

BOLETÍN
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

BOLETÍN
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO
DE
ESPAÑA

TOMO XXXVII

TOMO XVII
SEGUNDA SERIE
(1916)



MADRID
IMPRESA Y LITOGRAFÍA DE J. PALACIOS
Arenal, 27 y Lista, 12
Teléfono 188
1916

El Instituto Geológico de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus MEMORIAS y BOLETÍN son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

Artículo 1.º La Comisión del Mapa Geológico, nombrada por el decreto de 26 de Marzo de 1873, que en lo sucesivo se denominará Instituto Geológico de España, seguirá encargada de la formación del Mapa Geológico de España, así como el trazado de las cartas geológico-industriales de las diversas provincias ó regiones, por el orden y con los detalles que su respectiva importancia requieran, hasta reunir el caudal de estudios sobre estatigrafía, petrografía, tectónica, aguas minerales, manantiales artesianos, rocas y minerales aplicables á la agricultura y á la industria y cuanto se especifica en el citado decreto, indispensable al conocimiento físico geológico y minero del territorio nacional.

Artículo 12. Para el desempeño de todas las funciones y servicios reaseñados en los artículos anteriores habrá una Comisión permanente de Ingenieros del Cuerpo Nacional de Minas.

Estos Ingenieros y los Auxiliares facultativos que sirven á sus órdenes formarán la plantilla técnica del Instituto.

Fuera de la plantilla estarán los Ingenieros agregados y demás personal facultativo que preste servicios temporales al Instituto.

Artículo 25. La Dirección del Instituto, teniendo en cuenta los recursos disponibles y los trabajos ultimados por los Ingenieros á sus órdenes, podrá publicar las Memorias, Mapas, descripciones y noticias geológicas que juzgue oportuno, en análoga forma á la de los Boletines y Memorias de las Instituciones similares extranjeras, y podrá establecer la venta y suscripción de estas producciones, á fin de que los recursos que así se obtengan contribuyan á sufragar los gastos de publicación, si bien con la obligación de remitir gratuitamente un ejemplar de cada obra á las Jefaturas de los Distritos mineros, á las Direcciones generales de los Ministerios de Fomento y Hacienda, á las Academias de Ciencias y á los Centros oficiales del Cuerpo de Minas.

(Decreto de 28 de Junio de 1910.)

PERSONAL
DE LA
COMISIÓN PERMANENTE DEL INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

Ilmo. Sr. D. Rafael Sánchez Lozano (*Director*).
Sr. D. César Rubio y Muñoz (*Subdirector*).
Sr. D. Ramón de Aguirre y Zorrilla.
Sr. D. José M.^a Rubio y Muñoz.
Sr. D. Domingo de Orueta.
Excmo. Sr. D. Enrique Villate.
Sr. D. Vicente Kindelán.
Sr. D. Luis Santa María.
Sr. D. Alfonso Fernández y Menéndez Valdés.
Sr. D. Manuel Ruiz Falcó.
Sr. D. Agustín Marin y Bertrán de Lis.
Sr. D. Primitivo Hernández Sampelayo.
Sr. D. José de Gorostizaga.
Sr. D. Enrique Dupuy de Lome.

INGENIEROS AGREGADOS

Sr. D. Pedro Novo Chicarro.
Sr. D. Juan Gavala Laborde.
Sr. D. Pablo Fernández Iruegas.
Sr. D. Javier Miláns del Bosch.

INGENIERO BIBLIÓGRAFO Y CARTÓGRAFO

Sr. D. Carlos Fernández Maquieira y Borbón.

PROFESORES DE LA ESCUELA DE MINAS AGREGADOS AL INSTITUTO

Sr. D. Enrique Bayo.
Sr. D. Florentino Azpeitia.
Sr. D. Pablo Fábrega.
Sr. D. Enrique de Pineda.

BOLETÍN
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

PRÓLOGO

El presente tomo del Boletín es el primero que se publica después de un acontecimiento por demás sensible y doloroso para este Instituto Geológico, cual fué el fallecimiento de su Director, el Ilmo. Sr. D. Luis de Adaro y Magro, acaecido en 21 de Octubre del pasado año de 1915. Parecía natural que en homenaje á la memoria de este esclarecido Ingeniero que durante más de seis años venía rigiendo el Instituto Geológico de España, se abriera este volumen con una noticia biográfica del Sr. Adaro, en que figurara la relación de los estudios geológicos por él realizados, mas la circunstancia de hallarse en prensa y próximo á repartirse el último de sus trabajos, *Descripción de los criaderos de hierro de Asturias*, nos ha inducido á retrasar por un poco de tiempo la publicación de aquellas noticias, haciendo que figuren en el encabezamiento de su obra póstuma como lugar el más indicado para ello.

El Sr. Adaro, como los demás Directores que rigieron este Instituto que, según es sabido, se denominaba antes

Comisión del Mapa Geológico, siguió en lo referente á las publicaciones la labor iniciada hace más de cuarenta años por el Excmo. Sr. D. Manuel Fernández de Castro, de imperecedera memoria entre los amigos del sólido saber y de la propagación de las ciencias naturales, procurando, conforme lo exige la organización de los estudios geológicos en nuestro país, y en armonía con lo consignado en el prólogo del tomo XXVIII del Boletín, que «los diferentes trabajos que salieran á luz tuvieran carácter industrial al mismo tiempo que científico, pues no se trata de abstracciones completamente especulativas y con sólo valor para los sabios, sino que, haciendo los trabajos por cuenta del Estado, se buscan resultados de inmediato empleo para el adelanto de la industria general de la nación, especialmente de la minería, la agricultura y las obras públicas».

Con el mismo criterio nos proponemos continuar la labor emprendida por los ilustrados Directores que nos precedieron, y así el presente libro, volumen XXXVII del Boletín y XVII de la segunda serie, que empezó á prepararse ya en vida del Sr. Adaro, comienza por una reseña del *Sondeo de Caldones en Asturias*, primero de los ejecutados por el Instituto Geológico con material adquirido por el Estado con destino al reconocimiento de criaderos minerales; es dicha reseña un interesante estudio debido al Ingeniero D. Manuel Ruiz Falcó, muy conocedor de la comarca asturiana.

Sigue á este trabajo otro del Ingeniero agregado á este Instituto D. Juan Gavala en que, con el detenimiento que requiere la importancia del asunto, se describen las *Regiones petrolíferas de Andalucía*, se da noticia de tallada de las manifestaciones de petróleo y gases hidrocarbura-

dos que allí se encuentran y se hace un detenido estudio geológico de la comarca. Trata además del origen probable de los hidrocarburos gaditanos, y después de consignar los resultados obtenidos en diferentes sondeos en busca de petróleo, se describen gran número de cortes geológicos que figuran en lámina aparte, y, finalmente, como conclusión de la obra, se discute cuáles deben ser los parajes más indicados en la región para continuar las investigaciones de yacimientos petrolíferos. Acompaña al estudio del Sr. Gavala dos detallados Mapas geológicos en láminas aparte, y además curiosas vistas fotográficas, y, en toda la obra, se echa de ver que el autor trata la materia como quien ya de antemano se hallaba impuesto en ella, pues el Sr. Gavala, al salir de la Escuela de Minas, hizo un viaje al extranjero en compañía de su discípulo D. Adriano García Loygorri, con el exclusivo objeto de estudiar los yacimientos de petróleo de Rumania.

Después de terminado el trabajo del Sr. Gavala, llegó á nuestras manos un interesante estudio de Mr. Paul Choffat (1), relativo á *Investigaciones de petróleo en la Extremadura portuguesa*, del que estimamos conveniente dar un extracto en el Boletín por resultar analogías manifiestas entre los yacimientos petrolíferos andaluces y los portugueses.

También se refiere al petróleo de España otro trabajo que sigue al anterior con la denominación de *Yacimientos de petróleo en Huidobro*, en la provincia de Burgos, de que es autor igualmente el Ingeniero D. Juan Gavala.

Sigue á continuación una interesante Nota relativa á la descripción de *Un afloramiento de basalto en el terreno*

(1) «Revista de Obras publicas e Minas». T. XLIV, Lisboa 1914.

cretáceo de Navarra, debido al Ilmo. Sr. D. Pedro Palacios, quien con su excepcional competencia da noticia de este curioso hallazgo por él realizado, y termina el tomo con la descripción de *Algunos yacimientos prehistóricos de las provincias de Lugo y Madrid*, por D. Primitivo Hernández Sampelayo, que seguramente habrá de interesar á los que se dedican á esta rama de la ciencia.

Nuestros lectores juzgarán de la importancia de los estudios contenidos en este tomo del Boletín, el cual, como de costumbre, lleva los grabados, láminas y mapas necesarios para la explicación de los trabajos insertos.

Madrid, Junio 1916.

EL SONDEO DE CALDONES

EN

ASTURIAS

cretáceo de Navarra, debido al Ilmo. Sr. D. Pedro Palacios, quien con su excepcional competencia da noticia de este curioso hallazgo por él realizado, y termina el tomo con la descripción de *Algunos yacimientos prehistóricos de las provincias de Lugo y Madrid*, por D. Primitivo Hernández Sampelayo, que seguramente habrá de interesar á los que se dedican á esta rama de la ciencia.

Nuestros lectores juzgarán de la importancia de los estudios contenidos en este tomo del Boletín, el cual, como de costumbre, lleva los grabados, láminas y mapas necesarios para la explicación de los trabajos insertos.

Madrid, Junio 1916.

EL SONDEO DE CALDONES

EN

ASTURIAS

EL SONDEO DE CALDONES

EN

ASTURIAS

I

Emplazamiento y ejecución.

El primero de los sondeos ejecutados por el Instituto Geológico, con material adquirido por el Estado con destino al reconocimiento de criaderos minerales, está situado cerca de la aldea de Caldones, en el kilómetro 11 de la carretera de Gijón á Pola de Siero, en un terreno lindante con dicha carretera y con el arroyo de Caldones.

Esta situación se halla de acuerdo con lo propuesto en el informe del Sr. Adaro sobre «Emplazamiento de sondeos para investigar la probable prolongación de los senos hulleros por bajo de los terrenos mesozóicos», publicado en el tomo XXXIV de este Boletín, y reúne las ventajas de fácil acceso y de disponer del agua necesaria para el trabajo de la perforación.

Además de las condiciones anteriores á las que había de satisfacer muy preferentemente, reunía el terreno elegido la circunstancia, de hallarse 95 metros más bajo que unos bancos de yeso, que separan las margas triásicas y las calizas del Lias en la vertiente N. de Pico Sol; con lo que era de esperar que el sondeo pudiera llegar al carbonífero, cortando el menor espesor posible de terreno triásico.

El punto elegido está dentro de la concesión minera «Audacia 3.^a», perteneciente á los señores Felgueroso Hermanos, los

cuales, de acuerdo con la oferta que hicieron á la Dirección general para el caso de que el sondeo se instalara en sus concesiones, han facilitado el terreno y agua necesarios para la perforación, y contribuído á los gastos con la cantidad de 65 pesetas por metro.

La Sociedad «Sondeos de Villaviciosa» ha contribuído también con la cantidad de 20 pesetas por metro, en atención á lo interesantes que para ella pudieran resultar los datos de este sondeo por su proximidad á las concesiones que posee lindantes con la «Audacia 3.^a».

Material empleado.—El tren de sonda empleado es de la casa Hulster Frères, de París, á la cual fué adjudicado el suministro, así como la ejecución por contrata de los 800 primeros metros, en el concurso anunciado en Marzo de 1913. Está dispuesto para trabajar, bien sea por percusión ó por rotación, pudiendo alcanzar con este último sistema la profundidad de 800 metros.

Esta disposición mixta, ofrece la ventaja de que permite el empleo de uno ú otro sistema, según la clase de rocas que se han de atravesar, pudiéndose hacer por el empleo de la rotación, avances rápidos en las rocas duras y compactas, cuya perforación por percusión se hace sumamente lenta y trabajosa; pero en el caso particular que nos ocupa ofrece interés aún mayor, ya que siendo el objeto del sondeo el reconocimiento del carbonífero, convenía al llegar á este terreno, trabajar por rotación con los mayores diámetros que fuera posible, á fin de obtener testigos que permitieran por su tamaño darse cuenta exacta de las rocas atravesadas, al propio tiempo que ofrecen más probabilidades de contener restos fósiles, tan interesantes en esta clase de reconocimientos.

En la primera parte del trabajo, había que atravesar, antes de llegar al carbonífero, el terreno triásico en que los grandes espesores de margas podrían ocasionar dificultades para conservar los diámetros, de suerte que el empleo de la percusión en el comienzo del sondeo resolvía el problema, puesto que permitiendo el empleo de diámetros mucho mayores que la rotación, daba margen para llegar al carbonífero con diámetro conveniente.

La percusión está dispuesta para trabajar sin inyección de

agua, y con trépano de un solo filo y dos pequeños laterales; caída libre y varillaje rígido. El movimiento del varillaje, y por tanto el del trépano, se obtiene por medio de un balancín de madera movido por un cilindro de vapor. La maniobra de la sonda y de las cucharas para la limpieza del agujero se hace por medio de un torno de vapor que puede mover independientemente dos tambores, uno con cable de abacá para la sonda y otro con cable de acero para las cucharas. Se dispone de trépanos para seis diámetros, que varían de 400 á 190 milímetros.

La rotación es del sistema Davis-Calix y está dispuesta para trabajar con corona dentada en los terrenos blandos ó con corona lisa sobre granalla de acero en los terrenos duros. La herramienta consta: de la corona, tubo de testigos y tubo de sedimento; disponiéndose de 5 diámetros que varían de 186 á 86 milímetros. El varillaje es de tubo de acero dispuesto en trozos de cinco metros de longitud que se unen unos á otros por medio de manguitos con rosca, quedando después de unidos los diferentes trozos la superficie lisa y sin resaltos en su interior, condición precisa para que la granalla no se adhiera á las paredes y produzca obstrucciones. Para la rotación hay una máquina de vapor, que transmite por correa el movimiento al aparato de rotación, mediante el cual puede girar el varillaje con velocidad variable, según que se emplee la corona dentada ó la granalla de acero. Se obtiene la circulación de agua por medio de una bomba de vapor que la inyecta por la tubería formada por el varillaje, haciéndose el retorno por el espacio comprendido entre dicho varillaje y las paredes del sondeo. El agua sirve de vehículo á la granalla conduciéndola al fondo del taladro, y arrastra á la superficie las partes más finas de los detritus producidos por la corona, quedando las más gruesas en el tubo de sedimentos.

La instalación consta: de un castillete de madera de 10 metros de altura, un barracón destinado á fragua, otro á taller de reparaciones, otro á almacén, y por último, de una caseta para oficina. En el interior del castillete está instalada toda la maquinaria necesaria para el movimiento y maniobras de la sonda, que en el caso de trabajar por rotación, se compone: de la caldera de vapor y aparato de rotación, bomba de inyección de agua, y

torno de vapor para las maniobras. Para trabajar por percusión, basta retirar el aparato de rotación, colocando en su lugar el balancín y cilindro de vapor, necesarios para el movimiento del trépano.

El taller de reparaciones está provisto de un torno horizontal máquina de cepillar, máquina de taladrar, sierra mecánica, muela de esmeril y un ventilador para la fragua; todo ello movido por un motor de gasolina. También está instalada en el mismo una pequeña dinamo con su motor y una batería de acumuladores para el alumbrado.

Además del material necesario para la perforación, propiamente dicha, dispone la instalación del de salvamento, consistente en varillaje hueco con uniones entre los diferentes trozos, dispuestos de manera que se pueda trabajar con él á derecha ó izquierda sin que se destornillen dichos trozos; cucharas de émbolos, campanas fileteadas, tenazas, caracolas, etcétera.

Ejecución del sondeo.—Al mismo tiempo que se levantaban los barracones y se montaba la maquinaria se abrió en el sitio del taladro un pozo de 6,25 metros de profundidad y en él se colocó, perfectamente vertical, un tubo roblonado de 400 milímetros de diámetro interior, destinado á servir de guía á la sonda durante los primeros metros de avance.

Se empezó la perforación el día 22 de Abril de 1914, empleándose el trépano de 400 milímetros y trabajando sólomente de día hasta el 27, con objeto de acostumar á los obreros á la manobra, bajo la vigilancia del maestro sondeador; á partir de dicho día 27 se establecieron ya los dos relevos de día y noche.

Hasta los 40 metros el avance se hizo con regularidad; pero á partir de esta profundidad, empezaron á producirse desprendimientos que dificultaron el trabajo por la cantidad de escombros que caían al fondo del agujero, al mismo tiempo que éste se estrechaba por el aumento de volumen que experimentaban las margas arcillosas en contacto con el agua. Esto obligó al empleo de una sonda con orejas, para alisar las paredes y conservar el diámetro. Continuó el avance, aunque con alguna irregularidad por causa de los desprendimientos, hasta el día 7 de Mayo en que se produjeron en tal cantidad, que se hizo peligro-

so el trabajo y se procedió al entubado, colocándose la columna de 350 milímetros de diámetro interior, quedando su pie á los 80,35 metros y su cabeza al nivel del suelo.

El día 8 se reanudó el avance con el trépano de 345 milímetros, mas produciéndose inmediatamente los desprendimientos, se suspendió al día siguiente el trabajo; se procedió á suplementar la columna de tubos con objeto de hacerla descender; pero no se consiguió avanzar más que 3,20 metros por la resistencia debida al frotamiento de la tubería contra las paredes del agujero y después de varios intentos hubo que renunciar á hacerla descender más, quedando su pie á 83,55 metros. Del 18 al 24 de Mayo se hace el trabajo con gran dificultad por causa de los desprendimientos, que llegan en una ocasión á acuñar la cuchara en el fondo; se consigue, no obstante, extraerla y continuar el avance, pero en vista de lo difícil que éste se hace se decide colocar la tubería del diámetro siguiente ó sea de 300 milímetros, habiéndose alcanzado con el trépano de 345 la profundidad de 102 metros.

El día 25 se descende la columna de tubos de 300 milímetros de diámetro y longitud de 48 metros, quedando apoyada sobre los desprendimientos á 6,50 metros del fondo, y se comenzó el trabajo con el trépano de 295 milímetros. Hasta el 8 de Junio se sigue perforando con este diámetro, aunque teniendo que suspender el avance varias veces por causa de los desprendimientos que le entorpecen en grado sumo, llegando en ocasiones hasta acuñar la sonda, y también por las maniobras para hacer descender la tubería, á la que se consigue hacer llegar hasta la profundidad de 103,22 metros, quedando entonces tan fuertemente sujeta por el terreno que se hizo imposible volverla á mover. En vista de esto, el día 9 se preparó la columna de tubos de 260 milímetros y se descende, quedando su pie descansando sobre desprendimientos á los 120,60 metros, ó sea 5,60 metros más alto que el fondo del sondeo.

Por no haber llegado al sitio del sondeo los trépanos del diámetro siguiente se suspendió el trabajo de avance hasta el día 16, en que se reanudó con el trépano de 255 milímetros y se hizo descender la columna de tubos hasta el fondo. Se continúa con

el referido diámetro y con las mismas dificultades que anteriormente, hasta el día 22 en que vuelve á hacerse preciso el colocar nueva columna de tubos y reducir, por consiguiente, el diámetro; el pie de la columna de 260 milímetros queda á 127,15 metros y el fondo del sondeo á 147,15 metros. El día 23 se colocó la tubería de 220 milímetros de diámetro, se trituraron los desprendimientos que rellenaban el agujero, con el trépano de 216 milímetros y se hizo descender la tubería hasta el fondo, quedando por tanto su pie á 147,15 metros. El avance continuó desde este nivel con algunas dificultades, debidas, como siempre, á los desprendimientos, aunque no tantas como anteriormente, y no siendo posible hacer descender la última columna colocada, se intentó su extracción, con objeto de ensanchar el agujero y hacerla descender; la profundidad del sondeo en este momento era de 167 metros. Se realizó con éxito la extracción de la tubería el día 28 y se empieza el ensanche con el trépano de 255 milímetros, llegándose con este diámetro hasta los 164 metros, en que se hizo preciso suspender la operación porque la abundancia de los desprendimientos imposibilita el funcionamiento de la sonda. El día 3 de Julio se colocó de nuevo la columna de 220 milímetros, quedando su pie á 164,35, y se vuelve á comenzar el avance con el trépano de 216 milímetros.

A partir de esta profundidad y á causa de haber llegado la sonda al tramo calizo, mucho más consistente que el de las margas atravesadas anteriormente, el avance se hace con regularidad aun cuando los desprendimientos siguen produciéndose, si bien en pequeñas cantidades. El día 20 se empezó á cortar un tramo de areniscas y el 24 entró la sonda en el de los conglomerados que constituyen la base del terreno triásico. Sigue el avance en estos conglomerados con regularidad, aunque con más lentitud, motivada por la dureza de la roca que obliga en muchas ocasiones á maniobrar cada dos horas para cambiar de trépano, el cual, después de dicho tiempo de trabajo, queda con el filo completamente aplastado. Esta dureza del terreno produce por dos veces la rotura de la sonda y una vez la del trépano, siendo los trozos que quedan en el fondo extraídos fácilmente, pero produciendo una parada de tres días para reparar las sondas.

Atendiendo á que por la dureza del terreno resultaba muy lenta la perforación por percusión y á que por estar en el tramo inferior del Trias no era probable que volvieran á presentarse espesores importantes de margas dentro del triásico, se pensó en los primeros días de Agosto en la conveniencia de cambiar de sistema de perforación, sustituyendo la percusión por la rotación; pero surgió el inconveniente de no disponer de suficiente cantidad de tubería Mannesman de 191 milímetros de diámetro interior, para poder emplear el mayor diámetro, y después de varias gestiones para adquirir dicho material, y resultando imposible el obtenerlo en un plazo conveniente, por no fabricarse en España y dificultar la guerra su llegada del extranjero, se decidió prescindir del diámetro de 186 milímetros é instalar la rotación, empezando á trabajar con la corona de 156 milímetros, para cuyo diámetro se tenía existencia suficiente de tubería.

El día 26 de Agosto se suspendió el trabajo por percusión, cuando el sondeo llegaba á la profundidad de 300,80 metros y se procedió al cambio de instalación y entubado con la columna de tubos de acero roscado de 163 milímetros de diámetro interior. A esta columna se la dió una longitud igual á la profundidad del sondeo, condición indispensable para la clase de trabajo que iban á comenzar, en el que haciéndose el arrastre de los detritus producidos por medio de una corriente de agua, es preciso evitar los escapes por las paredes del agujero y los cambios de diámetro, que provocarían el depósito de lodos arrastrados por la corriente de salida. Una vez terminada la colocación de la tubería é instalados el aparato de rotación, bomba y motor, se reanudó el avance con el nuevo procedimiento el día 17 de Septiembre.

Durante todo el tiempo en que se avanzó por rotación, la perforación se hizo con bastante regularidad, no habiéndose presentado más dificultades que las debidas á algunos desprendimientos en las zonas de pizarras y al escape del agua de retorno por las grietas de éstas y de las calizas. Tales dificultades se han remediado por medio de cementaciones que, al mismo tiempo que cerraban las fisuras del terreno evitando los escarpes de agua, consolidaban las paredes, evitándolos desprendimientos. Por consecuencia de lo extremadamente fracturadas que se ofre-

cían las rocas carboníferas, y por los grandes espesores de pizarras del mismo terreno fué preciso acudir á la fortificación por cemento en seis ocasiones, pero se evitó con esto, en cambio, la colocación de nuevas columnas de tubos y la reducción del diámetro de la corona, que siguió siendo de 156 milímetros hasta el fin del sondeo.

En la noche del 20 de Enero, estando el trabajo en marcha normal, observó el sondeador que el agua ascendía del interior del pozo en mayor cantidad que la normal y que al mismo tiempo la sonda giraba fácilmente, como si no encontrara resistencia, por lo cual supuso que se había roto el varillaje y procedió á la extracción del mismo. Durante esta operación, y cuando todavía quedaban en el pozo 260 metros, la salida del agua fué en aumento, hasta que, súbitamente, se elevó en forma de surtidor, llegando hasta las poleas del castillete y obligando al personal á retirarse y á suspender la maniobra. Gracias á esto no ocurrió ninguna desgracia, pues á los pocos momentos una gran explosión incendió el castillete y la fragua, quedando la boca del sondeo convertida en una enorme hoguera.

