan ser la roca-madre del petróleo, se confirman las suposiciones que hemos hecho varios geólogos de que el origen del petróleo hay que buscarlo en el Trías, o, tal vez, en niveles más bajos, aunque en España, hasta ahora, los terrenos paleozoicos no han dado la menor señal de que guarden tan preciado elemento.

En esta región cántabro-ibérica se puede obtener una gama de petróleos, aunque todos dentro de la familia nafteno-parafínicos. Todos se comportan del mismo modo en los procesos de destilación, lo que parece indicar un mismo origen. Se diferencian en la densidad, en la proporción de destilados e hidrocarburos polimerizados que contiene; diferencias que atribuimos a la duración e intensidad de la emigración y a la acción de los agentes exteriores.

El color es casi siempre negro, densidad a 15° C. de 0,940 a 0,980, viscosidad Engler a 50° desde 30,9 a 1.006; punto de inflamación de 150 a 184 C. Ninguno de estos petróleos brutos da gasolina en destilación industrial simple a presión normal. La primera fracción que se obtiene es keroseno, que constituye un aceite normal para lámparas; después se puede obtener gas-oil, que se puede usar en motores Diessel y en motores semi-rápidos.

En Andalucía hay que distinguir dos comarcas distintas, una que comprende la parte de las provincias de Sevilla y Cádiz, en donde se observan manifestaciones petrolíferas, y otra la comarca levantina.

La primera comprende desde las vertientes occidentales de la Serranía de Ronda hasta las márgenes del Guadalquivir y costa atlántica. El substratum de toda esta región lo constituye el Keuper. Sobre él se apoyan isleos jurásicos y eocenos. Sobre todos estos terrenos secundarios y eocenos se observan extensas manchas de los terrenos terciarios y actuales, desde el Oligoceno al Pleistoceno. Los terrenos secundarios sufrieron primero el movimiento paleokimérico, o sea anterior al Jurásico, al que siguieron los movimientos pirenaicos y estaíricos (éstos más importantes) y aun otros más modernos.

Gavala dice, conforme con nuestras ideas en otras regiones, que el Triás pudo ser madre del petróleo; pero las denudaciones grandes del período Secundario y las conmociones orogénicas debieron romper de tal modo los estratos del Triás, desbordándose éstos y, probablemente, perdiéndose los hidrocarburos que pudieron existir en esta extensa zona que reunía, al parecer, condiciones para la formación del petróleo. Sin embargo, entre todos los bloques que se han formado como consecuencia de todos estos fenómenos geológicos, pudieran tal vez existir zonas pequeñas en que se conservan estructuras favorables, porque la denudación fuese menos activa y porque las fallas estuvieran selladas.

Las facies de los terrenos, las manifestaciones hidrocarburadas, los volcanes de lodos, los asomos de sal, las fuentes sulfurosas, son indicaciones de que debió formarse petróleo en la comarca andaluza.

Ha sido preocupación constante la investigación de esta comarca petrolífera. Ya en 1860 se destilaron algunos materiales bituminosos de la Sierra del Pinar, pero en 1894 fué cuando se halló petróleo en los pozos y galerías de la mina de azufre de Conil (Cádiz). En Villamartín se hizo un pozo de 15 m., y se encontró a los 7 m. caliza con ozoquerita, descubierta ya en 1896 en un afloramiento. Posteriormente, en Vi-

llamartín, por la Sociedad Villamartín Petroleum Co., se proyectaron cinco sondeos, de los que se ejecutaron cuatro. En el primero se sacaron algunos litros de aceite, con 27 % de bencina. El número 4 alcanzó 106 m. de hondura y se desprendieron gases a los 58 m., y en el n.º 5, de 127 m. de profundidad, se obtuvieron de 25 a 150 litros diarios. En el n.º 2 no se halló indicación alguna de petróleo. En Bornos se hicieron por el Estado dos sondeos; uno suspendido a los 272 m. de hondura, sin salir del Flysch eoceno, y otro de 500 m., que cortó 366 m. de terciario y el resto de margas y yesos del Triás.