Según pudo comprobarse después, cuando apagado el incendio se extrajo el varillaje éste se encontró roto, conforme había sospechado el sondeador, quedando en el pozo un trozo de 60 á 70 metros.

El accidente puede explicarse del modo siguiente: la sonda que ya había atravesado anteriormente terrenos muy fracturados, alcanzó á los 563 metros un banco de caliza en el que existían grietas abiertas y en comunicación con un depósito de gas natural almacenado en el terreno; en este momento, y por efecto de una resistencia extraordinaria encontrada por la corona (probablemente el enganche en los bordes de la grieta de las puntas de la escotadura que lleva para el paso de la granalla), se rompió el varillaje, al mismo tiempo que el gas comenzaba á escaparse por dicha grieta. Este gas, cuya presión no alcanzaba las 55 atmósferas que próximamente representaba la columna de agua contenida en el sondeo, empezó á burbujear á través de ella durante la operación de sacar la sonda, emulsionando el agua y produciendo un desborde por la boca del agujero, hasta

que la presión de la columna líquida, no fué suficiente para contrarrestar la del gas, en cuyo momento fué lanzada en masa, produciéndose el surtidor que obligó al personal á retirarse del castillete; una vez expulsada el agua los gases salieron libremente, llenando el interior del castillete y siendo la causa de la explosión su contacto con el hogar de la caldera.

El castillete fué rápidamente consumido por las llamas, así como la fragua, y los esfuerzos en los primeros momentos se dirigieron á evitar que el incendio se propagase al taller y almacén, retirándose la maquinaria contenida en ellos y los barracones.

Salvado este material se procedió á extinguir las llamas de gases inflamados que salían por la boca del sondeo, y para ello se rodeó la boca por una pared de tierra, formando así una especie de cazuela que habría de llenarse con ácido carbónico, y de este modo los gases, á su salida, se apagarían al encontrarse en una atmósfera no comburente. Se empleó para el objeto el ácido carbónico que suministra el comercio, almacenado á gran presión en frascos de acero, haciendo llegar el gas al interior de la cavidad limitada por la pared de tierra, por medio de tubos que la atravesaban.

La extinción de las llamas se consiguió al primer intento y una vez logrado el resultado apetecido y retirada la maquinaria que aún quedaba, se procedió á montar en la boca del sondeo sobre los tubos del mismo, una chimenea, que debía despedir el chorro de gases á cierta altura evitándose así el peligro de un nuevo incendio por imprudencia, tanto más de temer encontrándose el sondeo al lado de una carretera. Esta chimenea tenía unos ventanillos en su parte inferior por los cuales podía introducirse un anenómetro, con objeto de hacer medidas de velocidad á la salida de los gases y calcular la producción del pozo.

Antes de ocurrir el accidente se tenía el propósito de continuar el sondeo hasta encontrar la caliza de montaña (que de no ser la que se empezó á cortar á 563 metros no hubiera tardado mucho en alcanzarse) ya que por los datos obtenidos durante la profundización, se suponía que se estaba atravesando el tramo sub-hullero, y era preciso, además de confirmar plenamente que

se trataba de este tramo, conocer también la profundidad de la caliza en cuestión, dato interesantísimo para el trazado del corte estratigráfico correspondiente. Mas el incendio causado por los gases, así como las dificultades que habían de encontrarse para proseguir el sondeo mientras que persistieran las emanaciones gaseosas, hicieron renunciar al propósito de continuarle, y aun cuando los datos que se esperaban obtener eran de interés indiscutible, se decidió darlo por terminado en atención al elevado coste que representaba la continuación del trabajo. Resolvióse, pues, reparar las averías causadas en el material para trasladarle á otro emplazamiento que se elegiría convenientemente.

Una vez decidido el traslado del tren de sonda, se hicieron cargo del manantial de gases los Sres. Felgueroso Hermanos como propietarios de las concesiones, proponiéndose dichos señores hacer investigaciones encaminadas á obtener datos más completos acerca del yacimiento de gas puesto al descubierto. Como pensaban utilizar el sondeo practicado, compraron al Instituto Geológico las tuberías colocadas en el mismo y además, en atención á las ventajas que para ellos significaba el descubrimiento del yacimiento de gases, se ofrecieron á abonar la mitad del importe de los perjuicios causados en el material, en lo que excediesen de la indemnización abonada por la compañía «Assurances Generales» donde se había asegurado la instalación.

Datos estadísticos.—En los gráficos de la lámina 1 se indica, en uno de ellos, la distribución del tiempo total empleado en el sondeo, desde que principió la perforación hasta el momento de la parada por la salida de gases; en los otros dos, la del empleado en la percusión y en la rotación. En todos ellos se distingue el tiempo empleado en paradas del empleado en trabajos. En el gráfico total se subdivide el tiempo absorbido por las paradas, en el que corresponde á días festivos; el correspondiente á noches que se ha dejado de trabajar por no disponer más que de un solo relevo de obreros; el absorbido por las reparaciones de la maquinaria con interrupción del trabajo, y, por último, el empleado en cambiar el sistema de percusión por el de rotación.

El tiempo empleado en trabajos se subdivide del modo si-

guiente: tiempo consumido en el avance propiamente dicho; tiempo absorbido por las maniobras del varillaje y cucharas; el empleado en extracción de herraminas ó trozos de la sonda que quedaron en el pozo por accidente; tiempo en que se ha estado trabajando para atravesar desprendimientos acumulados en el fondo del pozo sin obtener, por tanto, ningún avance, y tiempo destinado á cementaciones y entubados.

En los gráficos parciales, se distribuye de la misma manera el tiempo durante el cual se ha trabajado por cada uno de los sistemas de percusión y rotación.

El avance medio por veinticuatro horas, teniendo en cuenta todo el tiempo transcurrido desde el principio al fin del sondeo, ha sido de 2,06 metros. El correspondiente al tiempo durante el cual se trabajó por percusión ha sido de 2,35 metros; y el correspondiente al empleo de la rotación de 2,15 metros.

Teniendo en cuenta solamente el tiempo empleado en perforar y en maniobras de varillaje y cucharas, los avances medio total y los correspondientes al empleo de la percusión y de la rotación han sido los siguientes:

Avance medio total por veinticuatro horas.....	5,27 metros.
Avance medio por veinticuatro horas, empleando la percusión.....	4,63 metros.
Avance medio por veinticuatro horas, empleando la rotación.....	6,26 metros.

Los avances máximos y mínimos obtenidos en veinticuatro horas han sido:

Con la percusión, 9 metros y 0,95 metros, respectivamente; y con la rotación de 11,10 metros y 3,45 metros.

II

Terrenos atravesados. (Lámina 2.^a)

Triásico.—Después de la pequeña capa de aluvión y tierra vegetal existente en el punto que se situó el sondeo, penetró la sonda en las margas irisadas del tramo superior de la formación

triásica, cuyas margas se presentan en lechos de color rojo, gris ó verde, predominando el rojo, y contienen todas ellas, especialmente en la parte inferior del tramo, gran número de vetas de yeso. Son, en general, muy poco consistentes y su facilidad para desmoronarse ha producido grandes dificultades en el trabajo por la gran cantidad de desprendimientos que constantemente caían al fondo del sondeo, imposibilitando el avance. El espesor total de estas margas y aluvión de la superficie ha sido de 167 metros.

Sigue al tramo de margas otro de calizas muy margosas, con los mismos colores rojos y grises de las margas anteriores, y que á su vez descansa sobre lechos de arenisca también margosa, con alguna intercalación de pizarra negra. Alcanzan estos dos tramos 71,60 metros de espesor.

Después de las areniscas se encontró el tramo de conglomerados de la base del sistema. Empezó por conglomerado de elementos de cuarzo muy duro, disminuyeron después los cantos de cuarzo y aumentó la proporción de caliza llegando á contener la roca, próximamente, la misma cantidad de cada uno de dichos elementos y, por último, volvió á predominar el cuarzo. El tamaño de los cantos que constituyen este conglomerado es también muy variable: unas veces forman una pudinga, y otras, constituyen una arenisca de grano basto. El color predominante es el rojo y únicamente cerca de la base se cortó un banco de arenisca blanca de grano fino.

A continuación del conglomerado se cortó un pequeño tramo de marga roja que descansaba sobre el carbonífero.

El espesor de terreno triásico cortado por el sondeo ha sido de 330,10 metros, y teniendo en cuenta que hay 95 metros de diferencia de nivel entre la boca del sondeo y la caliza del Lias, y su buzamiento de unos 10°, resultan para espesor total del Trias en este punto unos 418 metros.

No era de suponer que en este paraje tuviera este terreno tan considerable espesor, sobre todo teniendo en cuenta que el sondeo de Vega, que comenzó próximamente en el mismo horizonte de margas que el de Caldones, penetró en el carbonífero á los 160 metros. La disposición general de los tramos de margas,

calizas y conglomerados, es la misma en los dos sondeos, la diferencia estriba en el considerable aumento de espesor que todos ellos ofrecen en Caldones y también en la menor proporción de pudingas cuarzosas en este último.

Carbonífero.—Los 233,80 metros atravesadas por la sonda en el terreno carbonífero están constituidos por grandes bancos de pizarras que alternan con capas de caliza, en general de poco espesor. No se ha cortado en todo este tramo ninguna capa de carbón.

Las pizarras son negras y casi todas más ó menos calíferas; sobre todo, las capas de poco espesor comprendidas entre calizas, que suelen dar mucha efervescencia con el ácido clorhídrico y son duras y compactas. Algunos de los tramos de pizarras contienen gran cantidad de restos vegetales que á veces dan origen á delgados lechos carbonosos; su aspecto es el corriente de las pizarras hulleras.

Las calizas son grises, algunas muy oscuras, fétidas y están casi siempre atravesadas por gran número de vetas espáticas. Esta particularidad la presentan también algunos bancos de pizarras, é indica lo fracturado que se encuentra el terreno. En especial, el último banco de caliza alcanzado por la sonda, parece una verdadera brecha, pues está formado por pequeños trozos de la caliza primitiva vueltos á soldar por los depósitos de espato.

Durante la perforación se han extraído testigos orientados, en las zonas que por presentar la estratificación bien marcada, daban mayores probabilidades de lograr exactitud en los resultados. Se ha efectuado esta operación por tres veces, obteniéndose en todas ellas para la dirección de los estratos la de N. E. á S. O. con buzamiento de 26° al N. O.

Entre los restos fósiles suministrados por los testigos, y que por su estado de conservación han podido ser clasificados con probabilidades de acierto consignaremos las siguientes:

PROFUNDIDADES

—
METROS

- 358,2 **Spirifer.**—Este ejemplar está cortado por la corona de la sonda, habiendo quedado en el testigo un fragmento que aunque no deja duda respecto al género no permite la determinación de la especie.
- 383 **Phillipsia Cliffordi**, Woodw.—Pygidium igual al figurado por Woodward en su **Monograph of the British Carboniferous Trilobites**, Lám. X, fig. 12; como perteneciente á las pizarras del Culm del Devonshire.
- Esta especie no la encontramos citada en España.
- Avicula y Pecten**, algunos pequeños ejemplares correspondientes á estos géneros. Tallos y brazos de crinoide en gran abundancia.
- En este testigo se ha recogido también un ejemplar bien conservado, que no nos ha sido posible clasificar, de un lamelibranquio que podría atribuirse al género **Sanguinolites**, pero no encontrando descrita ninguna especie de dicho género á la que se pueda referir y existiendo la posibilidad de que los pliegues laterales, procedan de deformación producida en el ejemplar por la presión del terreno, se hace preciso esperar á que el hallazgo de otros ejemplares permita la comparación y fijar sus caracteres.
- 404,30 **Sphenopteris trifoliata.** Brong.
- 406,80 **Stigmaria ficoides.** Brong. Varios ejemplares de esta especie y un tallo de helecho.

PROFUNDIDADES

—
METROS

- 417,35 **Productus aculeatus.** Mart. Ejemplar mal conservado pero que parece puede referirse á la especie citada.
- 419,75 **Nevropteris gigantea**, Sternb y **Stigmaria ficoides.** Brong.
- 425,30 **Nevropteris gigantea**, Sternb.
- 441,75 **Sphenopteris artemisifolia.** Sternb. Ejemplar algo borroso, en el que no se ve bien la nerviación.
- 444,25 y 455,25 Brazos de crinoide en gran cantidad. Tanto los brazos como los tallos de crinoide se encuentran en mayor ó menor cantidad en casi todos los testigos.
- 525,90 **Nevropteris Villiersii.** Brong. Atribuimos á esta especie, aunque con duda, un ejemplar recogido en este testigo que por la desigualdad de las pínulas á uno y otro lado del rachis y la forma de la nerviación parece corresponder á ella. Sin embargo, el tamaño y el contorno de las pínulas difieren algo de la figura dada por Brongniart.

En el testigo á 527,60 metros, se ha recogido un ejemplar que corresponde á la extremidad de una rama de helecho, presentando seis pínulas de cada lado del rachis. Por la nerviación parece pertenecer á un *Nevropteris*, pero la forma y disposición de las pínulas recuerdan el género *Alethopteris*. Ni en uno ni en otro encontramos especie á que se pueda referir dicho ejemplar.

Tratándose de un sondeo es lo natural que el número de ejemplares recogidos en suficiente estado de conservación para ser clasificados sea muy pequeño, y que en caso de existir especies características de las zonas atravesadas, será casual el recogerlas en buen estado. No hay que pretender, por tanto, en la

mayoría de los casos, que la paleontología sola, fije la zona á que corresponde el terreno atravesado por el sondeo y tendremos que completar las indicaciones paleontológicas con datos estratigráficos, para precisar su posición particular dentro del conjunto determinado por los fósiles.

En el caso que nos ocupa, y teniendo en cuenta la fauna recogida, observamos que todos los géneros antes citados, *Productos*, *Spirifer*, *Phillipsia*, etc., así como la abundancia de restos de crinoides, son propios del carbonífero inferior, y si adoptamos la división establecida por Barrois para el carbonífero de Asturias, podremos asimilar el tramo cortado por el sondeo, al designado con el nombre de «Pola de Lena», ya que la fauna recogida en Caldones es la correspondiente á dicho tramo, aunque no se hayan encontrado las *Fusulinas* que le caracterizan.

En cuanto á la flora, no disponiendo de estudios de su distribución en la cuenca de Asturias, tendremos, para interpretar sus indicaciones, que comparar con las divisiones del carbonífero en otros países. Tomando como base la división establecida por Grand'Eury resulta de la recogida en Caldones una anomalía digna de notarse y que consiste en haber encontrado especies que, como el *Sphenopteris trifoliata* y el *Nevropteris gigantea*, para no citar más que las mejor definidas, corresponden al inframedio, resultando, por tanto, que clasificado el tramo por la flora le incluiríamos en un nivel geológico más alto que clasificándole por la fauna. Claro es, que este resultado, se desprende sólo del examen exclusivo de los fósiles recogidos, mas si se tiene en cuenta que las clasificaciones por medio de la flora dependen del conjunto de especies existentes en el tramo que se considera, más que de la presencia de una determinada, veremos que para el caso de que se trata no hay base suficiente para establecer la clasificación de un modo seguro, por ser pequeño número de especies, y pertenecientes todas á helechos y Stigmarias, sin que figuren otras clases de vegetales. Solamente mediante la clasificación de gran número de ejemplares vegetales y animales de los distintos niveles de la cuenca asturiana, podría resolverse este aparente ó real desacuerdo entre las indicaciones de la fauna y la flora en esta región, comparadas con las de otros países.

Admitiendo como buenas, para el caso de Caldones, las indicaciones de la flora y de la fauna deducidas de los ejemplares recogidos, resultaría que la zona cortada por el sondeo estaría comprendida entre la caliza de montaña y el tramo medio, alcanzando á lo sumo á la parte más baja del mismo. Si tenemos ahora en cuenta la constitución estratigráfica del terreno carbonífero cortado por la sonda, veremos que todo él está formado por alternativas de pizarras y calizas, sin capa alguna de carbón ni bancos de arenisca, y que el espesor reconocido en este terreno ha sido de 233,80 metros, que teniendo en cuenta el buzamiento, da un espesor normal de 210 metros.

Comparando esta disposición estratigráfica con la de los distintos horizontes comprendidos entre la caliza de montaña y la parte baja del tramo medio, se ve inmediatamente que sólo puede asimilarse á ella en potencia y litología, la comprendida entre la caliza de montaña y las primeras capas del tramo inferior, es decir, el tramo llamado por el Sr. Adaro subhullero (1). Si se tratara del tramo inferior presentaría capas de carbón y cuarcitas alternando con las pizarras y calizas; y en la parte inferior del tramo medio las diferencias litológicas son todavía mayores, pues en él predominan las pudingas y areniscas.

Resulta de lo expuesto, que los datos proporcionados hasta ahora por los sondeos en la región de Gijón son los siguientes:

El sondeo de Caldones ha cortado el tramo subhullero, cuyos estratos están orientados en dirección N. E. á S. O. con buzamiento de 26° al N. O.

El sondeo de Vega cortó dos capas de carbón en un tramo de pizarras y areniscas; no se conoce la dirección de los estratos, pero sí su inclinación, que es de unos 65° con la horizontal. Aunque no se tienen datos suficientes para poder determinar el tramo del carbonífero cortado por este sondeo, se puede asegurar, desde luego, que corresponde á un nivel geológico más alto que el cortado en Caldones.

Basándose en la posición del tramo subhullero determinada por el sondeo de Caldones, ha modificado el Sr. Adaro, según se

(1) Los Carbones Nacionales y la Marina de Guerra.

representa en la lámina 3, el corte hipotético por el lugar del sondeo.

La dirección del eje de plegamiento ha resultado comprobada, la diferencia estriba en que el seno sinclinal que se trataba de investigar se halla situado más al N. O. de lo que se había supuesto, siendo, por consiguiente, de menor amplitud y no quedando dentro de él, más que el espacio necesario para contener el tramo inferior y una pequeña parte del medio. Las capas cortadas en Vega serían, según este trazado, las más altas del tramo inferior.

Lo muy fracturado del terreno carbonífero en todo el sondeo parece indicar la proximidad de una falla ó un doblez brusco, con rotura, que limita al sinclinal por este lado. Indudablemente, en relación con estos accidentes debe hallarse el manantial de gases que se ha encontrado. Las dos soluciones que acaban de indicarse se representan en la lámina.

III

Gases.

El desprendimiento de gases combustibles que según hemos indicado anteriormente dió lugar al incendio que puso fin al sondeo de Caldones, ha sido, sin duda, un hecho de gran interés que pudiera producir consecuencias importantes en el orden económico. Se inició, como hemos dicho, en la noche del 20 de Enero y continuó con mayor ó menor intensidad hasta el 9 de Abril, en que estando efectuándose trabajos para la extracción del trozo de sonda que quedó en el pozo, se desprendió de la herramienta con la que ya se había logrado agarrarle y levantarle, cayendo de nuevo al fondo. Desde este momento cesó completamente el desprendimiento de gases, debiendo atribuirse indudablemente el hecho, á haberse obstruído la salida con la sonda y derrumbamientos producidos por la caída de la misma.

Al manantial gaseoso acompañaban las aguas que aflúan al pozo, las cuales algunas veces eran lanzadas al exterior en for-

ma de surtidores de considerable altura; otras veces el agua no hacía más que desbordar por la boca del tubo de salida. Se ha presentado principalmente este fenómeno, durante los períodos de mayor actividad en el desprendimiento gaseoso, repitiéndose muchas veces en algunos días y habiéndose producido por última vez el día 13 de Marzo. Las aguas de estos surtidores presentaron la particularidad de contener bromo, según ha comprobado el Ingeniero Jefe del Laboratorio de la Escuela de Minas, Sr. Hauser, en el análisis de las muestras tomadas de los surtidores correspondientes á los días 26 de Enero y 1 y 2 de Febrero. La muestra tomada el primero de los indicados días es la que mayor cantidad contiene y alcanza hasta 0,2 gramos por litro.

A contar del 1.º de Febrero y durante el tiempo que se ha mantenido la salida de gases, se ha medido diariamente y á horas fijas, por medio del anenómetro, la velocidad á la salida y con estos datos se ha calculado el volumen correspondiente por veinticuatro horas; en la lámina 4 se representa gráficamente la producción diaria del sondeo desde el 1.º de Febrero al 9 de Abril. Los trozos de puntos corresponden á días en que por estar el agua oscilando á nivel de las aberturas para introducir el anenómetro no se pudieron tomar velocidades.

Presenta la curva de producciones diarias dos períodos de gastos máximos, en los que la producción por veinticuatro horas ha llegado á ser de 17.280 m³ en el día 1.º de Febrero y de 13.020 m³ en el primero de Marzo. Estos dos períodos están separados por otro de gastos menores que oscilan entre 3.000 y 4.000 m³, y á continuación del segundo vuelve á presentarse otro período análogo de gastos mínimos, con alguna tendencia á decrecer, y que dura, hasta que la salida se obtura por el accidente mencionado.

Se observa, desde luego, que la salida de gases presentó régimen muy irregular, pero sin que deban atribuirse las variaciones á la naturaleza del manantial gaseoso, el cual, por sí mismo no puede motivar otras modificaciones en el régimen que las debidas á la reducción de presión correspondiente á la disminución de la cantidad de gas almacenado. Se explican las variaciones observadas por las circunstancias especiales en que se veri-

ficaba la salida de los gases, dificultándola en mayor ó menor escala, en primer término, las aguas que aflúan al pozo desde la superficie, y además las distintas posiciones en el fondo, del trozo de sonda y los desprendimientos de las paredes, dejando entre sí huecos de secciones variables para la circulación de los gases. Teniendo en cuenta estas circunstancias se explica que en ciertos períodos el escape de gas se hiciera burbujeando á través del agua y produciendo solamente oscilaciones en la columna líquida, y otros en que por variación de la cantidad de agua ó de la sección de salida, el caudal de gases aumentara, produciendo á su vez este aumento mayores oscilaciones en la columna líquida, que causarían su desborde por la boca del sondeo, y cuando eventualmente se ocasionaran grandes presiones se provocaba el lanzamiento en masa de las aguas en forma de surtidor.

Para obtener con exactitud los datos de producción del pozo hubiera sido preciso, después de haber extraído la sonda, colocar una tubería estanca en toda la longitud del pozo, que aislara el manantial gaseoso de las aguas superiores y evitara al mismo tiempo el hundimiento de las paredes.

Los gases.—El Sr. Hauser hizo en el mes de Febrero la toma de muestras y análisis de los gases, obteniendo los siguientes resultados:

Análisis del gas:

Hidrógeno...	0,46
Metano.....	95,51
Etano.....	2,14
Nitrógeno.....	1,89
TOTAL.....	100,00

Potencia calorífica.—Admitiendo las siguientes valores para las potencias caloríficas de los distintos gases combustibles por metro cúbico de gas seco á 0° y 767 m/m en grandes calorías:

	Con condensación del vapor de agua formado.	Sin condensación del vapor de agua formado
Hidrógeno.....	3.108	2.622
Metano.....	9.617	8.644
Etano.....	16.770	15.311

se obtiene el siguiente resultado para los gases de Caldones:

Con condensación del vapor de agua formado: 9.553.

Sin condensación del vapor de agua formado: 8.590.

Si se supone el gas húmedo á 15° C y 760 milímetros las calorías correspondientes en ambos casos serán: 8.970 y 8.066.

Volumen de aire necesario para la combustión completa en motores de explosión: por lo menos 9,46 el del gas.

Volumen de aire necesario para la formación de mezcla explosiva: de 7,40 á 16,30 veces el volumen de gas.

Para la combustión en mechero de llama, debe contener todo lo más 7,40 veces su volumen de aire para no producir explosión.

Peso específico y densidad del gas.—Tomando por base los siguientes pesos del litro de gas seco á 0° y 760 milímetros:

Hidrógeno.....	0,0899 gramos.
Metano.....	0,722 »
Etano.....	1,390 »
Nitrógeno atmosférico.....	1,2568 »

el peso de un litro del gas de Caldones en iguales condiciones sería de 0,743 gramos, peso que referido al de un volumen igual de aire da una densidad de 0,575.

Los gases de Caldones están, pues, constituidos en casi su totalidad por el metano, y teniendo en cuenta que el etano en proporciones que no suelen exceder del 4 por 100, ha sido comprobado en diferentes análisis de los grisús de algunas minas de

hulla, resulta que su composición corresponde á la del grisú. La ausencia del ácido carbónico que aunque en proporciones pequeñas existe casi siempre en las muestras de grisú puro tomadas en las minas, podría explicarse por estar el yacimiento encerrado en calizas.

Origen de los gases.—El hallazgo por el sondeo, del manantial gaseoso, hizo pensar en la posibilidad de que el fenómeno estuviera en relación con algún yacimiento de petróleo, y ciertamente sería de enorme importancia el llegar á comprobar la existencia de yacimientos de esta naturaleza; mas es lo cierto que hasta el presente no hay fundado motivo para admitir como probable tal supuesto. El hecho de haberse encontrado un depósito de gases combustibles en presión, no es suficiente para admitir la probabilidad de la existencia del petróleo, pues si bien los yacimientos de esta substancia se presentan acompañados de gases, la recíproca no se verifica siempre, y hay regiones de los Estados Unidos en que se explotan en cantidades enormes los gases naturales de origen análogo ó no al del petróleo, sin que se encuentre este último, ó presentándose á lo sumo, en cantidades insignificantes. Observaremos, además, que la composición de los gases que acompañan al petróleo, difieren bastante, por regla general, de la de los gases de Caldonés, siendo menos elevada la cantidad de metano y entrando en cambio en mayor proporción el etano y otros hidrocarburos.

En el caso de Caldonés, y atendiendo á la situación geológica y á la composición del gas descubierto, parece lógico atribuir su origen á causas análogas á las que lo producen en las capas de hulla, y explicar su formación por la descomposición de restos vegetales acumulados en los fondos legamosos en que se formaron las pizarras que en grandes espesores y alternando con calizas constituyen la parte inferior del sistema carbonífero. Estos gases que impregnaban el terreno, pudieron, por fenómenos tectónicos posteriores, ser expulsados de las capas que los contenían, quedando encerrados á presión en las grietas y roturas producidas por los plegamientos y en los huecos de las calizas, cuyas rocas, y particularmente la llamada de montaña, suelen contener cavernas que alcanzan á veces proporciones colosales. Resulta-

rían así almacenados los gases dentro de las zonas fracturadas del terreno, bien en depósitos independientes ó comunicándose entre sí, y de importancia variable según las circunstancias que concurrieran en su formación.

Entre estas circunstancias debieron ser las de mayor eficacia las siguientes: la impregnación mayor ó menor del terreno por los gases antes del plegamiento; la naturaleza y espesor de las capas que luego lo cubrieron impidiendo su escape al exterior; y la extensión de la zona fracturada y con huecos en que se almacenaron.

Estas circunstancias intervinieron en proporciones que no es posible precisar y que además pudieron ser distintas en los diferentes puntos de la zona origen del yacimiento, y por consiguiente, no es posible formar juicio acerca de su importancia hasta que por nuevas investigaciones se obtengan los datos relativos á su extensión y á la duración del fenómeno, en cuanto se relaciona con el aprovechamiento industrial de los manantiales.

Los datos en cuestión no pueden obtenerse, evidentemente, más que por medio de sondeos, y para fijar la situación racional de éstos podrá servirnos de guía el modo de formación de los yacimientos. Es lógico, en efecto, que á lo largo de las zonas fracturadas sea donde deban realizarse las investigaciones, puesto que siendo las fracturas del terreno el lugar donde se han almacenado los gases, en ellas será donde con más probabilidades de acierto habrán de encontrarse los depósitos gaseosos. Ahora bien, la zona fracturada reconocida por el sondeo de Caldonés, debe extenderse según la dirección de los plegamientos, ó sea del N. E. al S. O., y en esta dirección convendría situar los nuevos sondeos para reconocer el yacimiento.

El accidente que cerró la salida de gases por el pozo de Caldonés, ha impedido sacar de este sondeo muchas enseñanzas que eran de gran interés, pues si bien en lo referente á la extensión ocupada por los depósitos gaseosos, un solo sondeo no puede darnos idea, en lo que respecta á la duración y gasto del manantial por él descubierto, se hubieran podido obtener datos que sirvieran de base para estudiar la posibilidad de su aprovechamiento

económico y la conveniencia de hacer nuevas investigaciones. Afortunadamente está el asunto en manos de personas entusiasmadas y emprendedoras que se proponen continuar los trabajos para habilitar nuevamente el sondeo y hacer otros nuevos que pongan en claro la importancia del descubrimiento.

Julio 1915.

MANUEL RUIZ FÁLCÓ.

REGIONES PETROLÍFERAS
DE
ANDALUCÍA

REGIONES PETROLÍFERAS

DE
ANDALUCÍA

OBRAS CONSULTADAS

1. **Azpeitia.**—La Diatomología española en los comienzos del siglo xx. Madrid, 1911.
2. **Bailly.**—Sur les ophites. París, 1867. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXV.
3. **Barrois et Offret.**—Mémoire sur la constitution géologique du sud de l'Andalousie. París, 1889.
4. **Bustamante.**—Ligero estudio sobre los pozos de «El Ébano», explotados por la Mexican Petroleum C^o. Méjico, 1906. Boletín de la Sociedad Geológica Mejicana. Tomo II.
5. **Cala y Sánchez.**—Geología del término de Morón. Madrid, 1891. Anales de la Sociedad Española de Historia Natural. Tomo XXVII.
6. **Calderón.**—La région épigenique de l'Andalousie et l'origine de ses ophites. París, 1888. Bull. Soc. Géol. de France. 3.^a serie. Tomo XVII.
7. **Calderón.**—Los volcanes fangosos de Morón. Madrid, 1891. Anales de la Sociedad Española de Historia Natural. Tomo XX.
8. **Calderón y Paul.**—La Moronita y los yacimientos diatomáceos de Morón. Madrid, 1886. Anales de la Sociedad Española de Historia Natural. Tomo XV.

9. **Coquand.**—Description géologique des gisements bituminifères et petrolifères de Selenitza dans l'Albanie, et de Chieri dans l'île de Zante. Paris, 1867. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXV.
10. **Coquand.**—De l'étage des marnes irisées et de l'étage rhétien (couches à *Avicula contorta*) dans les environs de Montferrat (Var), et de leur séparation au moyen du *bone bed*. Paris, 1868. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXV.
11. **Coquand.**—Sur les gisements asphaltiques des environs de Ragusa, dans la province du Val di Noto (Silice). Paris, 1868. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXV.
12. **Coquand.**—Sur l'âge des gisements du sel gemme, sur l'origine des ruisseaux salés et des lacs salés de l'Algérie. Paris, 1868. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXV.
13. **Coquand.**—Sur le gîte de pétrole de la Valachie et de la Moldavie et sur l'âge des terrains qui les contiennent. Paris, 1867. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXIV.
14. **Fuchs et De Launay.**—Traité de gîtes minéraux et métallifères. Paris, 1893.
15. **George I. Adams.**—Oil and gas fields of the upper cretaceous and tertiary formations of the Western Gulf Coast. Bull. U. S. Géol. Sur. 1901.
16. **Klement.**—Les théories relatives à l'origine du pétrole. Bruxelles, 1897. Procès verbaux de la Société belge de Géol. de Paleont. et d'Hydrol. Tomo XI.
17. **Lartet.**—Sur les gîtes bitumineux de la Indée et de la Coelé-Syrie, et sur le mode d'arrivée de l'asphalte au milieu des eaux de la mer Morte. Paris, 1866. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXIV.
18. **Levallois.**—Remarques sur les relations de parallélismes

- que présentent, dans la Lorraine et dans la Souabe, les couches du terrain dit des marnes irisées ou Keuper. Paris, 1866. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXIV.
19. **Mac-pherson.**—Bosquejo geológico de la provincia de Cádiz. Cádiz, 1873.
 20. **Mallada.**—Nota sobre los yacimientos de petróleo y de azufre de la provincia de Cádiz. Madrid, 1909. Bol. de la Com. del Mapa. geol. de España. Tomo XXX.
 21. **Mallada.**—Emanaciones de carburos de hidrógeno en las marismas de Lebrija. Madrid, 1910. Revista Minera (número correspondiente al 1.^o de Febrero).
 22. **Meunier.**—Etudes stratigraphique et chimique des gisements asphaltiques du Jura. Bruxelles, 1898. Mémoires de la Soc. belge de Géol. Tomo XII.
 23. **Mrazec.**—Excursion a la saline de Slanic (Roumanie). Bucarest, 1907.
 24. **Mrazec et Teisseyre.**—Esquisse tectonique de la Roumanie. Bucarest, 1907.
 25. **Mrazec et Teisseyre.**—Esquisse tectonique des Subcarpathes de la vallée de la Prahova (Roumanie). Bucarest, 1907.
 26. **Mrazec et Teisseyre.**—Excursion dans les régions pétrolifères de la vallée de la Prahova (Roumanie). Bucarest, 1907.
 27. **Petrolifera de Pambanco.**—(Consejo de Administración de la Compañía anónima). Petróleo y gas natural. Sevilla, 1910.
 28. **Sava Athanasiu.**—Esquisse géologique des régions pétrolifères des Carpathes du district de Bacau (Roumanie). Bucarest, 1907.
 29. **Sterry Hunt.**—Sur les gîtes de pétrole de l'Amérique du Nord. Paris, 1867. Bull. Soc. Géol. de France. 2.^a serie. Tomo XXIV.

30. **Tanasescu et Tacit.**—L'exploitation du pétrole en Roumanie. Bucarest, 1907.
31. **Tassart.**—Exploitation du pétrole. Paris, 1909.
32. **Teisseyre.**—Stratigraphie des régions pétrolifères de la Roumanie et des contrées avoisinantes. Bucarest, 1907.
33. **Varios autores.**—Petroleum in Spain. Sevilla, 1913.
34. **Villarello.**—Algunas regiones petrolíferas de Méjico. Méjico, 1908. Bol. del Instituto Geol. de Méjico, n.º 26.
35. **Villarello.**—Datos relativos á algunas regiones petrolíferas de Méjico. Méjico, 1908. Bol. de la Sociedad Geol. Mejicana. Tomos III y IV.
36. **Villarello.**—El pozo de petróleo «Dos Bocas». Méjico, 1909. Parergones del Instituto geológico de Méjico. Tomo III, número 1.

REGIONES PETROLÍFERAS

DE

ANDALUCÍA

CAPÍTULO PRIMERO

**MANIFESTACIONES DE PETRÓLEO
Y GASES HIDROCARBURADOS EN LA SUPERFICIE.
ESTUDIOS Y TRABAJOS DE EXPLORACIÓN
LLEVADOS Á CABO.**

El descubrimiento del petróleo en la provincia de Cádiz data de fines del siglo pasado. Hacia el año 1894 se notó, por primera vez, su presencia en el agua que manaba de los pozos y galerías abiertas en Conil para la explotación de un criadero de azufre de escaso valor industrial pero muy conocido en el mundo científico por las magníficas cristalizaciones que en él se encontraron y que figuran en las colecciones mineralógicas más importantes de Europa. Con anterioridad á la indicada fecha, en 1860, se intentó explotar unas pizarras bituminosas que afloran en la base de la sierra del Pinar, cerca de Grazalema, pero dichas pizarras, aun cuando pueden producir por destilación cierta cantidad de hidrocarburos líquidos, ni por su naturaleza ni por las condiciones de su yacimiento, tienen la menor relación con los hallazgos de verdadero petróleo y gases combustibles en el resto de la región gaditana.

En el año 1895 se encontró también petróleo cerca de Jerez de la Frontera, en el balneario de San Telmo, durante los trabajos de perforación de un pozo en que se recoge el agua sulfurosa utilizada como medicinal.

En 1904, la compañía explotadora de los azufrales de Arcos ejecutó un crecido número de sondeos para el reconocimiento del criadero en profundidad, que pusieron de manifiesto la existencia de calizas impregnadas de petróleo y dieron origen á desprendimientos de gases combustibles.

En Septiembre de 1906 se encontró en Villamartín petróleo y ozoquerita, que aparecieron rellenando las oquedades de unos peñones de caliza cavernosa que hubo necesidad de hacer saltar con dinamita para ensanchar el canal de desagüe de un molino harinero.

En 1908, en las salinillas del cortijo de Santo Domingo, del término de Jerez, se observó un desprendimiento constante de gases combustibles que dió motivo á la demarcación de aquel terreno como petrolífero; y por último, en 1909, al O. de Lebrija, en las marismas del Guadalquivir, donde hubo de comprobarse el desprendimiento de carburos de hidrógeno en la fuente salada de Pambanco, fué también solicitada la concesión de una extensa superficie como terreno petrolífero.

Además de los puntos que acabamos de enumerar, donde la existencia del petróleo es indiscutible, ó los desprendimientos de gases hidrocarburoados adquieren relativa importancia, puede comprobarse en otros muchos la presencia de calizas impregnadas de hidrocarburos, la de volcanes de lodo, y la de fuentes saladas que desprenden gases combustibles, según iremos viendo al hacer la exposición de los reconocimientos efectuados en la comarca por varios investigadores.

Esto demuestra la existencia de una causa general de la que dependen todas esas manifestaciones, las cuales no pueden considerarse, por lo tanto, como fenómenos localizados en tal ó cual paraje.

No han faltado Sociedades que guiadas por tales vestigios se hayan lanzado á la investigación del petróleo, allí donde la casualidad ponía este producto de manifiesto, aunque sin preocuparse en lo más mínimo del estudio preliminar del terreno objeto de la exploración, y sin acomodar las labores á un plan preconcebido que permitiese, una vez desarrollado, sentar conclusiones definitivas respecto á la explotabilidad de los yaci-

mientos. Y en estas condiciones se han abierto pozos y sondeos hasta distintas profundidades en Conil y en Rota, en Villamartín y en Lebrija.

Los estudios geológicos de algunos ingenieros especialistas que han visitado la región resultan contradictorios en lo referente á la determinación de la edad de los terrenos que forman el subsuelo y totalmente inexactos por lo que respecta á la tectónica. Esto es debido, ante todo, á que las capas están, por lo general, ocultas, unas veces por depósitos cuaternarios, y otras por espesos mantos de tierra vegetal procedentes de la destrucción *in situ* de rocas blandas y, por lo tanto, fácilmente disgregables. El terreno que con más frecuencia aparece al descubierto, en condiciones favorables para su estudio, es tan escaso en fósiles, considerado en conjunto, que generalmente pasan inadvertidos, habiendo contribuido también á dificultar la determinación precisa de su edad geológica el que cuantos especialistas han intentado realizar estudios de esta índole, generalizaron las teorías emitidas por el Sr. Mac-pherson en su *Bosquejo geológico de la provincia de Cádiz*, llegando, casi siempre, á una clasificación errónea. Por esto, las capas del Trias, que, como más adelante veremos, forman el *substratum* general de la comarca, fueron consideradas como capas miocenas metamorfozadas por la acción mineralizadora de emanaciones internas, y, como consecuencia, el terreno numulítico y el oligoceno, que con frecuencia se sobreponen al Trias, han sido, forzosamente, mal clasificados.

Otra causa de error para quien examina la región sin el detenimiento necesario es la gran semejanza que ofrecen entre sí los depósitos arcillosos de los distintos niveles del Terciario y aun del Cuaternario, tanto que, á veces, sólo por su análisis químico ó microscópico pueden diferenciarse: no es extraño, por lo tanto, que las arcillas miocenas hayan sido confundidas con las numulíticas, y éstas con las cuaternarias, confusión de transcendencia indiscutible ya que cada uno de estos terrenos desempeña papel muy distinto en la constitución geológica del país.

La tectónica, cuando no se ha hecho caso omiso de ella, ha sido mal interpretada tanto en conjunto como en detalle. Se han querido aplicar al pie de la letra, y á casos concretos, ideas ge-

nerales emitidas por el Sr. Mac-pherson en su Memoria ya citada, sin tener en cuenta que una parte de los datos en ella contenidos son inexactos y otros pierden su interés aplicados á casos particulares.

A las erupciones de rocas ofíticas se les suele asignar un papel importante en los plegamientos generales de la región, siendo así que sus asomos sólo están relacionados con las fallas del terreno triásico, que parecen ser la causa de su salida y no una consecuencia de aquellas erupciones.

Con harta frecuencia se suponen pliegues anticlinales allí donde es imposible predecir con fundamento su existencia, ó donde es fácil comprobar que sólo afloran capas dislocadas cuya dirección y buzamiento varía á cada instante.

Todos estos errores derivan, indudablemente, según se ha dicho, de la premura con que se han hecho los reconocimientos y, además, de la reducida extensión de las comarcas estudiadas.

Consignados estos antecedentes, entraremos en la reseña de los informes emitidos acerca de los terrenos petrolíferos de Cádiz y Sevilla y de los trabajos de exploración realizados hasta la fecha.

En un folleto titulado *Petroleum in Spain* publicado en Sevilla, en 1909, se insertan tres informes: el primero, debido al propietario de minas Sr. Sanz, se refiere á la provincia de Cádiz en general y á la zona de Villamartín en particular. Los otros dos son del ingeniero de Minas T. R. Marshall y tratan de las zonas petrolíferas de Villamartín y Rota y de las demarcaciones de la «Compañía Petrolífera de Villamartín». Termina el folleto con una carta informe del Sr. Gillman en la que detalla las labores realizadas por esta compañía.

Informe del Sr. Sanz.—«La existencia en la provincia de Cádiz de estratos bituminosos más ó menos ricos en materias volátiles es un hecho bien conocido y puede comprobarse recorriendo las vertientes occidentales de la cordillera Bética desde Grazalema, Ubrique y el Bosque hasta las estribaciones de Prado del Rey, Villamartín y Puerto Serrano... En el año 60 del siglo pasado, una compañía realizó algunos trabajos en Grazalema con objeto de destilar estas materias, pero próximamente por aquella

época se comenzó á producir en Pensylvania grandes cantidades de petróleo líquido; la competencia era imposible y hubo que abandonar el negocio. A fines de este último siglo se construyó en Jerez el balneario de San Telmo, y, cuando se estaba perforando el pozo para el servicio de los baños, apareció sobre el agua sódico sulfurosa cierta cantidad de petróleo; el propietario del establecimiento registró doce hectáreas, pero hasta la fecha no se ha llevado á cabo ningún trabajo de exploración en dicho lugar.

»Por la misma época, otra compañía inglesa efectuó un sondeo cerca de Conil. Entre 110 y 115 metros de profundidad atravesó la sonda una capa petrolífera de 50 centímetros de espesor, y á los 120 metros penetró en una masa de terreno salitroso, en la que se perforó 60 metros sin conseguir atravesarla. En el año 1903, el estudio, por sondeos, de los criaderos de azufre de Arcos de la Frontera demostró la existencia de calizas saturadas de petróleo, masas saladas, azufre nativo y fuentes sulfurosas con grandes desprendimientos de gases inflamables, á la manera que ocurre en los volcanes de lodo que con frecuencia se observan en toda la región. Con estos antecedentes á la vista decidimos estudiar la naturaleza geológica de la provincia de Cádiz bajo tan interesante aspecto.

»El mejor estudio conocido de la provincia se debe á Mac-pherson. Hecho sin fines especulativos, y sólo por su afición á la ciencia, puede asegurarse que es un compendio de sus observaciones sobre el terreno... Nosotros hemos seguido sus pasos, no como geólogos, sino como mineros, tomando notas útiles para el objeto que perseguimos. Las rocas hipogénicas aparecen en Chiclana y Conil; cruzan de SO. á NE. toda la provincia, y al hacer erupción rompieron y dislocaron los estratos geológicos. Por efecto de la gran presión y elevada temperatura con que fueron lanzadas del núcleo central, al ponerse en contacto con la corteza, formada, en la mayor parte de la región, por capas terciarias, dieron origen á los carburos metálicos que más tarde se convirtieron en hidrocarburos. A estas repetidas inmersiones, y á su influencia, se deben los grandes depósitos salitrosos, las areniscas, las margas y las calizas con hidrocarburos, el azufre, los

volcanes de lodo, las fuentes ferruginosas, y también las sulfurosas y los gases inflamables. Todas estas manifestaciones, unidas á la presencia de la ozoquerita, bien comprobada ya en Villamartín y en Rota, nos permite suponer la existencia de grandes yacimientos de petróleo en la región. Respecto á los terrenos Eoceno y Mioceno, que ocupan dos terceras partes de la provincia, y á la faja pliocena que se extiende á lo largo del litoral, de una parte entre la laguna de la Janda y la provincia de Sevilla, y de otra entre la bahía de Algeciras y la provincia de Málaga, nuestra opinión es que constituyen admirables formaciones de petróleo y esto justificaría cualquier sacrificio que se hiciera con objeto de fijar su importancia.»

Respecto á los trabajos de exploración llevados á cabo en Villamartín, se expresa el Sr. Sanz del siguiente modo: «El 6 de Marzo de 1907 se formó la «Villamartín Petroleum C.º», y el día 7 comenzaron los trabajos, consistentes en un pozo rectangular que se emboquilló á 90 metros de distancia del punto donde aparecieron las primeras señales de ozoquerita. Esta substancia fué hallada al profundizar el canal de desagüe de una fábrica de harinas de los señores Ríos Hermanos, de Villamartín. Después de haber atravesado la capa de tierra vegetal y de acarreo, compuesta de arenas y gravas, se penetró, á los 6,50 metros, en unas margas azules donde se encontraron los primeros litros de petróleo. Se continuó la profundización hasta los 16 metros, pudiéndose comprobar que todos los escombros extraídos estaban impregnados de petróleo. Cortó además, el pozo, importantes concreciones de ozoquerita, pero hubo necesidad de parar el trabajo porque los obreros no podían soportar la atmósfera producida por los gases que se desprendían.

»Al SO. de este pozo, y á una distancia de 65 metros, fué instalada una sonda, que comenzó la perforación con un diámetro de 70 milímetros. A los 5 metros se entró en las margas saturadas de petróleo, permaneciendo constante el terreno hasta los 45. A los 50 metros se presentó una capa de agua que fué convenientemente aislada, y la sonda penetró entonces en una capa de arcilla azul oscura. Después siguió una capa de yeso de poco espesor, otra de caliza, y, con estratos alternados de estas

substancias, se llegó á 65 metros, donde apareció una capa de arena fina piritosa y empezó el desprendimiento de gases. Al llegar á los 70 metros se hizo tan intenso este desprendimiento, que hubo necesidad de alejar la caldera de vapor y taponar los tubos, que fueron desviados por la gran presión de los gases. Se instaló entonces un colector con objeto de hacerlos salir horizontalmente durante el trabajo, pero, al tratar de reanudar éste, los gases lanzaron la columna de agua y petróleo á más de 15 metros de altura, y las erupciones de arena petrolífera se repitieron con tanta frecuencia y con tanta intensidad, que se obstruyó completamente la tubería y fué necesario extraerla para limpiarla y poder continuar el trabajo. En este sondeo se han encontrado tres zonas de petróleo: la primera de 74 á 88 metros, la segunda á 98, y la tercera á 110. Todas ellas han sido aisladas con la tubería, que llega á los 121 metros. El tercer trabajo de exploración, consistente también en un sondeo, se efectuó á 200 metros al E. 18° N. del pozo. Se hizo con una sonda de rotación movida á brazo. Se atravesó una zona idéntica á la cortada con el sondeo anterior, con los mismos éxitos, y se paró á los 70 metros. Por consiguiente, hemos llevado á cabo tres trabajos de exploración: en dos tenemos petróleo y en el tercero aun no hemos pasado de la región de los gases.»

Las pizarras ó esquistos bituminosos á que se refiere el señor Sanz en el comienzo de su informe, pertenecen al terreno liásico y sirven de base á la gran masa de caliza de la misma edad que forma el macizo de San Cristóbal. «El valle de Benamahoma—dice el señor Mac-pherson—es uno de los puntos en que mejor pueden observarse estos esquistos calizos; su color varía del gris claro al negro, siendo entonces bastante bituminosos y encontrándose con frecuencia restos de plantas aunque en muy mal estado de conservación.»

Esta formación de pizarras bituminosas del Lias no tiene relación ninguna con las manifestaciones de petróleo y gases combustibles que se observan en el resto de la provincia, y que, como veremos á su debido tiempo, radican sin excepción en el Trias.