En Rubí, término de Utrera, la Société Belge de Forages et de Prospection de Mines, de Bruselas, perforó un sondeo que llegó a 600 metros, en areniscas, arcillas yesosas y salíferas del Triás, sin resultado alguno y sin cortar las areniscas de la base del Triás, que buscaban y que allí no deben existir.

En Lebrija se hallaron emanaciones gaseosas en un pozo de 8 metros, que contenían más del 80 % de metano. La Compañía Petrolífera de Pambanco realizó varios pequeños sondeos de 20 a 30 m., sin resultado económico.

Se observan indicaciones de hidrocarburos en los Llanos de Caúlina, al NE. de Jerez y al Norte de Arcos, en los cortijos Jara y La Jarilla, en el balneario de San Telmo, y emanaciones gaseosas en Rota.

Ninguna manifestación petrolífera produjo la algarabía de prensa que el descubrimiento de petróleo en Garrucha (Almería). No creo que en tiempos de los aureanos californianos se produjera la fiebre minera que en esta zona andaluza. El petróleo se halló en cuatro pocillos. Según el Instituto Geológico, en los dos situados al Sur era la calidad algo diferente que en los del Norte. En los primeros era más fluido, amarillo claro, transparente, de densidad 0,7679, destilaba entre 80 y 198°, y sobrenadaba en el agua salada. En los del Norte el petróleo era amarillo oscuro, que con el tiempo se transformaba en color de ámbar pardusco, más denso, de 0,84 a 0,90, y destila de 147 a 238 grados. El petróleo se presenta, al parecer, en capas del Mioceno, que se apoyan en un pliegue diapírico, es decir, tipo rumano. No creemos que ha sido suficientemente investigado.

En Málaga, en la Serranía de Ronda, se ven manifestaciones de hidrocarburos, que nada tienen que ver con las margas bituminosas jurásicas y liásicas que trató de explotar Copropiedad Petróleos de Ronda.

Los petróleos de Andalucía son completamente diferentes de los del Norte. Tienen base parafínica, son muy ligeros y de color amarillo pardusco. Contienen fuerte proporción de gasolina, dan excelen-

tes lubricantes y también proporcionan parafina sólida. Presentan pocas polimerizaciones y oxidaciones, lo que hace suponer que la roca-madre está cerca de donde se obtiene el petróleo. Son aptos para obtener keroseno y gas-oil.

En Alicante, en el mismo casco urbano, en varios pocillos de cinco metros de hondura, se desprendieron gases petrolíferos claros. La estratigrafía del lugar está constituida por terrenos secundarios y eocenos, a los que cubren depósitos del Mioceno marino. Según Almela se trata, probablemente, de un petróleo cretáceo, puesto en comunicación con huecos de las arcillas pleistocenas. Existen fallas que deben facilitar conductos para la aparición de estas manifestaciones petrolíferas.

Se han observado indicios de hidrocarburos en la playa, al Norte de Sierra Grosa, y tal vez tengan también relación con ellos los hallados en el sondeo de Torrevieja.

También con aspecto similar se deben citar las manifestaciones de aceites de Chinchilla (Albacete) y las de Porcuna (Jaén). En términos del primer pueblo se hizo un sondeo, que cortó primero al Mioceno continental, después al marino, y se hallaron en el tránsito de uno a otro indicios de petróleo, pero realmente no se ha llegado en esta zona a descubrir nada por ahora que tenga interés industrial.

En Porcuna se presentan unas calizas oscuras brechiformes impregnadas de hidrocarburos gaseosos. En el substratum debe hallarse el Keuper cubierto por terrenos secundarios y terciarios, con análoga disposición a la de Sevilla y Cádiz, que en líneas anteriores hemos examinado.