Las afirmaciones que en el informe que nos ocupa se consignan

respecto á las formaciones geológicas de la región, son puramente gratuitas, sin hilación de ninguna especie, y desprovistas de interés. Es también erróneo el modo como interpreta el Sr. Sanz la composición de los terrenos atravesados con la sonda en Villamartín; pero, en cambio, cuanto dice el expresado señor acerca de los resultados obtenidos con los trabajos de exploración es rigurosamente exacto y concuerda por completo con los datos que hemos recogido sobre el terreno.

Con objeto de evitar repeticiones, nos abstenemos ahora de emitir juicio alguno acerca de la relación que guardan las manifestaciones petrolíferas que en estos informes se señalan con los terrenos en que radican, ya que esta cuestión se tratará con todo detenimiento en otro capítulo de esta Memoria.

Informes del Sr. Marshall. 1.º Zona de Villamartín.—«La ciudad de Villamartín—dice el Sr. Marshall—está situada en lo alto de una colina que domina una gran parte del valle del Guadalete... Hacia el S., se divisa la cordillera Bética cuyo levantamiento fué la causa de que los estratos, primitivamente horizontales, se plegaran en una serie de sinclinales y anticlinales. El estudio de los afloramientos de las capas en las colinas que limitan á derecha é izquierda el valle del Guadalete, demuestra que este río sigue, en gran parte de su recorrido, un anticlinal bien caracterizado. Una enérgica denudación barrió los estratos que formaban la parte superior del anticlinal y ahora ejerce su acción en las capas más profundas, que corresponden á la parte superior del terreno triásico. El plegamiento de los estratos parece ser que tuvo lugar al principio de los tiempos terciarios. Este anticlinal tiene una orientación aproximada N. 60° O., cuya dirección es paralela á la cordillera Bética, á la línea que marca la base de las colinas y á la dirección general del valle del Guadalete, que, como queda dicho, se formó por la denudación de la cresta del anticlinal.»

Acerca del descubrimiento del petróleo en la provincia de Cádiz, se expresa el Sr. Marshall, en su informe, como sigue:

«Mac-pherson describe ciertos manantiales de lodo con emanaciones de gases inflamables que encontró al hacer el estudio geológico general de la provincia, pero las primeras indicaciones

de petróleo no se descubrieron hasta el año 1894. Se observó que el aceite mineral flotaba sobre las aguas de las minas de azufre de Conil, y poco después de este descubrimiento se hizo un sondeo que produjo gas, petróleo y gran cantidad de agua salada, que hubo que abandonar á la profundidad de 180 metros por haberse roto el varillaje y haber caído el trépano al fondo.

»Este sondeo estimuló la exploración general de la comarca, comprobándose que las manifestaciones de petróleo existían en una gran parte de la cuenca del Guadalete, y observándose que estas manifestaciones estaban relacionadas con los afloramientos de una caliza porosa asociada á unas margas azuladas que recién fracturadas huelen mucho á petróleo.»

Refiriéndose después al hallazgo del petróleo en Villamartín, añade:

«Se hicieron tres sondeos á 60 metros de profundidad: uno, cerca de la ciudad de Villamartín, y otros dos, cerca del molino (Fábrica de los Sres. Ríos). En ellos sólo se descubrió gas, pero la experiencia ha demostrado después que no era posible encontrar petróleo á tan corta profundidad. El cuarto sondeo se hizo detrás del molino, en terreno más alto, y se emboquilló sobre unos crestones de caliza; alcanzó 106 metros de profundidad y cortó gas, que manaba en tal cantidad y con tal fuerza, que las herramientas fueron despedidas del pozo. Posteriormente hizo irrupción gran cantidad de agua salada con fuerte olor á petróleo. Estos resultados animaron á los investigadores y se comenzó otro sondeo distante del anterior 150 metros en dirección N. 25° E. Este se profundizó hasta los 137 y dió por resultado la perforación de los estratos que cubrían al horizonte petrolífero. Desde los 51 metros todas las capas atravesadas manaban agua salada en abundancia. El petróleo que se sacó del sondeo en mi presencia, en Febrero de 1909, estaba muy limpio y era de muy baja densidad y extremadamente inflamable. Era claro, de color pajizo y muy fluorescente. La presión era lo suficientemente grande para hacer saltar el petróleo tres pies sobre la superficie del terreno, y había fuerte y constante ebullición de gas. La producción diaria era de 25 á 150 litros durante la perforación del pozo (según manifestaciones hechas por los operarios).

La pequeña producción y escasa densidad del petróleo se deben á que el sondeo sólo ha atravesado, hasta ahora, las rocas superficiales fracturadas y no ha hecho más que entrar en los estratos que contienen el petróleo. Los rendimientos mercantiles se deben esperar á mayores profundidades.

»El sondeo número 5 está situado sobre la concesión minera «La Perla», y sobre ésta y las demás concesiones (Roumanie, San José y San Félix) hay análogas manifestaciones superficiales de petróleo, encontrándose en todas partes las mismas calizas petrolíferas. En los estratos inferiores á las calizas existen fuentes saladas y manantiales de gas.»

Los datos geológicos contenidos en el informe del Sr. Marshall son, en conjunto, bastante inexactos: el plegamiento de las capas triásicas que forman el núcleo del anticlinal del Guadalete, no es de edad terciaria, sino mucho más antiguo, y este extremo es de gran importancia en el presente caso pues lo que hay que dilucidar ante todo es si la tectónica del terreno es á propósito para la formación de yacimientos de petróleo. En cuanto á las labores realizadas, se advierte alguna discrepancia entre las que enumera el Sr. Marshall y las descritas por el Sr. Sanz. Sin embargo, como dentro de poco veremos, las noticias facilitadas por ambos señores son exactas.

2.º *Zona de Rota.*—«Esta zona—continúa el Sr. Marshall—está situada cerca de la costa, y el terreno está ligeramente ondulado. Las señales de petróleo son muy marcadas. Los manantiales de gas son frecuentes en el distrito, y en un punto distante unas cuantas yardas del manantial principal, el subsuelo, arenoso, está ennegrecido por la materia bituminosa é impregnado de petróleo. El gas combustible de varios de los manantiales huele mucho á petróleo. Este distrito es de un gran porvenir.»

En Rota, efectivamente, abundan las emanaciones gaseosas, como puede verse en la mayor parte de los pozos abiertos en las arenas de las dunas.

Termina su primer informe el Sr. Marshall con las siguientes consideraciones de carácter general:

«Los resultados obtenidos con los sondeos de Villamartín demuestran que las indicaciones naturales fueron debidamente in-

terpretadas. Los sondeos de poca profundidad pusieron de manifiesto capas de gas, y el más profundo llegó á cortar un horizonte petrolífero impregnado de un aceite volátil. Los resultados obtenidos justificarían nuevas exploraciones á mayor profundidad. Sería conveniente hacer un sondeo de gran diámetro (10 pulgadas por lo menos) hasta una profundidad mínima de 1.000 pies, con elementos necesarios para alcanzar mayores profundidades si fuera necesario. Este sondeo debería emplazarse en las cercanías del pozo de ensayo abierto junto al molino harinero. La situación es conveniente, pues está en un punto suficientemente distante de la cumbre del anticlinal.

»La cantidad de petróleo formada primitivamente en esta extensa zona debe haber sido muy considerable y no hay motivos para dudar que una gran parte esté retenida aún, pues el terreno reúne las condiciones necesarias para su conservación. Capas de esquistos impermeables se sobreponen á areniscas porosas en las cuales se ha reunido el aceite, cuya pérdida impiden las primeras.»

El informe del Sr. Marshall correspondiente á las concesiones de la «Petrolífera de Villamartín» no añade nada nuevo á lo que queda transcrito, y, por lo tanto, nos abstenemos de reproducirlo. Por el contrario, los datos que el Sr. Gillman publica en *Petroleum in Spain* son de sumo interés por los detalles que encierran.

Descripción de las labores de exploración de la Sociedad Petrolífera de Villamartín, hecha por el Sr. Gillman.—«En Septiembre de 1906, mientras se agrandaba el cauce del canal de un molino harinero situado en término de Villamartín, se encontró una caliza porosa cuyas grietas estaban rellenas de ozoquerita, que por compresión produjo un poco de petróleo claro. Este hallazgo estimuló la petición de concesiones y la formación de la Sociedad. A 91 metros al NE. del punto donde se encontró la ozoquerita, y sobre un afloramiento de caliza análoga, se perforó un pozo; á los 6,80 metros empezó la roca á gotear petróleo y se vió que sus grietas contenían también la citada ozoquerita. A la profundidad de 9,10 metros, el fondo del pozo produjo agua, petróleo y emanaciones de hidrógeno sulfurado, alternando regular-

mente la caliza con una marga gris obscura impregnada en petróleo. A los 13,72 metros el gas venenoso impidió la continuación de los trabajos. En una ocasión se halló un chorro regular de petróleo que duró dos días y produjo 80 litros. Este aceite era completamente transparente, de color de vino ó ámbar, y olía á petróleo refinado.

»Habiendo adquirido la Sociedad una sonda de mano, se hizo un sondeo, como ensayo (sondeo número 1), entre el pozo y el sitio donde tuvo lugar el primer descubrimiento. Atravesó este sondeo un terreno similar al del pozo hasta la profundidad de 32 metros, con indicaciones de petróleo; luego 14,63 metros de margas azuladas yesíferas y 12,80 metros de margas arenosas salíferas y piritosas con olor á petróleo.

»Como la sonda no servía para profundidades superiores á 60 metros, se empezó otro sondeo (el número 2) próximamente á 1.600 metros al N. NE. del número 1, en terreno más alto, que atravesó 34,75 metros de calizas y margas y 27,43 de yesos sin señales de gas ni de petróleo. Luego se trasladó la sonda á 1.097 metros al S. del número 1, y se comenzó otro sondeo (el número 3) en el valle del Guadalete. Después de atravesar 30 metros de terreno de acarreo y arcillas azuladas se notó olor á petróleo; luego siguieron 15 metros de margas amarillas y rojizas con el mismo olor y, algunas veces, con ligeras emanaciones de gas, y últimamente 13,75 metros de un terreno rojizo y yesoso sin señales de petróleo.

»Posteriormente, sobre el sondeo número 1, se instaló una sonda de rotación y se volvió á comenzar la perforación con mayor diámetro. A los 67 metros, y en las mismas margas arenosas y salíferas que ya se habían empezado á atravesar á los 47, se notó un fuerte olor á petróleo. A 74,52 metros tuvieron lugar fuertes emanaciones de gases inflamables, que aumentaban, haciéndose más violentos, á medida que se profundizaba: al principio se notó un olor característico á petróleo, que después se cambió por un marcado olor á bencina. A 84 metros, siempre en terreno margoso y salífero, apareció el petróleo líquido, sacándose dos litros: era de color de Jerez pálido con fluorescencia verdosa, mucho más movable que el antiguo aceite del pozo y olía á una

mezcla de petróleo y bencina, conteniendo de ésta más de un 10 por 100. Esto duró hasta la profundidad de 95 metros, oscilando el rendimiento de aceite, después de una noche de descanso, entre 20 y 80 litros. Después atravesó la sonda 0,90 metros de arenisca salífera seguida de 3,25 metros de arcilla, y á los 91,50 metros entró en una capa de marga arenosa y salífera con nueva erupción de gas, petróleo y agua salada. Este terreno siguió sin variación 18,30 metros, siendo la producción de aceite inferior á la del primer nivel, pero el color y los demás caracteres del petróleo eran idénticos.

»A la profundidad de 110 metros, el terreno cambió á una greda muy salífera de color gris azulado que producía mucha agua salada sin gas ni petróleo y cuyo espesor fué de 8,23 metros, y, por último, 7,32 metros de margas arcillosas un tanto petrolíferas con algo de gas. Desde este punto, 125 metros, hasta el fondo actual del sondeo, 136 metros, continúa la misma marga salífera con gas y olor á petróleo produciendo una salmuera negruzca y bituminosa.

»Mientras tanto se hizo otro sondeo (número 4) á mano, en un punto distante 160 metros del primero y al NE. de él. Se profundizó hasta los 78 metros. Este sondeo atravesó alternadamente margas amarillentas y rojizas hasta la profundidad de 44,81 metros, habiéndose notado olor á petróleo entre los 43 y 44...; á los 58 metros cortó una capa de gases con agua salada que olía á hidrógeno sulfurado. A los 78 metros no se observó ninguna nueva señal de emanaciones de gases ó petróleo.»

Estudio del Sr. Mallada.—El eminente geólogo español Don Lucas Mallada publicó en el Boletín de la comisión del Mapa geológico las notas relativas á una visita á las zonas de Arcos y Villamartín, de las que entresacamos los siguientes párrafos, que juzgamos de interés:

«El pozo á mano, abierto en las cercanías del molino de Ríos, atravesó—dice el Sr. Mallada—en sus cuatro primeros metros, las tierras y conglomerados diluviales del Guadalete; entre los cuatro y los siete siguientes, una caliza blanquecina de aspecto metamórfico; y entre los siete y los quince otra caliza cavernosa de color negruzco, envuelta en margas arenosas de color gris

azulado y en las cavidades de la cual se encontró con relativa abundancia la ozoquerita mezclada con petróleo. Evaporada á sequedad la parte fluida de esta mezcla, quedaba un residuo del aspecto del tabaco, de color claro, que ardía rápidamente al contacto de una llama. Partiendo las piedras negruzcas que se sacaron del pozo hace dos años, todavía se notan entre sus oquedades señales de dicho residuo.

»Las sospechas de que en Villamartín había un criadero de petróleo quedaron plenamente confirmadas; pero no se pudo profundizar más el pozo pues lo invadieron los gases mefíticos de un manantial de aguas sulfurosas que precisamente brota á poco más de un centenar de metros, en el molino citado.»

Hace á continuación el Sr. Mallada la descripción de los sondeos de la «Sociedad Petrolífera de Villamartín», que coincide exactamente con la del Sr. Gillman, de que ya hemos dado cuenta, y añade:

«Entre estos sondeos y Villamartín, el río Guadalete se ajusta á una falla alineada casi de NE. á SO., en virtud de la cual quedan á la izquierda del río las formaciones terciarias, y á la derecha el Triásico, en ciertos puntos cubierto por mantos cuaternarios y coronado por el Eoceno en los cerros de la Pernegosa... Continuando el examen de los terrenos de las concesiones mineras de petróleo, y siguiendo el camino de Villamartín á Montellano, hacia la mitad de distancia entre ambas poblaciones, en el cortijo del Algarrobo, entre las arcillas yesíferas sobresalen las calizas tabulares y cavernosas del Trias, que por la circunstancia de dar fuerte olor á petróleo al golpearlas, motivaron el registro «Esperanza». A cada paso cambia la dirección y buzamiento de los estratos, desgarrados en algunos sitios por pequeños asomos de ofita... Más al O., cerca del cortijo de Izquierdo, se halla la mina «San Felipe» donde hay otro asomo de ofita que desgarró las calizas cavernosas, las tabulares y las arcillas yesíferas, produciendo unas brechas de fricción en que todas las rocas están mezcladas... Examinando por la parte de Levante los registros de las minas de petróleo en los cerros de «Las Gateras», entre 400 y 800 metros al N. del Guadalete, con las arcillas yesosas se asocian unas areniscas tabulares de grano basto, rojizas y amari-

lentas que en algunos bancos encierran multitud de *Calamites* pequeños, correspondientes, probablemente, á dos ó tres especies distintas. Por más que la presencia de estos restos vegetales sea independiente de la presencia del petróleo, es una circunstancia digna de anotarse pues confirma la clasificación de triásica que debe darse á dicha formación...

»En vista de los resultados favorables obtenidos con los trabajos de investigación verificados en el pozo y en el sondeo número 1, inmediatos al Guadalete, Mr. Legrand, ingeniero de la «Société belge de forages et de prospection de mines», de Bruselas, examinó detenidamente el país y fijó un punto para establecer un sondeo en el paraje llamado «El Rubí», situado en el extremo meridional del término de Utrera, confinando con la provincia de Cádiz, junto á la carretera de «Las Cabezas de San Juan». Desde comienzos de Junio del año próximo pasado se viene abriendo un sondeo, que el día de mi visita (13 de Enero) llegó á los 486 metros de profundidad, sin salir de las arcillas arenosas, abigarradas, yesosas y salíferas del Trias, con intercalación de areniscas micáceas tabulares, en lechos muy delgados, y de margas dolomíticas. Con anhelo desea el país que con este sondeo, lleguen á obtenerse resultados satisfactorios, si bien es verdad que no es probable se encuentren capas fuertemente impregnadas de petróleo hasta llegar á las areniscas del Triásico inferior, que, como es sabido, son mucho más permeables que las arcillas abigarradas yesíferas de la edad superior. No es posible calcular aproximadamente á qué profundidad se hallarán tales areniscas, en el supuesto de que realmente existan en la vertical del sondeo, y dado caso también de que no se tropiece con alguna masa de ofita.

»Cualquiera que sea el resultado del sondeo de «El Rubí», los trabajos de investigación efectuados en Villamartín deben continuarse, sea por otros sondeos ó por medio de labores subterráneas, así como también investigarse con la sonda otros puntos del término de Jerez, donde se notan señales de acciones hipogénicas que pueden estar relacionadas con criaderos de azufre ó de petróleo...

»Pero formaciones también recientes y de la época actual, de

naturaleza volcánica, se ven todavía más claras en las inmediaciones de los cortijos «Jara» y «Jarilla». Entre 100 y 200 metros al S. de estos últimos, entre el fango negruzco del arroyo que llaman «Salado de Jara», brotan incesantemente burbujas de hidrógeno carburado, precisamente junto á los cauces de aquél, donde asoma, entre el Terciario, un islote triásico, que contiene algunos yesos aunque escasos, y en su mayor parte compuesto de varios bancos de caliza de estructura tabular, formando una faja compacta y homogénea hasta de cuatro metros de grueso... Más al N., al contacto con los yesos, la caliza se hace cavernosa y es más dolomítica, notándose que en la salina de Jarilla, á unos 500 metros de los citados cortijos, se acomodan en su alineación bajo un ángulo de unos 50°, pues se alinean al NNO. con 55° de inclinación al OSO., es decir, con buzamiento opuesto al que se ve en las orillas del Salado. Esta observación es de algún interés porque en la pequeña depresión, de unos 200 metros de diámetro, en que se halla la salina, son todavía más vivas las manifestaciones de volcanismo, mostrándose en unas grietas profundas y estrechas, rellenas de fango carbonoso, entre el que brotan sin cesar burbujas de hidrógeno carbonado que arden como todo gas inflamable al contacto de una llama. Pude comprobar repetidas veces este fenómeno, principalmente al encender una burbuja que no tendría menos de cuatro centímetros cúbicos, producida al agitar con un palo dicho fango negruzco.

»Pudiera suceder que un sondeo abierto en el fondo de esta salina señalase también la presencia del petróleo, y con tal sospecha hace poco tiempo se registró el terreno para la mina titulada «Xerez».

»Por las relaciones de común origen que pudieran tener los yacimientos de petróleo con el criadero de azufre que se viene explotando desde hace más de medio siglo en Arcos de la Frontera no creo desprovistos de interés algunos datos que acabo de recoger sobre el terreno. A tres kilómetros á Poniente de la población, sobre la derecha del Salado, junto á la carretera de Jerez, se halla este criadero de azufre de caracteres muy distintos de los otros de la misma substancia que yacen en el terciario de Libros, Hellín, Lorca y otras localidades. Más abajo del puente

de dicha carretera toca el río un tajo de calizas y arcillas yesíferas triásicas, dobladas en un anticlinal de vértice muy agudo con las capas de la rama occidental casi verticales, sobre las que yacen unas margas grises cenicientas que corresponden al Neocomiense, y así lo acreditan los ammonites piritosos y los belemnites que contienen, si bien algo escasos. La mina de azufre, titulada «Nuestro Señor del Perdón», se halla en una depresión contigua al Salado, en la que se fué abriendo una hoya de 100 metros de largo por unos 40 de anchura media, con profundidades que llegan hasta 8 metros en su centro. Aparte de dos galerías insignificantes, hoy hundidas, el mineral de azufre es explotado con tajos á cielo abierto, desmontando previamente un lecho ó montera de tierra vegetal de 30 á 60 centímetros de grueso.

»Con objeto de reconocer la importancia del criadero, en estos dos últimos años se abrieron 29 sondeos, continuándose ahora los trabajos de investigación con otro aparato, á fin de alcanzar mayores profundidades, pues el más hondo de aquéllos, situado en el centro de la hoya, sólo penetra 65 metros. De este sondeo, que se halla entubado, brota un manantial de agua muy salada, que arroja de 8 á 10 litros por minuto, y de la cual constantemente se desprenden burbujas de hidrógeno sulfurado, que por su descomposición produce escamas blanquecinas de azufre, las cuales, reunidas en el fondo, dejan costras delgadas de mineral, viéndose claramente el modo de formación de este criadero. Ambas substancias proceden de las arcillas del Trias, pues por esta parte tienen poco espesor las margas neocomienses, y las fisuras que se abrieron en éstas en todos sentidos se rellenaron de azufre, que aparece al cabo de tiempo con sus caracteres propios en costras cristalinas y con una riqueza que varía entre el 6 y el 40 por 100... La continuidad de las emanaciones sulfurosas hasta la fecha ha motivado la impregnación de azufre hasta las tierras de formación reciente y entre las cuales se han encontrado bellotas y tallos de vid y de otras especies vivientes impregnadas de dicha substancia.»

Inútil es decir que cuantas observaciones hace el Sr. Mallada acerca de la geología de las zonas por él visitadas son exactísimas. Además, ha sido el primer geólogo que en la provincia de

Cádiz ha demostrado, con el hallazgo de fósiles característicos, la edad triásica de las capas que otros consideraron como producto del metamorfismo de terrenos más recientes.

La caliza blanca de aspecto metamórfico á que se refiere el Sr. Mallada al hacer la descripción del pozo abierto á mano junto al molino de Ríos, y que se encuentra también en unos cerros situados más al N., corresponde al Flysch numulítico, esto es, al piso superior de los tres en que puede dividirse el Eoceno en la provincia.

La presencia de algunas de las capas posteriores al Triásico en las inmediaciones de las fuentes saladas ó sulfurosas, emanaciones de petróleo, ó depósitos de azufre es un hecho comprobado y más adelante explicaremos la causa de esta asociación.

El sondeo del «Rubí», después de la visita del Sr. Mallada, llegó hasta 600 metros de profundidad sin obtenerse resultado satisfactorio y sin que se cortaran las areniscas de la base del Trias, pudiéndose suponer, con grandes probabilidades de acierto, que dichas areniscas faltan por completo, tanto en esa parte de la provincia de Sevilla, como en toda la parte de la de Cádiz á que hace referencia el presente estudio. Además, en el punto preciso del citado sondeo hay un gran asomo de ofita que acaso pasara inadvertido para quien fijó el emplazamiento del trabajo por lo muy alterado que se encuentra en la superficie.

Respecto al origen de las emanaciones, tanto sulfurosas como de gases combustibles, ó de petróleo en la región, no estamos de acuerdo con la teoría sustentada por el Sr. Mallada, ya que, a nuestro entender, no tienen la menor relación con la energía volcánica. En el capítulo 3.º de esta Memoria tratamos extensamente este extremo, de capital importancia en el estudio de los yacimientos de petróleo.

Informe del Sr. Velázquez.—El ingeniero de minas Sr. Velázquez, que también estudió geológicamente la zona de Villamartín con objeto de informar acerca de los criaderos de petróleo, se expresa en los siguientes términos: «La dirección de las capas miocenas es muy difícil de establecer, aun reduciendo esta dirección media á zonas muy pequeñas, porque los estratos de esta edad, lo mismo que los eocenos, sobre los cuales descansan, estu-

vieron sometidos á grandes presiones, plegándose en todos sentidos á causa de la acción epigénica que tan enérgica fué en esta parte de la península. Que los sedimentos miocenos descansan sobre los eocenos se ve de manifiesto en los desmontes de la carretera de Jerez á Ronda, situados entre Arcos de la Frontera y Bornos, en los cuales, debajo de las calizas miocenas, se observan las margas blancas y yesíferas del Eoceno...

»Los terrenos en que radica la mina «Felisa» corresponden al Eoceno; las rocas dominantes son calizas, arenas, arcillas, yesos y sobre todo margas, que en algunos sitios se presentan abigarradas y del mismo aspecto que las triásicas. La acción epigénica producida por el levantamiento de las ofitas, determinó ese aspecto particular de las rocas terciarias del SO. de España, que las asemejan extraordinariamente á las del Keuper ó piso superior de la formación triásica. El mismo levantamiento ofítico, produjo, por efecto de las presiones á que sometió los estratos del terreno sedimentario, el gran plegamiento de sus capas y las diferentes direcciones que se observan en afloramientos muy próximos. Esta irregularidad constituye el verdadero carácter estratigráfico de la región. En las márgenes del Guadalete se observan yesos grises con olor á petróleo en la fractura fresca... También se observan afloramientos de arenisca gris micácea con algo de olor á mineral.»

El Sr. Velázquez, como se ve, clasifica las capas del Keuper como terciarias metamórficas y, debido á esto, dice, entre otras cosas, que la dirección de las capas miocenas es muy difícil de establecer aun reduciendo esa dirección á zonas muy pequeñas, siendo así que las capas de esta edad pueden seguirse sin variar de orientación durante kilómetros enteros, tanto en Villamartín como en Arcos. Además, en los desmontes de la carretera de Jerez á Ronda, en el trayecto de Arcos á Bornos, no asoman á la superficie las margas blancas del Eoceno que, por otra parte, nunca son yesíferas. En la carretera de Ronda, y antes de llegar á Villamartín, dichas capas sólo afloran en el kilómetro 28,500, es decir, en el trayecto comprendido entre Jerez y Arcos.

Informe de Mr. Petit acerca de la zona petrolífera de Arcos. El ingeniero de minas polaco, Mr. Petit, jefe de una refinería

de petróleos en Targowizka (Cracovia) y autor de la obra «*Guide du sondeur au pétrole.—Géologie appliquée*» ha visitado varias veces las zonas petrolíferas de Sevilla y Cádiz, y aunque sus estudios se refieren de preferencia á la de Lebrija (Sevilla), también ha emitido los siguientes informes sobre las zonas de Arcos, Conil y Rota:

«En Arcos — dice Mr. Petit, refiriéndose á los terrenos situados al O. de la carretera á Medina, entre sus kilómetros 5 y 7— las capas del Mioceno, formadas de arcillas rojas muy cargadas de agujas de yeso, afloran á la superficie y forman un anticlinal. La dirección de las capas es N. S. La situación del anticlinal no puede fijarse con toda exactitud porque los terrenos en la superficie han resbalado sobre el flanco de la colina y se han amontonado sufriendo alguna deformación. Además, los aluviones cubren los terrenos que interesan... Por la composición de las capas, Arcos presenta grandísimo interés, pues precisamente debajo de capas análogas se encuentran en Galitzia cantidades enormes de petróleo... Es indispensable perforar, sobre una perpendicular á la dirección de las capas, cierto número de pozos, hasta alcanzar las capas *in situ*, con los cuales se podrá reconocer la pendiente de las mismas, su naturaleza y su régimen. Estos pozos deberán situarse á una distancia mínima de 500 metros unos de otros, y si en dos pozos se encuentran las capas con pendiente contraria, será necesario perforar entre ellos otros más próximos con objeto de poder determinar exactamente el anticlinal...

»Las manifestaciones de gases y petróleo encontradas en el pequeño sondeo llevado á cabo son una prueba evidente de que deben encontrarse en profundidad yacimientos de petróleo, porque no puede haber manifestaciones petrolíferas en la superficie si no existen debajo yacimientos de los cuales procedan aquellas.»

Los terrenos á que se refiere este informe no son miocenos, como afirma el Sr. Petit, sino triásicos, y en ninguna parte de la zona por él visitada se encuentran anticlinales propiamente dichos. Las capas cambian á cada paso de dirección y buzamiento como ocurre siempre en las manchas triásicas, y, por lo tanto,

los pozos que el Sr. Petit aconseja abrir no aportarían ningún dato útil.

Informe de Mr. Petit sobre Conil y Vejer.—«En Conil, el Eoceno aflora en medio de las capas del Plioceno y forma un anticlinal perfectamente caracterizado. Su dirección es NE. SO. El anticlinal, formado por las capas del Eoceno, está encajado en las del Oligoceno inferior, que aparece en las inmediaciones del anticlinal. En las capas de areniscas tiernas, que alternan con otras de margas abigarradas del Eoceno y que forman la rama SO. del anticlinal, se encuentran gases hidrocarburoados.

»Partiendo estas areniscas se nota el olor característico del petróleo y si se las tritura dentro del agua aparece en la superficie de ésta una capa irisada de petróleo.

»La formación es esencialmente petrolífera y es de esperar que si se perfora un pozo sobre el anticlinal, se encuentren, á una profundidad de 200 á 300 metros, capas ricas en petróleo. Esta esperanza se funda en la existencia de un anticlinal de capas del Eoceno, en cuya formación se encuentra petróleo en gran cantidad en todos los países petrolíferos, y en la presencia de capas que afloran á la superficie con *facies* verdaderamente petrolífera...

»El Plioceno y el Diluvium cubren con sus capas horizontales grandes extensiones, mientras que los terrenos que presentan interés, desde el punto de vista de la investigación del petróleo, forman pliegues cuya dirección se aproxima á la N. S. La prueba de esto se encuentra entre el Puerto de Santa María y Rota, donde las capas horizontales del Plioceno cubren las del Eoceno, completamente verticales é independientes en su régimen de aquéllas.»

En Conil se encuentran, es cierto, los terrenos Eoceno y Oligoceno, pero no superpuestos, pues sobre el Trias del valle del Salado (Trias que es el que clasifica de Eoceno el Sr. Petit) descansan: en la margen derecha, el Oligoceno y sobre éste el Helvético; y en la izquierda, y por orden ascendente, el Eoceno superior, el Burdigaliense y el Helvético. En las inmediaciones del pueblo es donde aparece el Eoceno bajo el Mioceno, pero falta el Oligoceno. Bastan estas indicaciones para comprender que

la estructura geológica de la zona de Conil es bastante más complicada de lo que supone el Sr. Petit. Entre Rota y el Puerto de Santa María, en el acantilado de la costa, asoman efectivamente las capas eocenas, levantadas hasta la vertical, bajo las arenas pliocenas, horizontales.

Todos los informes hasta aquí revisados se refieren exclusivamente á las zonas petrolíferas de Villamartín, Arcos, Conil y Rota, correspondientes á la provincia de Cádiz; vamos ahora á tratar de la de Lebrija, en la provincia de Sevilla, cuya geología ha sido también objeto de estudio por parte de ingenieros especialistas, y donde se han llevado á cabo algunos trabajos de exploración en estos últimos años.

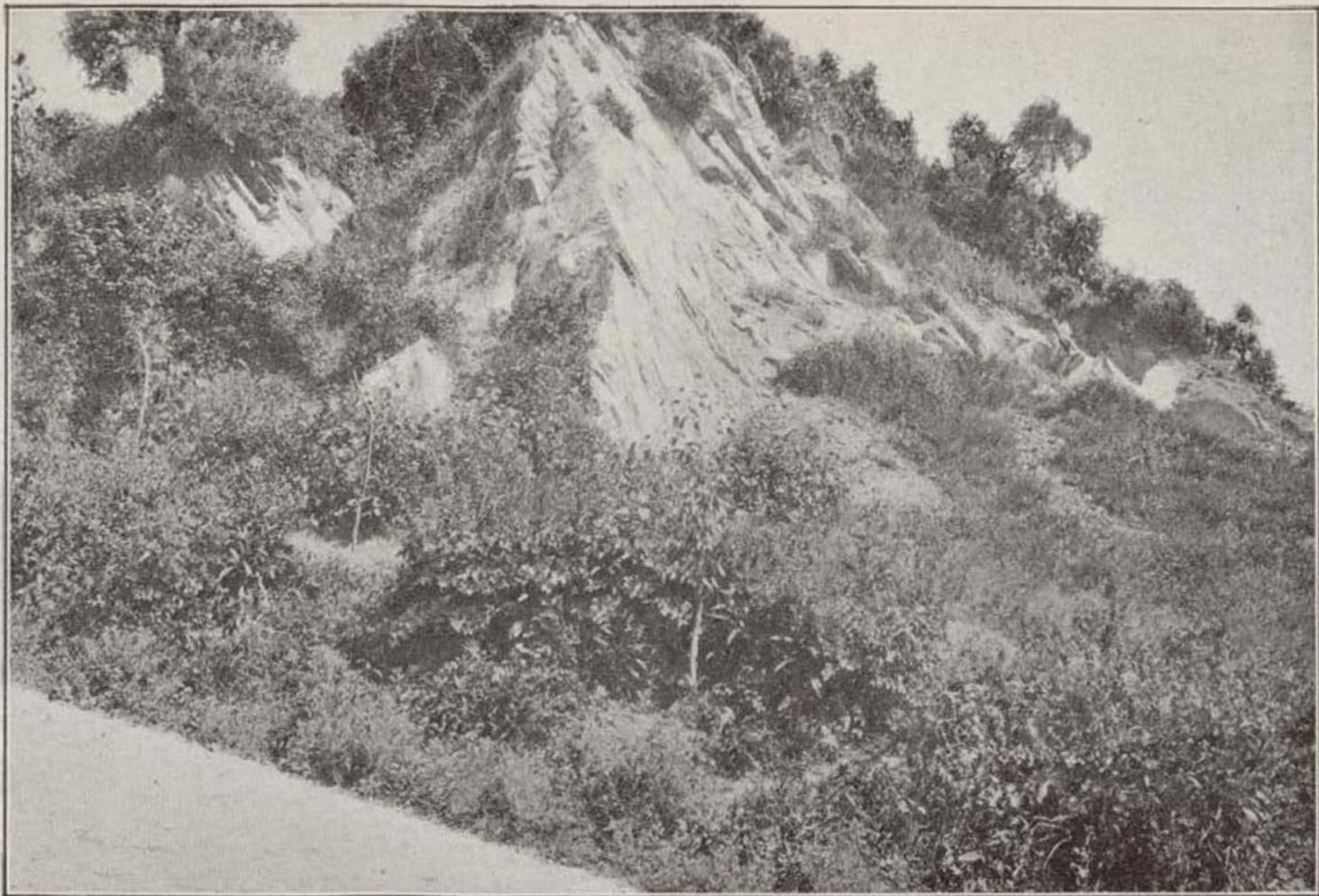
Informe de D. Lucas Mallada.—«En 10 de Enero próximo pasado visité los parajes donde se habían comenzado algunos trabajos de exploración, fijándome en los sitios en los cuales los gases emergen con más abundancia. Uno de ellos es un pozo de ocho metros de profundidad inundado por las aguas, entre las que brotan las burbujas; el otro es el agujero entubado de una sonda de diez centímetros de diámetro que profundizó hasta catorce metros y cuyo examen nos causó verdadera sorpresa.

»Aplicado el oído al orificio de salida, se percibía claramente el ruido de un líquido en ebullición, como si lo produjese el hervor de agua de una caldera de grandes dimensiones: en los gases que salían al exterior se notaba un olor parecido al del gas del alumbrado pero mucho más tenue, y aplicándoles una cerilla encendida, ardían indefinidamente con una llama de color amarillento rojizo, que ocupaba la mayor parte del agujero de la sonda, y no se extinguía hasta cortar con un trapo mojado su comunicación con la atmósfera.

»El pozo y el agujero de la sonda atraviesan las arcillas gris azuladas ó ligeramente verdosas del Plioceno inferior ó edad Plasenciense, que ocupa varios centenares de kilómetros cuadrados en las provincias de Sevilla y Cádiz. Las arenas y areniscas amarillentas del tramo medio del mismo sistema, ó sea del Astiense, fueron intensamente derrubias de las marismas y arrastradas hasta el mar por las grandes crecidas del Guadalquivir, quedando todavía restos de ellas en las lomas sobre que



I.—ALGAR. Capas de la arenisca con *Equisetum* del Keuper.

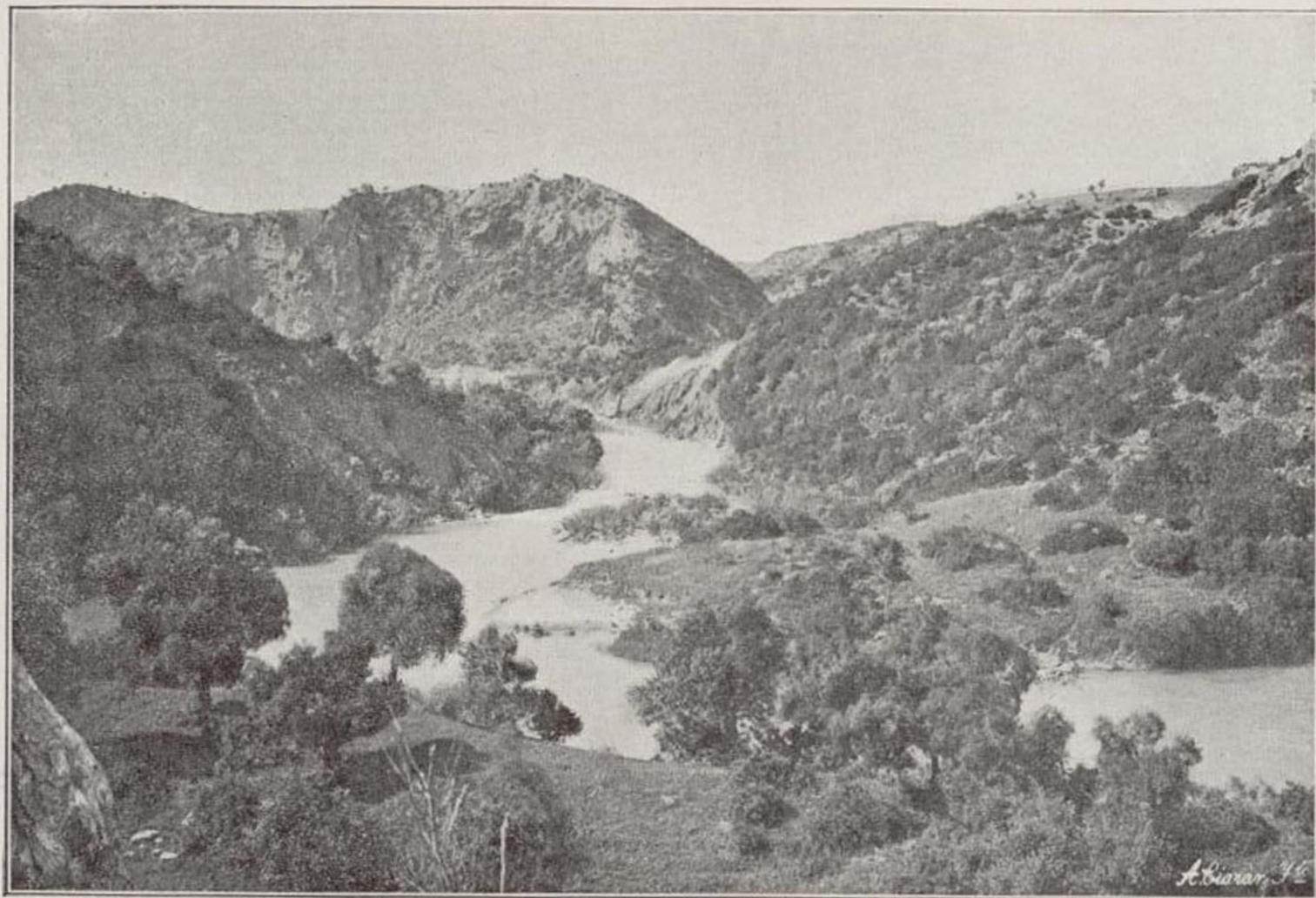


I.—ALGAR. Capas de la arenisca con *Equisetum* del Keuper.





II.—ALGAR. Banco vertical de caliza magnesiana del Keuper.



II bis.—ALGAR. Masa de yesos y arcillas abigarradas del Keuper. Río Guadalecín, cerca de Tempul.



está edificada Lebrija y en otras que más al NO. de la población limitan las planicies.

»Ni por los terrenos de que se componen las marismas, ni por los que las limitan en varios kilómetros á la redonda, se puede adivinar de qué rocas y por qué suerte de reacciones tales gases se originan; ni tampoco se comprende que haya criaderos explotables donde tan indispensables sean los trabajos de la sonda, como en estas marismas, sea para averiguar si encubren yacimientos de petróleo, ó para saber de dónde vienen y cuál es la importancia de los gases. Hace falta, en primer lugar, averiguar la profundidad y extensión de la zona en la cual se originan los gases, y las rocas que los producen ó los encierran, que probablemente no serán las arcillas pliocenas, debajo de las cuales seguramente habrá margas, calizas y areniscas miocenas, á su vez sobrepuestas á las arcillas yesíferas y salíferas del Trias que en las dos provincias de Cádiz y Sevilla, lo mismo que en otras varias de España, suelen estar asociadas ó acribilladas por las ofitas. La interposición del Eoceno entre el Trias y el Mioceno es algo probable; pero no tanto, aunque no imposible, la de las rocas del Jurásico superior y del Neocomiense que asoman en ambas provincias á mayores distancias.»

Tanto por el estudio general de la comarca, como por los trabajos de sonda llevados á cabo con posterioridad á la visita del Sr. Mallada, puede darse como cierto que los terrenos que forman el subsuelo de las marismas, son: en primer término, los aluviones y lodos cuaternarios depositados por el Guadalquivir en su estuario, que en ciertos puntos tienen espesor muy considerable, y de los cuales los últimos, se parecen bastante á las arcillas grises del Plioceno inferior ó Plasenciense. Debajo del Cuaternario, y según el paraje que se considere, se encuentran el Oligoceno, el Eoceno ó el Trias.

Informe de Mr. Lewes.—En Agosto de 1910, el profesor de Química del Almirantazgo inglés, Mr. Lewes, visitó las concesiones mineras de la Sociedad petrolífera de «Pampanco», en Lebrija, y emitió el siguiente juicio: «He podido comprobar que en una gran parte de la concesión brota, por los orificios y grietas del terreno, gas natural con más del 80 por 100 de metano. En

un sondeo de 14 metros de profundidad se oye el escape del gas á través del agua salada y se le puede ver arder en un orificio de 3 á 4 pulgadas, de donde brota á razón de 594 litros por hora.

»La presencia del gas natural en las circunstancias que concurren en Lebrija, unida á las inequívocas señales de petróleo que aparecen en el distrito, indican claramente la existencia de yacimientos de petróleo bajo las concesiones. Será, sin embargo, necesario hacer un sondeo para averiguar la profundidad á que se hallan y la cantidad que aproximadamente se podría obtener.

»Si se encuentra un yacimiento abundante, una tubería de 5 kilómetros bastaría para transportar el petróleo al Guadalquivir, desde donde fácilmente podría expedirse á los puertos de Europa...»

Como se ve, este informe sólo contiene la impresión personal de su autor, sin que resulte autorizada por el necesario estudio científico.

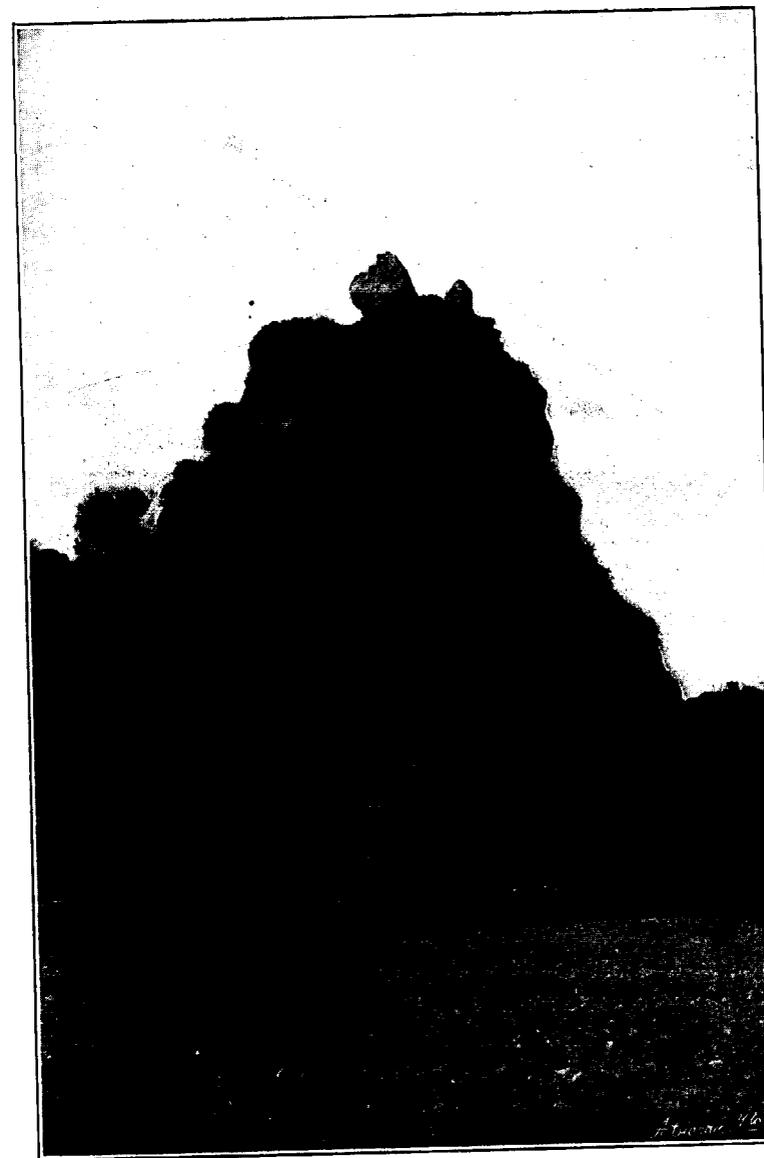
Primer informe de Mr. Victor Petit.—Este ingeniero visitó las concesiones de la Sociedad «Pambanco» en Febrero de 1911, y resultado de sus investigaciones en el terreno es el estudio siguiente:

«Un anticlinal perfectamente caracterizado atraviesa la concesión, y las capas que lo forman pertenecen al Trias. En toda la concesión, pero especialmente en las vertientes del anticlinal, se desprenden abundantes gases hidrocarburoados, esencialmente petrolíferos, de los aluviones que cubren la formación de donde proceden.