En todas estas comarcas andaluzas se recomienda, por diversos ingenieros, investigar determinadas estructuras anticlinales y domos de interés, pero la actividad de la orogenia y de la denudación con que ha sido castigada esta parte de España ha restado ánimos a los investigadores. Sin embargo, juzgamos que existe alguna posibilidad de que se haya podido conservar algún rinconcito resguardado que pueda contener petróleo. La Empresa Nacional Adaro ha acometido la perforación de un sondeo en Chiclana (Cádiz), buscando una de esas pequeñas cuencas, y con la concepción de que el petróleo procede del Triás o de nivel más abajo.

Nos resta sólo citar para completar el mapa petrolífero español algunos indicios hallados en Teruel, en Rubielos de Mora y en los partidos de Ballester y Los Prados, y los hallados cerca de Caspe, en las proximidades del Ebro.

En el afán de los investigadores de hallar petróleo en España, no podía por menos de entrar en el campo de las exploraciones las tierras marroquíes. Ha tiempo se cita el petróleo en Marruecos y en Zona francesa. En ésta, cerca de la frontera con la española, se hablaba ya en el siglo pasado de las emanaciones de hidrocarburos de Fokra. En la zona del Protectorado Francés de Marruecos se realizan, desde hace tiempo, labores de investigación de mucha importancia. Los trabajos principales se concentran en tres campos petrolíferos, llamados Yebel Tselfat, Zoco el Arbaa y Lalla Zorah. En el primero surgió el petróleo en un sondeo, al cortar las fisuras y huecos de calizas liásicas (Aaliense, Toarciense y Domeriense). Fué renombrado porque el petróleo surgente se incendió en 7 de marzo de 1934, con llamas de 100 m. de altura, que presentó grandes dificultades para apagarlo. La estructura corresponde a uno de esos apuntamientos perforantes secundarios que cortan a los terrenos más modernos. Los sondeos que siguieron al de Yebel Tselfat no tuvieron el mismo éxito.

En Zoco el Arbaa se ha tanteado mucho, buscando el petróleo en las estructuras de pliegues diapíricos, con fallas laterales que han hecho llegar a la superficie materiales triásicos laterales con yesos y sal y bloques de otros terrenos. En sitios, fallas estrechas están rellenas de sal. Han hecho muchos sondeos, en algunos hallando petróleo, pero no se puede decir que por ahora tengan interés industrial. La geología es complicada, y llega hasta existir una hoja de arrastre cretácea, de muchos kilómetros de extensión, emparedada en el Mioceno, en el techo Mioceno medio y en el muro Burdigaliense. Al Mioceno se le calcula 2.000 m. de espesor. Al petróleo se le busca en las rocas detríticas permeables del Mioceno y, algunas veces, del Oligoceno.

En Lalla Zorah la estructura se considera muy interesante. Se supone que debajo de los terrenos modernos de la planicie se pueden hallar varios bloques terciarios, y aun secundarios, atravesados por fallas y roturas, que pudo utilizar el petróleo como conductos para su ascensión. No debemos olvidar que en todo Marruecos se ha sentido una serie de conmociones desde el Cretáceo hasta el actual: aústricas, pirenaicas, alpinas y hasta waláquicas, que han producido, por compresión, anticlinales y sinclinales, y, por distensión, fallas, que tal vez sean las que pudieron proporcionar al petróleo conductos para su emergencia.

Entre los sondeos que realizan en el Protectorado Francés parece ser que, muy recientemente, en uno situado en Dar el Hamri, en la

cuenca de Uad Beth, han hallado petróleo, en la base del Mioceno medio, a 970 m. de hondura, y en las grietas de las dolomías liásicas y triásicas entre 1.050 y 1.100 m. de hondura. Parece hallaron el Paleozoico a 1.140 m. de hondura. Estos datos son de referencias que no tienen aún confirmación oficial. Sobre la importancia industrial del descubrimiento nada sabemos.

No cabe duda que los franceses buscan el petróleo en estructuras de largos anticlinales con expansiones diapíricas. Estos anticlinales, que tienen en general una orientación Este-Oeste, al llegar cerca de la frontera española cambian de dirección, y ya en nuestra región toman la dirección media N. 15° O. Hemos podido reconocer hasta cuatro pliegues de éstos, bien definidos, que son, de Este a Oeste, el del Zoco del Jemis de Sahel (cerca de Larache), que tal vez sea prolongación del de Ludinien; el de Sidi Mahalut; el de Dxar Yedid-Uaruz y el de Mexera-Amegadi. Geólogos franceses y españoles estudian estos pliegues, y los primeros tienen ya bastante investigadas algunas zonas, sobre todo en la región de Zoco el Arbaa, donde se han hecho varios sondeos. Los nuevos trabajos de Lalla Zorah se encuentran muy cerca de los que se proyectan en Ludinien, en la Zona española.

En el Marruecos Español, a cargo del Instituto Nacional de Industria y por la Empresa Nacional Adaro, se están realizando trabajos geofísicos de investigación, por los métodos gravimétrico y sísmico, y sondeos pequeños, con objeto de determinar la estructura y disposición de las capas terciarias y cretáceas en relación con el núcleo triásico de los citados pliegues diapíricos. Se han hecho trabajos geofísicos muy interesantes en los anticlinales de Zoco el Jemis, Dxar Yedid y Ludinien, y se han realizado siete sondeos. En el primero, de 212 metros de profundidad, se comenzó en el Mioceno, hay un nivel cretáceo y se cortó, a los 97 m. de profundidad, al Triásico. El segundo se empezó en el Plioceno, y se suspendió pronto en sal. Fueron muy interesantes los resultados del sondeo número 3, de 309 metros de profundidad; se perforó casi todo él en margas del Mioceno, tramo Helveciense, y en unos niveles muy estrechos, de dos a tres centímetros de espesor, se hallaron gases. El primer nivel de gases a la hondura de 108 m.; el segundo a 135 y el tercero a 183, con presiones respectivas de 15, 20 y 30 atmósferas. Arrastraban los gases gotas de petróleo.

Una profundidad de 296 m. alcanzó el sondeo número 4. Se sorprendieron gases, y a los 251 m. de hondura surgió agua artesiana salada. En los sondeos 5, 6 y 7, de 350, 356 y 251 m. de profundidad,

respectivamente, se desprendieron gases, sobre todo en el primero y último, pero con mucha menos presión que en el tercero. Se debe también esta falta de presión a que se utilizaron los lodos en la perforación y éstos sujetaban los gases, pues cuando se limpiaron los taladros el desprendimiento de gas aumentaba. El gas obtenido es metano. Parecen indicar los resultados de los sondeos que las fallas del pliegue diapírico están selladas, y si no han dejado pasar los gases con mucho mayor motivo no dejarán pasar a los hidrocarburos líquidos, si es que los hubiere.

Parece resultar de las investigaciones geofísicas y de sondeos, que las estructuras de la comarca atlántica reúnen una de las tres condiciones precisas para que exista petróleo, cual es la existencia de la cubierta que impida su emigración. Para averiguar si existen capas permeables donde se pueda acumular el petróleo, es preciso perforar sondeos más profundos. Es posible que en el terreno Terciario y en el Cretáceo existan dichos niveles. Pudieran también hallarse depósitos de hidrocarburos en las grietas y fisuras de los terrenos secundarios. Tal vez la roca-madre, dados los resultados de los reconocimientos de la Zona francesa, sea el Triás, pero hay pocos datos para juzgar sobre ello.

Los trabajos de exploración continúan, y las ilusiones se han acrecentado con el resultado de lo poquito que se ha hecho.