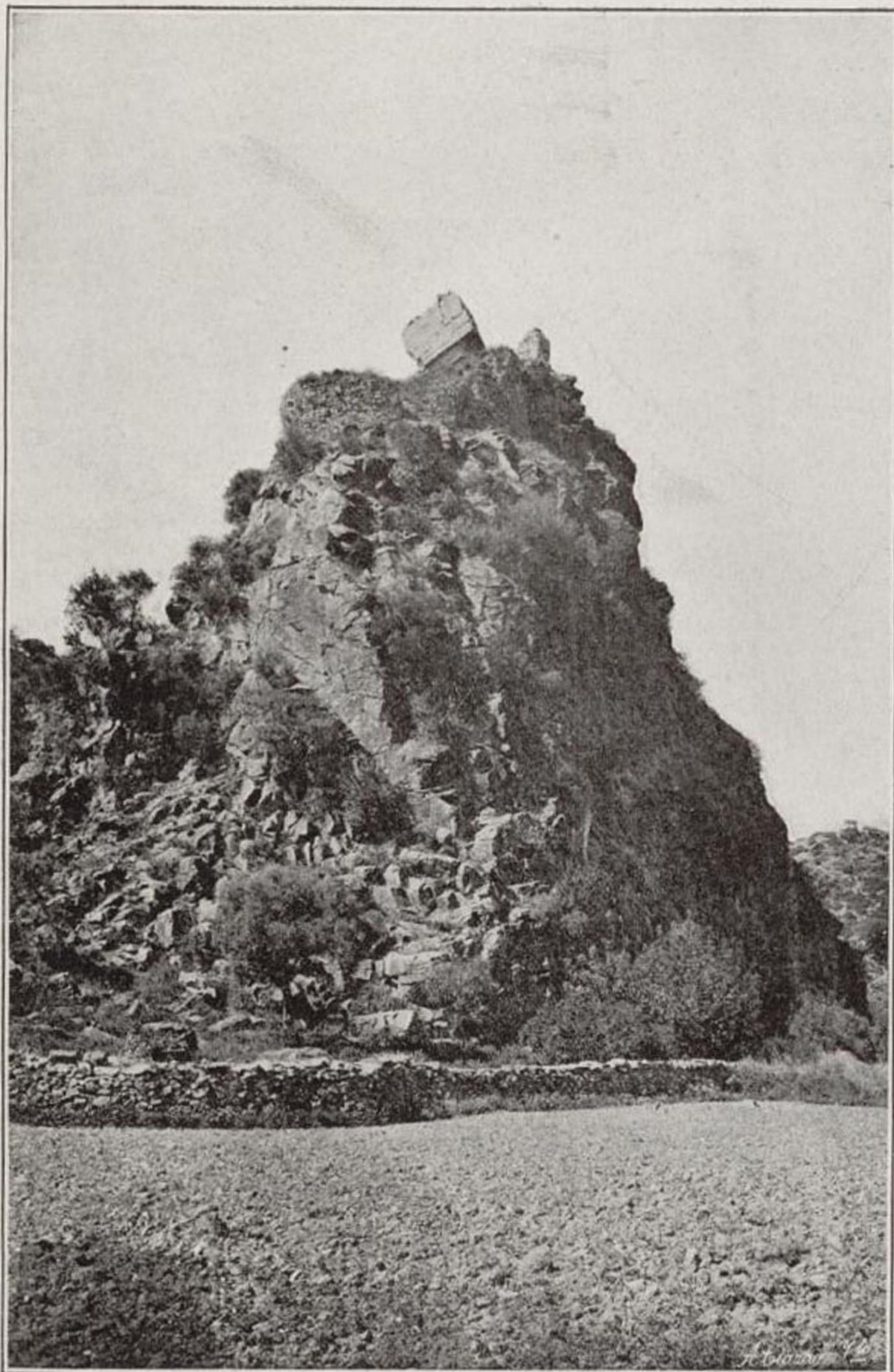
»Varios sondeos abiertos á mano hasta una profundidad de 20 ó 30 metros producen gran cantidad de dichos gases que arden con una llama muy hermosa comparable á la del gas del alumbrado. En un pozo también poco profundo se ve á los gases borbotear en el agua, y en otros puntos se desprenden de orificios naturales entre el limo que cubre la superficie del terreno.

»Estas manifestaciones petrolíferas de la superficie recuerdan los volcanes de lodo con emanaciones de petróleo de Java y del Cáucaso, donde se encuentran en profundidad grandes cantidades de petróleo.

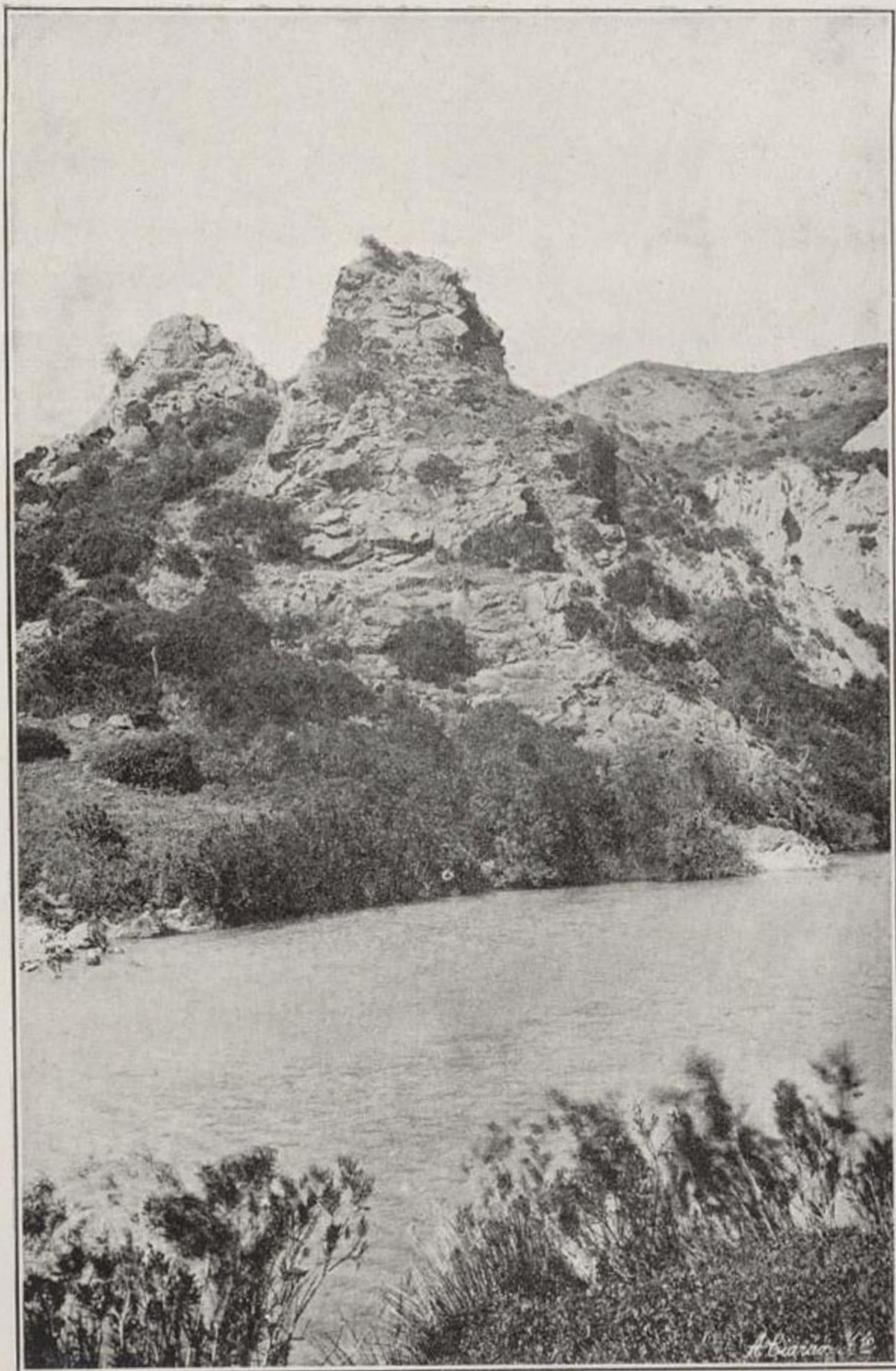
»Evidentemente existe en Lebrija una formación petrolífera



III.—JEREZ. Castillo de Tempul. Chimenea ofítica.



III.—JEREZ. Castillo de Tempul. Chimenea ofítica.



IV.—ALGAR. Asomos de ofita en la margen derecha del Guadalquivir.

y está indicado hacer investigaciones profundas en el anticlinal, donde se encontrará el petróleo origen de los gases superficiales y donde se debe haber concentrado por emigración.

» En Lebrija, como en toda Andalucía, el Plioceno y el Diluvial cubren con fuertes espesores las capas interesantes, que sólo afloran en algunos puntos.

» Para las investigaciones de petróleo, en Lebrija, no se deben tener en cuenta las capas del Plioceno, que en todas partes se presentan horizontales descansando sobre las más antiguas...

» En el sitio donde se encuentra colocada la sonda convendría hacer un pozo, tan profundo como fuera posible, hasta alcanzar las capas inferiores al Plioceno para apreciar la pendiente de estas capas y saber con seguridad si la sonda se encuentra precisamente sobre la cumbre del anticlinal que debe pasar por este sitio ó al menos muy cerca.

» En un radio de más de un kilómetro alrededor del pozo no se ven más que aluviones que ocultan totalmente las capas inferiores; por esta razón es imposible decir si el sondeo está colocado exactamente sobre el anticlinal ó se aparta un poco de él...»

A continuación hace Mr. Petit algunas indicaciones sobre el aprovechamiento de los gases y sobre la marcha que debe seguirse en los trabajos.

Después de haber recorrido detenidamente todo el término de Lebrija, podemos asegurar que no existe allí ningún anticlinal triásico cuya prolongación pueda suponerse que pase por tal ó cual punto de las marismas. Por otra parte, el que se presenten emanaciones de gases naturales no es indicio que lleve á deducir la existencia de un anticlinal próximo, puesto que dichos gases, antes de brotar en la superficie, pueden haber recorrido grandes trayectos subterráneos siguiendo las capas de aluviones permeables.

Segundo informe de Mr. Petit.—En Noviembre de 1912 emitió Mr. Petit otro informe acerca de las mismas concesiones de «Pambanco», que contiene consideraciones interesantes sobre el origen de los gases de las marismas, y algunas observaciones relativas al sondeo que por entonces se llevaba á cabo 1 kilómetro al NO, de la estación de Lebrija.



V.—ARCOS. Capas de caliza jurásica cortadas por el Guadalquivir en la Angostura del Pantano.



«Por algunos pedazos de roca, desprendidos en las paredes del sondeo y extraídos con la cuchara de limpieza, he comprobado que dicho sondeo atraviesa el Lias inferior en capas verticales. La investigación del petróleo en terrenos verticales no tiene ninguna razón de ser, porque se trabajaría indefinidamente en las mismas capas sin alcanzar ningún resultado. Esta es una razón primordial para no continuar los trabajos de investigación en este punto... Hubiera sido inútil obtener antes testigos del sondeo, porque los aluviones tenían 140 metros de espesor y, por lo tanto, sólo se han atravesado unos 20 metros de terrenos estratificados...

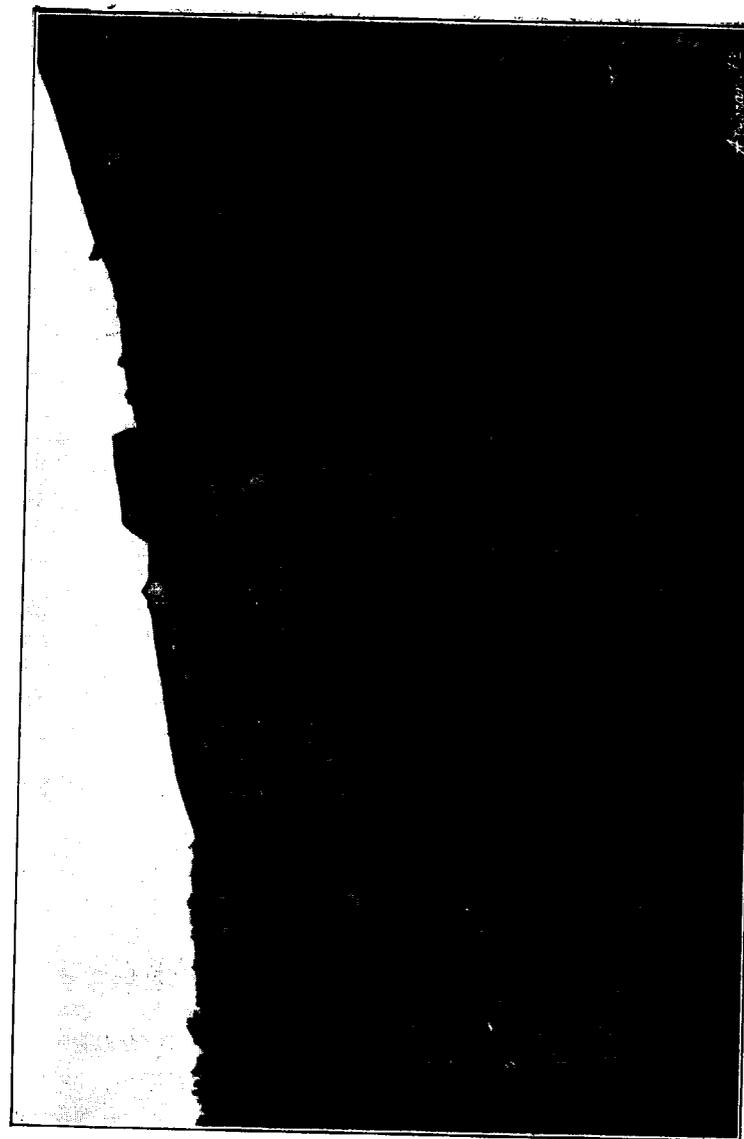
»... Al observar restos de moluscos entre los escombros extraídos del pozo abierto junto a la fuente de gas natural (Fuente de Pambanco), he pensado que procedía examinar la causa productora de los gases que brotan en la superficie. La cantidad enorme de conchas acumuladas en los aluviones indica que éstos han contenido grandes masas de materia orgánica que se han descompuesto bajo las aguas en el seno de los léngamos que el río arrastraba constantemente hacia el mar. Esta descomposición de materias orgánicas en un agua salada, al abrigo del aire, ha podido dar lugar a la formación de los gases hidrocarburos que se escapan insensiblemente de los aluviones desde tiempo inmemorial.

»Esta descomposición de materias orgánicas, que ha tenido lugar bajo un espesor poco considerable de terrenos, y, por lo tanto, bajo una pequeña presión, podría haber producido, ya que no hidrocarburos líquidos ó petróleo, los hidrocarburos gaseosos que hoy se encuentran en la masa de los aluviones.

»Podría, por lo tanto, deducirse que los gases encontrados no provienen de depósitos de petróleo existentes en profundidad, sino de los aluviones.

»Estos gases tienen la misma composición que los gases de petróleo y podrían tener el mismo origen que los hidrocarburos líquidos, esto es, la descomposición de materias orgánicas, pero, en este caso, en el seno de los aluviones.

»Un hecho importante que quita todo su valor a la teoría que acabamos de exponer es que en Villamartín, en los sondeos eje-



V.-ARCOS. Capas de caliza jurásica cortadas por el Guadalquivir en la Angostura del Pantano.



cutados, se ha encontrado petróleo en profundidad. Los yacimientos de petróleo están acompañados de gases libres que pasando á través de los aluviones acaban por brotar en la superficie. Este es un fenómeno que se presenta en muchas regiones petrolíferas del globo...

»Si hasta ahora no se han podido encontrar los yacimientos de petróleo que deben existir ocultos en el subsuelo de Andalucía, es debido á que los sondeos estaban mal situados, y á que resulta imposible determinar los anticlinales donde se ha acumulado el petróleo porque los ocultan potentes masas de aluviones...»

Los pedazos de roca que Mr. Petit supone pertenecientes á capas verticales del Lias inferior corresponden, sin duda alguna, al Flysch eoceno, que es el terreno que en el sitio donde se hizo aquel sondeo, se encuentra debajo de los aluviones. En cuanto á la disposición de las capas, aun cuando nada cabe decir en concreto, es muy posible que las del Eoceno, en dicho punto, se encuentren efectivamente en posición vertical, pues este terreno se halla muy plegado y los pliegues están muy próximos entre sí y bastante comprimidos.

Los restos de moluscos que contienen los aluviones del Guadalquivir, como demostraremos al tratar de estos depósitos en el capítulo siguiente, no es fácil que sean la causa directa de los gases que se desprenden en las marismas, pues las conchas parecen haberse acumulado en los puntos en que hoy aparecen, desprovistas ya del animal y sin poder, por tanto, dar origen á fermentaciones de ningún género.

La Compañía petrolífera de Pambanco, además del sondeo á que se refiere en sus informes Mr. Petit, ha abierto treinta y tantos sondeos de escasa profundidad para la investigación de los gases naturales; en su mayoría han encontrado gas en mayor ó menor cantidad y ninguno ha atravesado la capa de aluviones del Guadalquivir.

A las labores de exploración llevadas á cabo por empresas particulares, á que hacen referencia los informes citados, sólo hay que añadir un sondeo de 500 ó 600 metros de profundidad abierto al S. de Jerez, en las salinillas del cortijo de Santo Domingo, que no dió resultado satisfactorio y otro practicado en



V bis.—JEREZ. Capas de caliza jurásica. Angostura del Pantano del Guadalecacin.

Villamartín, al S. del molino de Ríos, en la orilla derecha del Guadalete, por la Sociedad petrolífera de Pambanco, que alcanzó unos 70 metros de profundidad sin llegar á cortar el petróleo.

Con esto queda hecha la exposición de todo lo escrito acerca de las formaciones geológicas que parecen hallarse en relación más ó menos directa con las manifestaciones de gases combustibles y petróleo en las provincias de Sevilla y Cádiz, y quedan también consignadas distintas opiniones acerca de la importancia de dichas manifestaciones y su dependencia con los criaderos de petróleo. Todo ello viene á corroborar lo que dijimos al comenzar este trabajo: que en la mayor parte de los casos se habían clasificado erróneamente los terrenos y que quedaba sin aclarar todo lo referente á punto de importancia tan capital como es el estudio de la tectónica en conjunto.

El fijar la edad de las capas de donde proceden los gases combustibles y el petróleo; el llegar á la determinación de la de las formaciones superiores que por su permeabilidad ó textura fisurada pueden haber servido de receptáculo á dicha substancia, y la de aquellas que por su naturaleza impermeable hayan contribuído, en su caso, á la conservación; el estudio de los parajes donde los movimientos orogénicos han alcanzado el máximo de intensidad, comprimiendo las capas, plegándolas violentamente y produciendo grandes fracturas, hechos todos favorables á las emigraciones y acumulaciones del petróleo; el cálculo del espesor de las diversas formaciones, y los efectos de la denudación en distintas épocas, son cuestiones de la más alta transcendencia, que sólo un detenido estudio geológico de la región puede aclarar. Precisamente por haber prescindido de tales estudios persiste la incertidumbre, aun después de las exploraciones efectuadas, en todo lo relativo á la explotabilidad de los criaderos en cuestión. Y es que con unos cuantos sondeos abiertos al azar no es posible llegar á la solución del problema.

Si no se conoce, ni aproximadamente, el espesor de la formación que se trata de perforar, ni los caracteres de la que se supone que contiene el petróleo, ¿cómo podrá asegurarse, si el resultado del sondeo es negativo, que el terreno es estéril? Siempre se podrá suponer que el fracaso se debe á no haber llegado



V bis.—JEREZ. Capas de caliza jurásica. Angostura del Pantano del Guadalcaçin.

la sonda á las capas productivas, cualquiera que sea la profundidad alcanzada.

Por el contrario, si de antemano se fija, por medio de una detenida investigación geológica, la edad de las capas productoras del petróleo y los puntos más á propósito para que éste se haya podido acumular, así como el régimen y espesor de las capas que cubren la formación petrolífera, los sondeos que en consecuencia se practiquen, den ó no resultado satisfactorio, aportarán datos precisos respecto á la existencia ó falta absoluta de depósitos de petróleo en profundidad, y, una vez desarrollado el plan de investigación que se estime más conveniente, podrán sentarse conclusiones definitivas.

De acuerdo con esta manera de ver, hemos comenzado por formar planos geológicos lo más exactos posible de las regiones consideradas como petrolíferas, y al efecto nos han servido de base los soberbios planos topográficos trazados por el Instituto Geográfico y Estadístico en escala 1 : 25.000, con curvas de nivel de 10 en 10 metros, y de los cuales son reducciones los dos mapas que acompañan á este trabajo. En el estudio estratigráfico hemos establecido no sólo las divisiones á que conducen las diferencias de fauna, sino también las subdivisiones necesarias en relación con la composición litológica y las diferencias de *facies*: por lo que se refiere á la tectónica, hemos procurado poner de manifiesto los distintos movimientos orogénicos de la región y su influencia en las distintas formaciones consideradas aisladamente y en conjunto.

El resumen de este estudio constituirá el capítulo siguiente, segundo de esta Memoria. En el tercero trataremos del origen de las manifestaciones petrolíferas en las zonas reconocidas, de su importancia y de sus relaciones mutuas y con los yacimientos de petróleo; en un cuarto capítulo se hará el estudio detallado de la composición del subsuelo de cada una de las zonas, consideradas aisladamente; y, por último, haremos la descripción de varios cortes trazados en las direcciones más adecuadas para poner de manifiesto la relación de unos terrenos con otros.

CAPÍTULO SEGUNDO

GEOLOGÍA DE LA COMARCA DONDE RADICAN LAS ZONAS PETROLÍFERAS

A.—Resumen orográfico y tectónico.

Los diversos puntos enumerados en el capítulo anterior, donde se ha señalado la presencia del petróleo, gases combustibles, fuentes saladas y depósitos de azufre, substancias todas íntimamente relacionadas en su origen como veremos en el curso de este trabajo, están enclavados en las colinas que desde las vertientes occidentales de la Serranía de Ronda se extienden hasta las márgenes del Guadalquivir y la costa atlántica; á esta región se concretará, pues, nuestro estudio. Pero como en las descripciones de esta índole no es posible reducirse á una zona determinada, aun tratándose de relieves orográficos perfectamente definidos, porque la tectónica general de un país resulta siempre relacionada con la de las zonas inmediatas, habremos de referirnos algunas veces al núcleo montañoso cuyas últimas estribaciones son las colinas que constituyen nuestra región.

El borde de este núcleo, extremidad occidental de la Serranía de Ronda, forma una línea de altas cumbres que, orientadas de NE. á SO., están comprendidas entre el pico de San Cristóbal, á 1.652 metros de altitud, y el del Algibe, á 1.091; se inflexiona después esta línea al S. y termina bruscamente en el estrecho de Gibraltar, apareciendo como una escarpada barrera cuando se observa desde un punto cualquiera de la planicie gaditana.

La Serranía, con su complicada estructura, no presenta para nosotros tanto interés como la zona de tránsito á la región de las colinas, zona donde puede estudiarse mejor que en parte alguna la relación entre los diversos movimientos orogénicos que han

impreso á toda la comarca su relieve actual, y basta á nuestro objeto indicar tan sólo que el río de Ubrique separa en dicha Serranía una parte al N., formada por terrenos secundarios, y otra parte al S., constituida casi exclusivamente por depósitos terciarios. Entre los primeros figuran: las capas del Trias superior ó Keuper, las calizas y pizarras del Lias y las margas y calizas marmóreas del Jurásico. Entre los segundos: las calizas y arcillas numulíticas y una potentísima formación de areniscas de grano silíceo que si no pueden referirse con seguridad á horizonte geológico determinado por la carencia absoluta de fósiles, parecen corresponder, por sus relaciones estratigráficas, al Oligoceno superior: en la sierra del Algibe suman sus capas un espesor de varios centenares de metros, y tanto porque en este macizo montañoso se muestra la formación al descubierto en su totalidad, como por ser su cúspide la cumbre más alta de la Serranía formada por la roca en cuestión, cuando en lo sucesivo nos refiramos á ella la designaremos con el nombre de *arenisca del Algibe*.

Queda separada la Serranía de la región de las colinas por una depresión de origen tectónico que puede seguirse, perfectamente caracterizada, desde las cercanías de El Bosque, al pie de la sierra del Pinar, hasta las orillas del Océano, cerca de Barbate. Ocupan el fondo de esta depresión el río Majaceite ó Guadalcaén en la primera parte de un recorrido, su afluente el arroyo Garganta del Caballo y el río Barbate, desde su nacimiento en el Puerto de las Palomas hasta su desembocadura en la laguna de la Janda.

La zona dislocada por esta gran línea de fractura se caracteriza por la violencia con que han sido plegados los estratos y por las innumerables fallas que los recortan, siendo frecuente ver levantadas hasta la vertical capas que á corta distancia apenas han sufrido la menor modificación desde la época de su depósito. El acantilado á que da origen esta fractura es comparable al que bordea el Guadalquivir á lo largo de la Sierra Morena, producto también de una de las grandes fallas más características de la península.

En el borde opuesto de la depresión Majaceite-Barbate, se

levanta una serie de montes (Sierras de Santa Lucía, Pajarete, Algar, Las Cabras, etc., etc.) que todavía alcanzan altitudes de 500 á 600 metros pero que descienden por el O. en rápido declive hacia el valle del Guadalete. Estos son, por otra parte, los últimos promontorios que merecen el nombre de sierras, pues ya entre el valle del Guadalete y el del Guadalquivir el terreno se mantiene á una altitud media de 250 á 300 metros, siendo la sierra de Gíbalbín, con su cúspide á 412 metros sobre el mar, el punto culminante de la línea divisoria.

En las proximidades de Lebrija desaparecen las últimas ondulaciones del terreno; á partir de este punto, y en dirección al Guadalquivir, se extiende una dilatada llanura casi horizontal que por su escasa altitud (2 á 3 metros) se inunda fácilmente y permanece bajo el agua la mayor parte del año.