En la investigación del petróleo ocupan lugar preferente todos esos nuevos métodos que tratan de hacer la tierra transparente, o sean los métodos geofísicos. En los campos petrolíferos de todo el mundo se efectúan normalmente los reconocimientos por los procedimientos gravimétricos y sísmicos, empleando los mismos aparatos que usa en España el Instituto Geológico. Hoy día se comienzan a utilizar los procedimientos telúricos, que se emplean industrialmente en Francia y América desde 1941, aunque en 1938 se hicieron ya los primeros experimentos en Sumatra. Se debe también a Schlumberger la idea esencial del método de utilizar para la prospección las corrientes eléctricas que circulan en el suelo. Comparado con el procedimiento gravimétrico es de interpretación más fácil y más precisa. Las variaciones de las medidas no se cifran en miligales, sino en unidades. Es, sin embargo, más costoso, pues requiere una cantidad mayor de operadores y aparatos. En relación con el procedimiento de reflexión sísmica, el telúrico es menos preciso, pero es menos costoso y más expeditivo. En comparación con los eléctricos, dicen sus propugnadores que tiene muchas ventajas, porque con el nuevo método las medidas afectan

a un gran espesor sedimentario, mientras que la profundidad del reconocimiento con los aparatos eléctricos es siempre limitada.

Debemos siempre advertir que los procedimientos geofísicos no hacen más que introducir un poquito de luz, muy difusa, sobre el objeto que se quiere observar, pero en los que se precisa de la ayuda del raciocinio para interpretar las imágenes. El geólogo tiene que ir siempre del brazo del geofísico, y la mayor parte de las veces en que no tuvo éxito la investigación geofísica fué debido a que los resultados de la misma no fueron bien interpretados geológicamente.

Se estudia y trabaja en llegar a procedimientos de investigación apoyándose en las propiedades físicas y químicas del petróleo, y parece que las que pueden tener algún día éxito son las que se apoyan en la conductibilidad calorífica y en las propiedades eléctricas, sobre todo dieléctricas.

Se ha considerado como una gran promesa para la prospección petrolífera y de minerales, el desarrollo durante la guerra del «radar», con su concentración de energía electromagnética radiante en un haz estrecho; pero, desgraciadamente, las frecuencias extraordinariamente elevadas utilizadas impiden la penetración de la energía en la tierra, o lo hace sólo en un espesor insignificante en relación con la profundidad a que se encuentran los yacimientos petrolíferos aprovechables.

Potapenko quiso aprovechar el efecto de polarización retardada de la arena impregnada con petróleo. Otros investigadores quieren aplicar la difusibilidad de gases y petróleos, pero aun no se ha llegado a resultados prácticos.

Se trabaja hoy en descubrir procedimientos de investigación del petróleo en relación con la geoquímica, sobre todo basados en el análisis del terreno, ya sea en busca de vestigios de hidrocarburos absorbidos, ya sea en busca de productos de mineralización, y ya sea en busca de ciertas bacterias que prosperan en hidrocarburos específicos.

El método de análisis de los hidrocarburos en el terreno se generaliza bastante en los Estados Unidos, y lo he visto ensayar en Francia, extrayendo de una calicata o de un pequeño sondeo una muestra de medio decímetro cúbico, bien conservada en recipientes de vidrio hermético, y que se lleva al laboratorio para su microanálisis. Se elimina el gas contenido, y bien aislada se miden los hidrocarburos que pueda contener. Las operaciones son muy delicadas, por tratarse de la existencia de pequeñísimas cantidades. Parece que el hallarse en el microanálisis estas pequeñísimas cantidades de

hidrocarburos, indican la posibilidad de existir acumulaciones petrolíferas subyacentes en profundidad. Se utiliza también en estas medidas el espectrógrafo de masas y el espectrógrafo de rayos ultrarrojos.

No podemos por menos de citar también el curiosísimo procedimiento de investigación por el peróxido de sodio, del que se hacen pruebas y experimentos en los campos petrolíferos americanos sin que se pueda aún juzgar sobre su eficacia. Se toman unos cuantos gramos de la muestra del suelo, que son agitados en un tubo de ensayo con una solución de peróxido de sodio y se deja depositar. Al día siguiente presentará un color variable entre el del agua clara y una tonalidad oscura. El oscurecimiento del líquido se atribuye principalmente a los subproductos de las bacterias del suelo que consumen los hidrocarburos presentes. Cuanta mayor concentración de bacterias (indicio de la presencia en el suelo de hidrocarburos procedentes de acumulación de gases y petróleos subyacentes, que habrán alcanzado por difusión los terrenos superiores), se produce mayor oscurecimiento en el color de la solución de peróxido de sodio utilizada en el ensayo.

También se efectúan pruebas haciendo un cultivo de bacterias con las muestras del terreno, bajo la temperatura adecuada para el desarrollo de una especie característica, *Bacillus methanicus*, *Bacillus ethanicus*, etc., y si se observan estas especies parece que indican la posibilidad de hallar petróleo en el subsuelo.

Muchos más métodos se estudian y se ensayan para investigar el petróleo por medios geoquímicos, pero ni el procedimiento de analizar el aire obteniéndolo por succión en un orificio de un sondeo o en un área cogida de la superficie, ni el fundado en la medida de la radioactividad superficial, basado en la elevada solubilidad del gas radón o emanación de radio en petróleo, no han dado hasta el presente buen resultado.

Por último, debemos considerar que los reconocimientos geofísicos ayudan a la investigación, pero ésta hay que realizarla en definitiva por sondeos y aplicando toda la complicada técnica moderna.

Por consiguiente, en varios rincones de España, sobre todo dentro de las tres comarcas que hemos señalado como convenientes para efectuar investigaciones petrolíferas, se han estudiado, por el Instituto Geológico y por entidades estatales y particulares, estructuras (que no es ocasión ahora de citar con detalle), donde existe la posibilidad de contener petróleo.

Como hemos indicado antes, no suponemos que se van a hallar

esos extensos y ricos campos petrolíferos, con cuya posesión han fundado su grandeza las grandes potencias, pero sí que en el solar patrio, hecho pedazos, exista en algunos de éstos algunas cuencas de petróleo, que sean lo suficientemente ricas para que podamos los españoles conseguir una independencia económica que hoy sin petróleo no podemos tener.

Más allá, si la energía atómica no toma carácter industrial, para los países no favorecidos en el reparto de petróleo en el mundo, existe el recurso de fabricar petróleo sintético, y todas las naciones se preocupan de esta fabricación. En España se hacen esfuerzos en estos sentidos, pero es indudable que por ahora la competencia con el natural no se puede sostener.

El mundo se ha seccionado en dos hemisferios políticos que no coinciden exactamente con los geográficos. Se ve cómo los de Oriente buscan, ya por medios claros, ya por medios solapados, el predominio en todos esos estados eurasiáticos que rodean Cárpatos y Cáucaso y, sobre todo, ansían el mayor tesoro petrolífero del mundo: el del Golfo Pérsico. Así, el hemisferio bárbaro procura disponer de criaderos del elemento bélico más útil, ya que el hemisferio cristiano tiene los ricos yacimientos americanos.

Los dos bandos se miran, se hurgan, pero se temen y creemos que España, entretanto y sin algarabía, debe buscar una situación en la cuestión petróleo, y parece que esta situación podría alcanzarse si se alumbrase el petróleo en esas cuencas pequeñas, que según los creyentes, los místicos de la Geología, están dispuestas en la Naturaleza para consolidar nuestra independencia. Es preciso acrecentar, aumentar el cuerpo económico español, porque está éste tan reducido, tan estrecho, que en él no cabe nuestra gran alma nacional.

Resumen: investigar en nuestros laboratorios, investigar en nuestros campos, siempre investigar..... y que Dios nos ayude.