Como veremos oportunamente, hay que considerar como regiones esencialmente distintas, desde el punto de vista de la tectónica, la parte occidental del macizo de la Serranía y la región de las colinas; esto es: las dos zonas que quedan separadas por la gran depresión Majaceite-Barbate, pues mientras la primera quedó definitivamente emergida con anterioridad al depósito del Mioceno, la segunda continuó bajo las aguas del mar hasta la época pliocena, cuyos sedimentos adquieren cerca de la costa actual gran desarrollo. Entre la región de colinas y las llanuras del Guadalquivir ó *marismas* no cabe, por el contrario, en este concepto, establecer diferencia alguna, y sólo los resultados de la denudación es lo que realmente marca la divisoria entre ambas zonas. Las marismas limitan el terreno ocupado en otro tiempo por el estuario del río, y á su labor, en los distintos períodos de actividad, se debe su excavación primero, y su relleno después.

En estas dos últimas regiones, de las que hemos de tratar muy detenidamente, se pueden distinguir los siguientes elementos tectónicos, independientes entre sí:

I.—Las capas del Trias superior ó Keuper que, fuertemente plegadas, forman la base ó *substratum* general de toda la comarca, sin otra solución de continuidad que los asomos ofíticos que con frecuencia lo atraviesan.

II.—Multitud de isleos de rocas jurásicas y eocenas, en general bastante dislocadas.

III.—Extensas manchas del Oligoceno y del Mioceno cuyas capas, suavemente onduladas, cubren indistintamente las formaciones anteriores; y

IV.—Depósitos pliocenos, pleistocenos y modernos acantonados principalmente en la zona costera, en los valles y en las mesetas de escasa altitud.

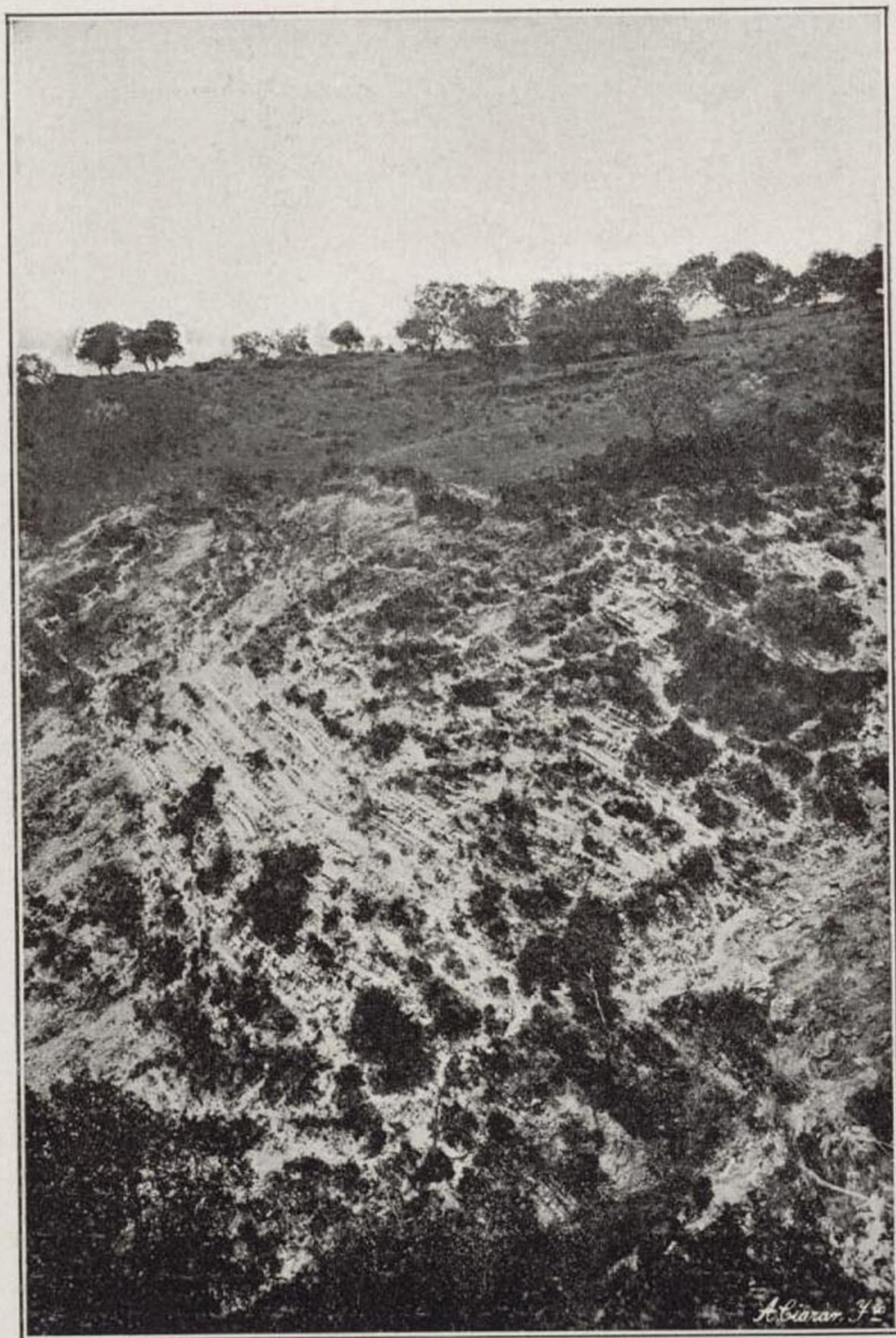
Cada uno de estos elementos se diferencia de los restantes por su topografía característica. El *Triásico* forma colinas de poca altura separadas por arroyos que se entrecruzan en todas direcciones y que afluyen á veces á desagües interiores, que se manifiestan por la presencia de lagunas saladas. La gran cantidad de sales que impregna sus estratos hace impropia para el cultivo la tierra vegetal procedente de su desagregación, y la impermeabilidad del terreno aumenta el escurrimiento superficial de las aguas, contribuyendo eficazmente á que dicha tierra vegetal sea arrastrada á los arroyos. Da origen, pues, en conjunto, á un terreno de escaso relieve, muy quebrado y totalmente inculto.

Los isleos del *Jurásico* y del *Eoceno*, por la mayor dureza de las rocas que los integran, sobresalen entre los terrenos más modernos á la manera de arrecifes, dando lugar á montes agrestes y elevados.

Los terrenos *Oligoceno* y *Mioceno*, que en nuestra región rara vez se presentan muy dislocados, forman lomas redondeadas, de escasa elevación y cubiertas por un espeso manto de tierra vegetal.

Los depósitos modernos de los grandes estuarios del Guadalete y del Guadalquivir dan lugar, como ya hemos indicado anteriormente, á inmensas planicies casi á nivel del mar, designadas con el nombre de *marismas*.

La mancha triásica que sirve de *substratum* general á la región estudiada forma parte de la gran faja que con dirección NE. á SO. cruza la Península ibérica desde la provincia de Cádiz á la de Alicante. Su depósito ha tenido lugar en una gran depresión que debió formarse á raíz de los movimientos hercinianos, toda vez que sobre las capas paleozoicas, ya plegadas á consecuencia de dichos movimientos y cortadas en falla á lo largo



VI.—ALGAR. Margas de la base del Eoceno, en el cerro de Los Galayos.

de la margen derecha del Guadalquivir, en Sierra Morena, se apoyan en discordancia las del Trias. La poca profundidad de esa depresión impidió el establecimiento de un régimen francamente marino, y, con raras excepciones, la mayoría de los sedimentos afectan la *facies* lagunar y salobre del Trias superior de la Europa central. El fin de la época triásica coincidió con un movimiento de descenso de la faja ocupada por los depósitos de esta edad; hacia la parte superior de la formación se desarrollan calizas tabulares y margas con fauna marina, y sobre ellas potentes bancadas de una caliza compacta negra que acaso corresponda al Infralías ó piso *rhético*. El fondo de la depresión ha conservado al través de las edades geológicas la movilidad característica de los grandes geosinclinales, y repetidas veces, como á continuación veremos, ha sido invadida y abandonada por las aguas del mar.

El primer plegamiento del Trias es anterior al depósito del Jurásico, cuyas capas yacen siempre en discordancia con las arcillas, areniscas y calizas del Keuper: contemporáneas de este primer plegamiento deben ser las erupciones ofíticas de la región, pues ni los diques ni las chimeneas de estas rocas cortan á los macizos de calizas del Jura á pesar de sus frecuentes asomos entre las rocas triásicas de sus inmediaciones. La salida de las ofitas como consecuencia del primer plegamiento del Trias denota la violencia del movimiento orogénico que lo produjo, acaso uno de los que más intensamente se han producido en la región estudiada. Un hecho digno de tenerse en cuenta, porque demuestra la naturaleza especial de este plegamiento, es la ausencia absoluta de asomos paleozoicos dentro de la faja triásica, ausencia que sólo puede explicarse admitiendo que esta faja se plegara con entera independencia del terreno que le servía de base; de otro modo, por considerable que fuese el espesor de las capas del Trias, la denudación habría ya puesto seguramente do manifiesto el núcleo siluriano ó devoniano de algún anticlinal del Keuper. Este supuesto resulta confirmado, además, por los frecuentes cambios de dirección y buzamiento de los estratos triásicos, debidos á una serie de pliegues muy próximos entre sí y con direcciones muy variadas, que difícilmente se hu-



VI.—ALGAR. Margas de la base del Eoceno, en el cerro de Los Galayos.

bieran formado en el caso de haber sido modelado el plegamiento por un armazón de terrenos más antiguos. Estos plegamientos independientes de terrenos en contacto, si bien no son frecuentes, no deben tampoco considerarse como casos excepcionales y son la clave de las cobijaduras y *charriages*, que tanta importancia adquieren en determinadas regiones de la tierra.

Sobre las capas del Trias, ya plegadas, se depositaron en la región objeto de nuestro estudio, sedimentos del Jurásico y del Cretáceo inferior en completa concordancia. A estos depósitos siguió la emersión total del país, pues no existen en ninguna parte vestigios de sedimentos secundarios posteriores al Neocomiense superior. Esta prolongada emersión del extremo meridional de la gran faja triásica contrasta con la inmersión; durante los mismos períodos de tiempo, de su extremo septentrional, hacia las provincias de Murcia, Alicante y Valencia, donde los depósitos aptenses adquieren gran desarrollo, y donde el Cretáceo superior, especialmente el Cenomanense, con más de 1.000 metros de espesor, da origen á la mayor parte de las cordilleras que determinan en aquellas comarcas los rasgos más salientes de la orografía. Durante este largo transcurso de tiempo desapareció, por efecto de la denudación, gran parte de los depósitos jurásicos é infracretáceos de las provincias de Cádiz y de Sevilla, que primitivamente debieron cubrir casi toda la superficie de la primera y gran parte del S. de la segunda, á juzgar por los muchos restos de una y otra formación que, aunque pequeños, se conservan regularmente repartidos.

La primera invasión marina posterior á la emersión que se ha indicado ocurrió durante la época numulítica, sin que sea posible precisar de un modo absoluto si los primeros depósitos de esta edad corresponden al Eoceno inferior ó al Eoceno medio, dada la carencia de fósiles. Lo que sí puede asegurarse, y esto es muy importante desde el punto de vista de la tectónica general de la región, es que ambos movimientos, el de emersión primero y el de inmersión después, tuvieron lugar sin que el terreno se plegara, pues, por regla general, los primeros estratos del Eoceno aparecen concordantes con el Neocomiense cuando éste le sirve de base.

Al finalizar la época numulítica se produjo el segundo plegamiento de la región, pero este plegamiento debió limitarse á la zona situada al O. de la gran depresión Majaceite-Barbate, en tanto que la parte situada al E., que es la que ocupa la Serranía, sufrió tan sólo un hundimiento en masa. Así parece deducirse, al menos, del hecho de que en la primera de las dos zonas indicadas las capas de la *arenisca del Algibe* estén en marcada discordancia con el Numulítico *ya plegado*, mientras que en la segunda la concordancia entre las calizas eocenas y las capas de dicha arenisca es casi perfecta.

Por otra parte, ninguna fractura ni dislocación de importancia parece haberse producido en dicha época á lo largo de la depresión Majaceite-Barbate, pero esta línea coincidió entonces con la orilla del mar ó lago donde se depositó la *arenisca del Algibe*, pues en tanto que al E. de dicha línea este terreno alcanza con frecuencia 500 metros de espesor, y aun á veces más, por el O. rara vez llega á 100 metros, y en la mayoría de los casos falta totalmente. Esta línea costera debieron formarla los macizos jurásicos cuyos restos se alinean entre la Sierra de Santa Lucía, al S. de Puerto Serrano, y el monte Berrueco, entre Medina Sidonia y Chiclana de la Frontera, y que limitan por el O. la gran extensión cubierta por la *arenisca del Algibe*. Por el lado opuesto de la barrera jurásica reinó durante este período de tiempo el régimen marino, depositándose entre las diversas islas formadas por las partes culminantes de los pliegues eocenos, las capas de diatomeas. Conviene advertir que tanto las capas de la *arenisca del Algibe* como las de diatomeas, al O. de la depresión Majaceite-Barbate, se apoyan indistintamente sobre el Triásico ó sobre el Numulítico, demostrando claramente que entre el plegamiento del Eoceno y estos depósitos medió un gran lapso de tiempo durante el cual fué derrubida parte de aquella formación. El primer plegamiento del Eoceno quedó encauzado por los restos ya indicados de la formación jurásica y por otra serie de retazos jurásicos y neocomienses que se extienden desde la Atalaya de los Alguaciles hasta la laguna de la Isleta y que en la Sierra de Gibalbín forman la base de los depósitos numulíticos.

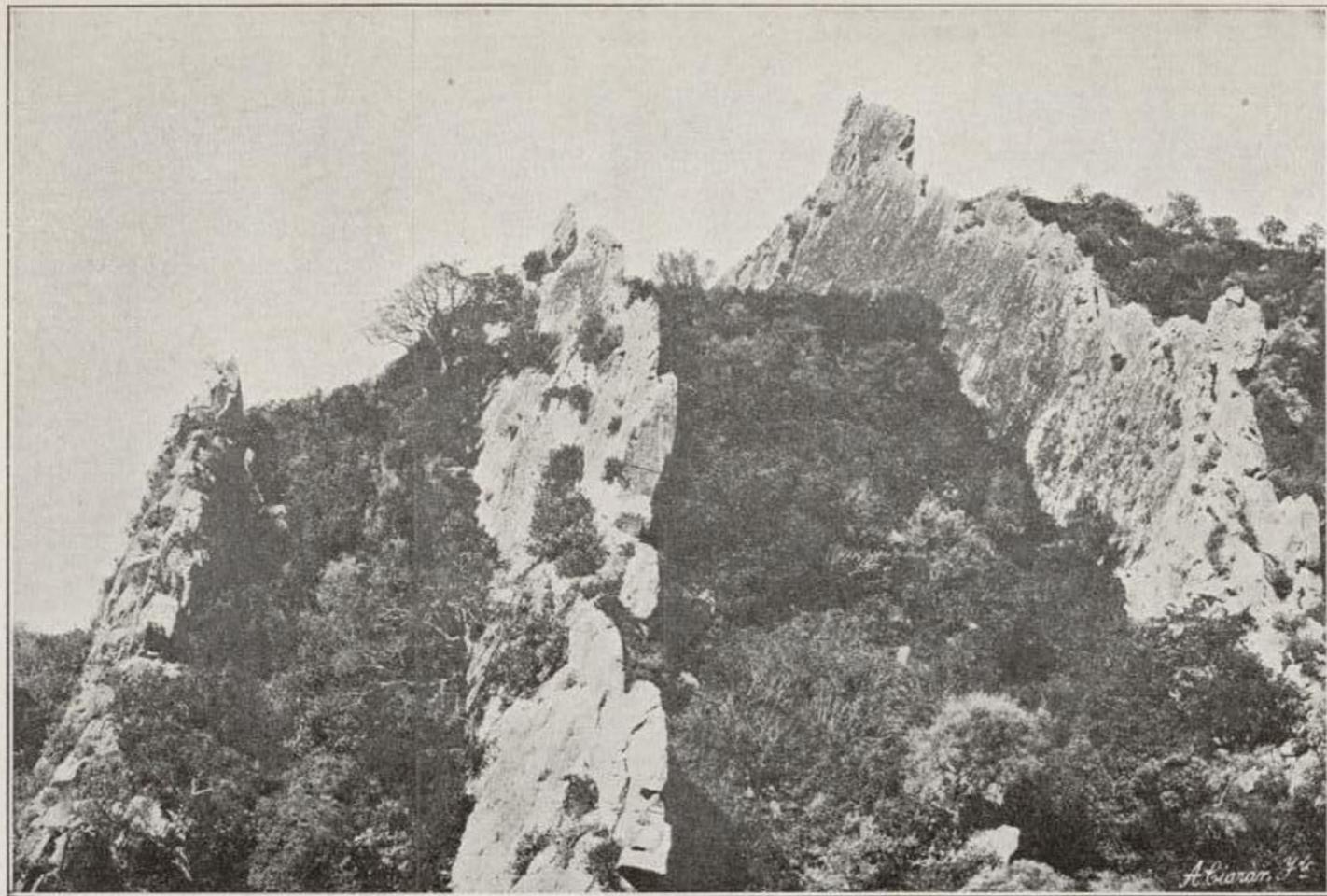
En los cerros de Algar y en otros puntos de los términos de

Villamartín y Lebrija, las capas eocenas aparecen levantadas hasta la vertical por consecuencia del esfuerzo combinado de los plegamientos ante y post-mioceno, si bien el primero fué el que mayores trastornos produjo; así se ve, por ejemplo, que en el cerro llamado Cabeza de Hortales, al S. de Prado del Rey, las capas de la arenisca del Algibe están casi horizontales, lo que demuestra que á esta zona no se extendieron los pliegues post-miocenos, y en cambio un kilómetro más al S., en los cerros de los Galayos y Arrayanosa, los estratos eocenos están casi verticales. En Arcos de la Frontera, en los cerros de Manflora, las capas de diatomeas, sincrónicas de las del Algibe, yacen ligeramente inclinadas hacia el E., en tanto que las del Eoceno infrayente están fuertemente plegadas.

El movimiento orogénico que dobló los estratos eocenos dislocó también de un modo considerable las capas triásicas, y los efectos sobre éstas han sido más marcados porque la falta de uniformidad de los depósitos jurásicos dió lugar á que las distintas zonas de la región presentasen condiciones de resistencia muy diversas, impidiendo la formación de pliegues en unas, acusándolos más violentamente en otras, y ocasionando, en definitiva, excesiva compresión y desgarramiento en las capas.

Al terminar el depósito de la arenisca del Algibe se produjo la gran fractura Majaceite-Barbate acompañada del hundimiento de su borde O., que quedó bajo las aguas del mar mioceno, en tanto que en la región E., la falta absoluta de depósitos de esa edad demuestra su emersión definitiva.

Los sedimentos miocenos más antiguos (arcillas y arcillas arenosas) se han depositado en un mar de poco fondo y en concordancia casi completa con las capas del Oligoceno (*arenisca del Algibe*, capas de diatomeas). A los depósitos arcillosos siguen otros arenosos esencialmente costeros, y termina la serie con grandes bancadas de caliza tosca arenácea en cuya estratificación se acusa manifiestamente la acción del viento, resultando, en su conjunto, una formación de dunas. Sigue á la sedimentación de la caliza tosca el último plegamiento de la región estudiada, enérgico en unos puntos (Espera, Villamartín), apenas perceptible en otros (Lebrija, Arcos). En los parajes donde los



VII.—ALGAR. Bancos de la «Arenisca del Algibe». Dehesa de la Atalaya.

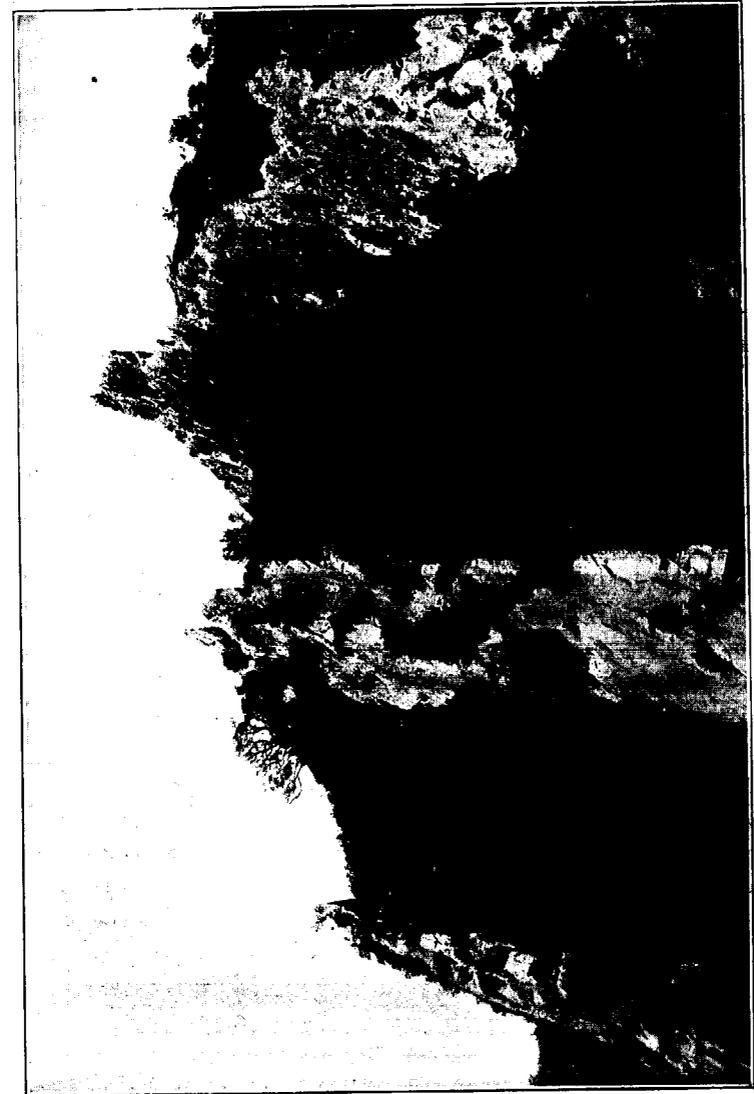


depositos miocenos se formaron con tan poco espesor que la denudación los ha hecho desaparecer totalmente, y, sobre todo, en los casos en que se apoyan directamente sobre el Trias ó sobre el Numulítico de facies arcillosa, es frecuente encontrar las capas de diatomeas muy plegadas y con señales manifiestas de fallas, resbalamientos, etc. Estos trastornos locales (Rota, Jerez) obedecen á la poca resistencia opuesta al plegamiento por las zonas en que predominaban los materiales plásticos, relativamente á la de aquéllas que en cierto modo quedaron preservadas por los mismos depósitos miocenos. Sincrónicos de estos pliegues son los que imprimieron á la Serranía de Ronda su relieve definitivo, pues los movimientos posteriores fueron de tan escasa importancia que poco ó nada pueden haberlo alterado.

El *substratum* triásico ha sido sometido con estos últimos plegamientos al máximo de compresión, y, por ello, los núcleos triásicos de los pliegues, no pudiendo amoldarse á su envolvente, han perforado á veces los terrenos terciarios de la bóveda laminando las capas á la salida y poniéndose en contacto directo con el Mioceno: así se han formado los *anticlinales de núcleo perforante* de Espera y Villamartín.

Las capas posteriores á la caliza tosca se han depositado en los sinclinales del último plegamiento, y, en líneas generales, han conservado la posición horizontal. Los sedimentos de esta segunda época del Neogeno indican sucesivamente: primero, un régimen de aguas tranquilas y de poco fondo (arcillas plásticas); luego, otro de playa (arenas); y, por fin, un régimen lacustre (calizas de agua dulce), que pone de manifiesto la emersión total del país (1). Sólo la faja costera ha permanecido indiscutiblemente bajo el mar en la época pliocena, y la naturaleza arenosa de sus depósitos indica la poca importancia de la transgresión marina, que termina definitivamente con el período Astiense.

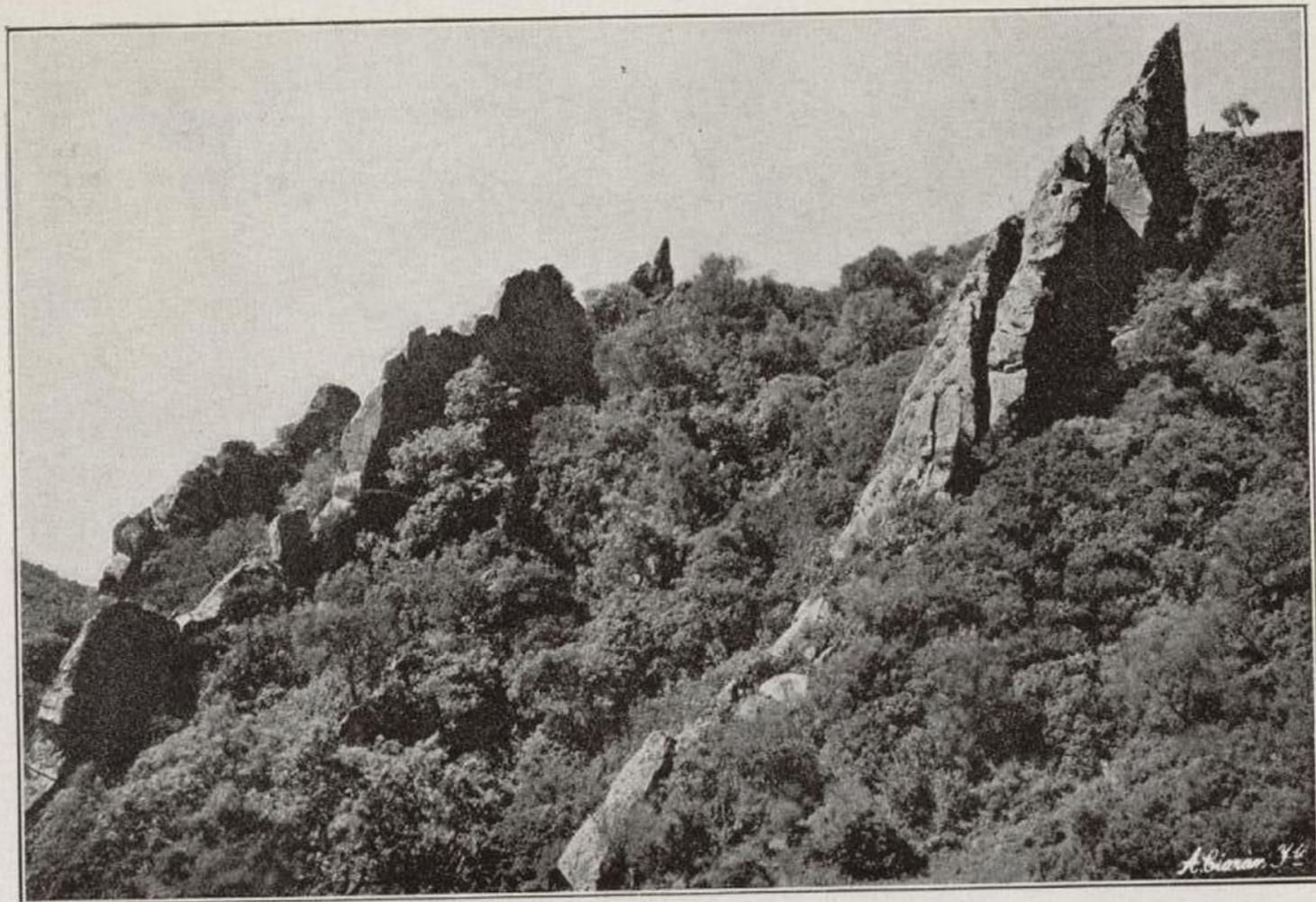
(1) Las calizas de agua dulce y parte de las arenas del tramo inmediatamente inferior acaso correspondan al Plioceno superior. Sólo de un modo provisional, y por tratarse de una cuestión secundaria, dado el objeto del presente trabajo, proponemos esta clasificación, que rectificaremos ó ratificaremos después de un estudio detenido de la fauna fósil, en trabajos sucesivos acerca de la geología de Cádiz.



VII.—ALGAR. Bancos de la «Arenisca del Algiber». Dehesa de la Atalaya.



Tales son las vicisitudes por que ha atravesado la región de colinas que bordea á la Serranía de Ronda en las provincias de Sevilla y Cádiz, y que le han impreso los rasgos más salientes de su relieve. Después de la retirada del mar, sólo los ríos Guadalquivir y Guadalete han introducido en la topografía del país ciertas modificaciones que sucesivamente se van ofreciendo á nuestra vista. Durante la época pleistocena, al mismo tiempo que estos ríos barrían con sus avenidas cuantos obstáculos se oponían á su paso é iban excavando en sus desembocaduras extensos y profundos estuarios, lejos de la costa, donde el régimen torrencial empezaba á amortiguarse, depositaron grandes masas de cantos rodados, gravas y arenas. Cesaron estos depósitos con el cambio de régimen en las lluvias, y ambos ríos, después que alcanzaron su pendiente de equilibrio, fueron rellenando poco á poco sus estuarios con arenas y lodos arcillosos, únicos productos que en la época actual acarrearán hacia el mar.



VII bis.—ALGAR. Bancos de la «Arenisca del Algibe». Dehesa de la Atalaya.

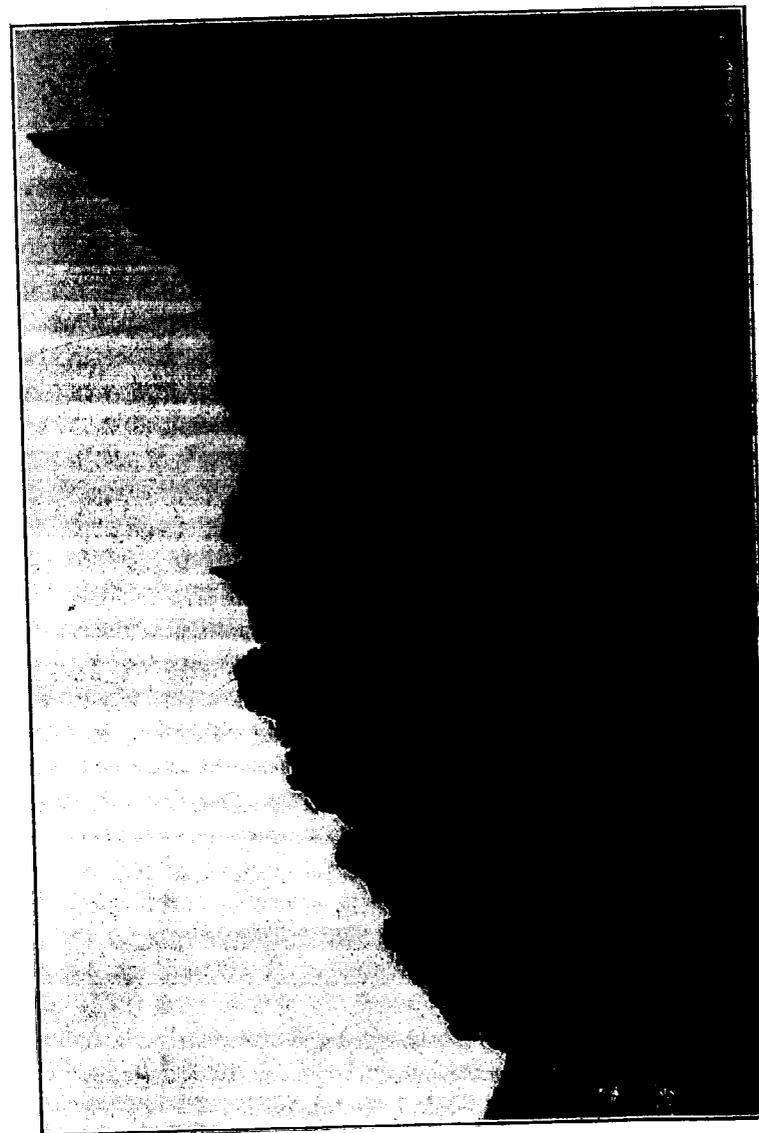


B.—Resumen estratigráfico.

SERIE SECUNDARIA

1.º **Sistema triásico.**—Así como los distintos lugares de las provincias de Sevilla y Cádiz en donde se han observado manifestaciones petrolíferas, se hallan siempre en la región de las colinas que desde la Serranía de Ronda propiamente dicha se extiende hasta el valle del Guadalquivir, del mismo modo, las emanaciones líquidas ó gaseosas cuyas relaciones con el petróleo son más ó menos directas, tienen todas su origen, como demostraremos más adelante, en el *substratum* triásico. Este es, pues, para nosotros, el terreno más interesante de cuantos forman el subsuelo de la citada región, toda vez que de él forman parte integrante las rocas que encierran los hidrocarburos, y que en los países petrolíferos se designan con el nombre de *rocas madres del petróleo*. El estudio detenido de su composición mineralógica y estratigráfica nos ha de servir de base para la interpretación de los fenómenos que se desarrollan en su interior y que sólo conocemos directamente por sus manifestaciones exteriores.

Hace mucho tiempo que se conoce la existencia del Triásico en Andalucía y ha sido objeto de especial estudio por diversos geólogos: Cock y posteriormente Sivertop describieron los depósitos triásicos de los alrededores de Antequera. Hausmann menciona areniscas y margas yesosas en el Palo (Málaga), que refiere al tramo de la arenisca abigarrada. El Keuper fué señalado en 1854 entre Vélez-Málaga y Alhama por Scharenberg. De Verneuil y Colomb, que estudiaron también el Trias andaluz, han hecho notar la gran analogía de estos depósitos con sus sincrónicos de las comarcas septentrionales de Europa. A Barrois y Offret se debe una descripción de la mancha triásica que sirve de base á las montañas subbéticas, y el Sr. Mallada, por último, ha descrito algunos asomos triásicos de la provincia de Cádiz con el hallazgo de algunos fósiles típicos del tramo superior ó Keuper.



VII bis.—ALGAR. Bancos de la «Arenisca del Algiber». Dehesa de la Atalaya.

Sin embargo, no todos los geólogos que han estudiado la región han estado acordes en la clasificación de este terreno: los Sres. Mac-pherson, Calderón y Cala, que se han ocupado especialmente en su estudio, lo han considerado como un producto de metamorfismo de terrenos más modernos, y ha tenido tantos adeptos esta teoría y ha estado durante tanto tiempo en boga que á pesar de que los fósiles ya encontrados en sus estratos constituyen una prueba paleontológica *irrefutable* de su verdadera edad triásica, no queremos dejar de examinar las razones en que dichos geólogos fundaron sus conclusiones para indicar las causas del error y poder sentar de modo irrecusable que cuantas manifestaciones relacionadas con yacimientos de petróleo se presentan en Cádiz, proceden de las capas del Keuper y en modo alguno de rocas terciarias metamórficas.

El Sr. Mac-pherson, en sus excursiones por la provincia de Cádiz, no llegó á encontrar ningún fósil característico del Keuper en los estratos triásicos, y esto, unido á la tectónica especial de la región, le indujo á suponer que los terrenos yesosos de la provincia eran el resultado de un epigenismo de terrenos secundarios y terciarios á los que las emanaciones, origen de la transformación, les comunicaban una apariencia triásica. En la Sierra de Gibalbín, en la Dehesilla de Algar (véanse nuestros cortes geológicos num. 8 y 15 en la lámina 7) y en otros lugares de la provincia de Cádiz, los retazos sinclinales de las capas cretáceas y numulíticas sólo dejan ver el Cretáceo por uno de sus flancos, en tanto que por el opuesto, el Eoceno aparece, á causa de una falla, en contacto directo con el Trias. Pues bien, en estos casos suponía el Sr. Mac-pherson que la falta de las capas cretáceas obedecía á su transformación en margas irisadas, yesos y carñiolas. Otras veces, la aparición del Trias bajo las capas desnudas de algún anticlinal del Mioceno ó el Plioceno, cuando á corta distancia, y por debajo de la misma serie de capas, asomaba el Numulítico, le hacía creer que se trataba igualmente de un metamorfismo del Eoceno, no sospechando que una denudación post-numulítica podía ser la causa real del rápido cambio que observaba en el subsuelo.

El error de clasificación del Sr. Mac-pherson reconoce, pues,

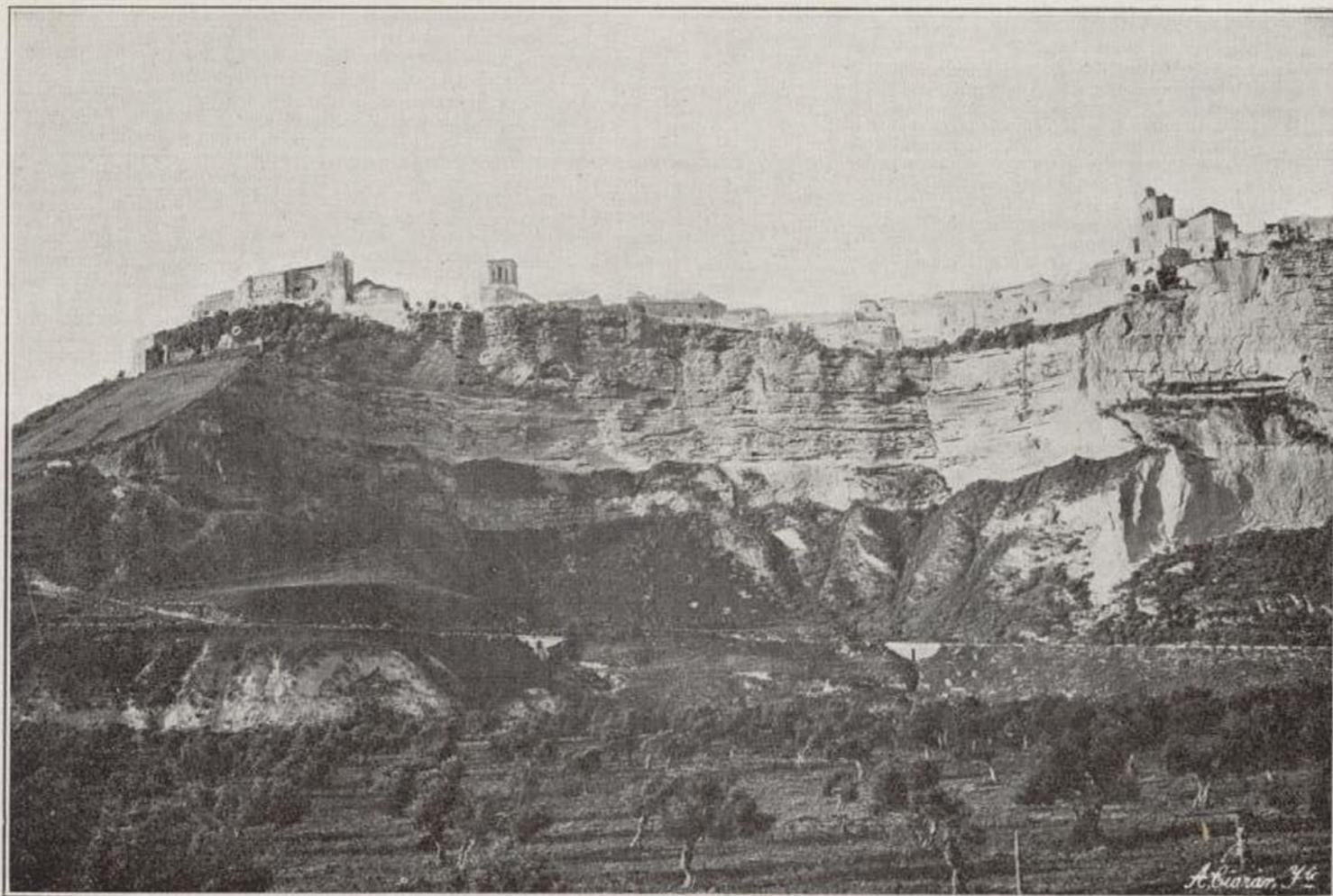
por causa la falsa interpretación de la tectónica característica del país y la falta de datos paleontológicos indispensables para resolver esta cuestión geológica; y reconociéndolo así, dice este geólogo en la página 101 de su Memoria: «Al ocuparme de los terrenos yesosos de esta provincia voy á abordar un asunto cuya dificultad é importancia no me disimulo. El interés que estos terrenos presentan es inmenso, porque si bien por sus caracteres petrológicos y la relación que en algunas ocasiones guardan con respecto á los estratos de la formación jurásica podrían inducirnos á considerarlos como equivalentes del piso superior del Trias ó Keuper, su manera de ser con relación á los demás terrenos estratificados, los restos orgánicos que aunque con dificultad se encuentran en sus estratos, y otro gran número de hechos, levantan *grandes dudas* acerca de la exactitud de ser estos depósitos realmente triásicos.»

El Sr. Calderón cree haber resuelto esas *dudas* y, á este propósito, escribe en la página 8 de su trabajo sobre «Los Volcanes fangosos de Morón»: «Este conjunto de capas—se refiere á las del terreno triásico—que ocupa una extensión inmensa en el centro de la provincia de Sevilla y en su confín con la de Cádiz, por la cual se prolonga, se reputaba triásico hasta que el hallazgo de la *moronita* nos permitió al Sr. Paul y á nosotros mismos fijar su verdadera edad eocena. Hasta ahora no se había dado con otros fósiles en este terreno, pero en nuestra última excursión, más afortunada que las anteriores, hemos recogido en lo alto de la Serrezuela de los Charcos, trozos de la caliza dominante en todo el terreno eoceno de la región, y aunque lamelar y sacaroidea conteniendo *Nummulites Murchisoni* y *atassica* muy bien conservados y otros fósiles más confusos. La edad de estas rocas queda, pues, determinada con toda seguridad y pertenece al Eoceno medio.» A nuestro modo de ver, el autor de este párrafo incurre en algunas inexactitudes y no supo apreciar bien las relaciones estratigráficas de las rocas que estudiaba. Ante todo, la *moronita*, nombre con que designa el Sr. Calderón á la arcilla de diatomeas, no es eocena, pero como además sus capas no tienen la *menor relación* con las del Trias, no existe ninguna razón para asegurar que porque la *moronita* sea de tal ó cual edad lo

sean también las capas de margas, calizas, carniolas y yesos que él incluye en el terreno epigénico. Por otra parte, la Serrezuela de los Charcos es eocena desde luego, y quien conozca algo la región no necesita detenerse á buscar fósiles para clasificar sus capas; no es extraño, por lo tanto, que el Sr. Calderón haya encontrado *Nummulites* en las calizas de la cumbre; pero tampoco por ello se puede deducir que el Trias sea Eoceno, ya que dicha sierra es uno de tantos mogotes numulíticos superpuestos al Keuper como existen al N. de la línea Villamartín-Lebrija (véase nuestro mapa, lámina 5) completamente independientes de este último terreno.

El Sr. Cala y Sánchez, en su «Geología del término de Morón», se limita, por lo que á este asunto se refiere, á seguir los pasos del Sr. Calderón sin añadir ningún nuevo argumento en defensa de su errónea teoría.

Algunos geólogos franceses han atribuido también al resultado del metamorfismo las capas triásicas de los Pirineos, aunque ya hoy está fuera de duda la verdadera edad de las mismas. A este propósito, dice Mr. Carez en una comunicación inserta en el Boletín de la Sociedad Geológica de Francia y titulada «Sobre la edad de las capas que rodean la fuente de Sals (Aude)», lo siguiente: «Una nota de Mr. Jacquot publicada en el último número del Boletín llama de nuevo la atención sobre las capas rojas que rodean la fuente de Sals, de las que ya el autor había tratado en una nota de conjunto sobre el Trias de los Pirineos. En esta comunicación, Mr. Jacquot declaraba que las capas en cuestión debían referirse al Keuper, á causa de su facies petrográfica; había reconocido, en efecto, las rocas que caracterizan generalmente al Trias superior, es decir, las margas irisadas, delgadas capas de dolomia y abundantes cristales de cuarzo bipyramidal. La falta de todo argumento paleontológico ó estratigráfico unido á la trabazón de las arcillas rojas con capas indudablemente cretáceas, en el valle del Bézu, me había inducido á unir al Cretáceo inferior las capas en cuestión; pero mis estudios posteriores en la región de Corbières me han movido á modificar mi primera manera de ver, pues he reconocido que las arcillas rojas de la Sals, de Saint-Ferrial y de Bézu pertenecen



VIII.—ARCOS. «La Peña». Tajo vertical en las calizas del Helvético.



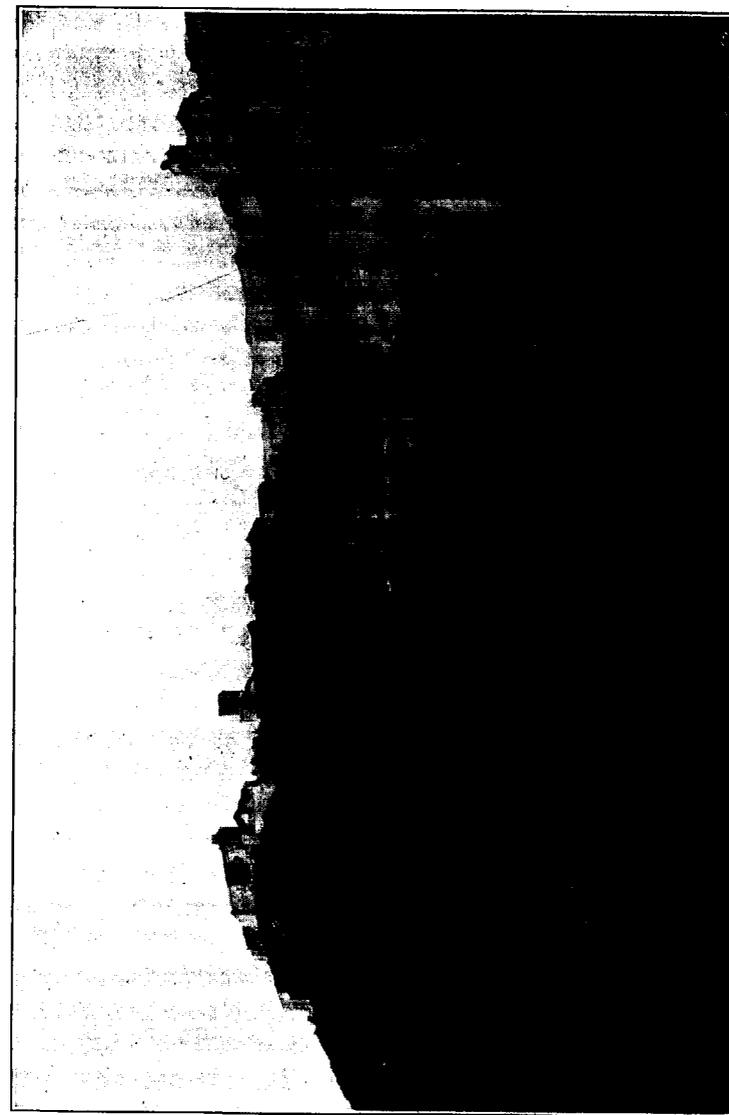
indudablemente al Trias y en modo alguno al Cretáceo inferior. He comprobado, en efecto, que adquieren hacia el E. gran desarrollo, y que á partir del camino de Soultage á Massac, empiezan á intercalarse entre las arcillas rojas y el Cretáceo capas incontestablemente jurásicas.»

Con esto creemos haber dicho lo suficiente acerca de las falsas clasificaciones de que han sido objeto las capas del Triásico y pasamos á la descripción de este terreno.

Cuatro grupos de capas pueden reconocerse en las manchas triásicas de Cádiz, á saber:

- a) Potentes bancadas de yesos grises con vetas blancas.
- b) Areniscas micáceas gris verdosas, amarillentas y rojizas, en capas de bastante espesor, que contienen abundantes restos de *Equisetum* y helechos del género *Tueniopteris*.
- c) Arcillas y margas grises con bastantes fósiles marinos de los géneros *Pecten*, *Lingula*, *Myophoria*, *Gervillia*, *Mytilus*, etcétera.
- d) Margas abigarradas en que predominan los colores rojo, morado y verde, con delgadas capas de arenisca de idéntica coloración que dan cierta consistencia al conjunto; á veces se intercalan entre ellas lechos de dolomias y carñiolas amarillentas.
- e) Calizas dolomíticas tabulares, con *Fucoides* y restos de pequeños lamelibranquios difíciles de distinguir, no ya específica sino aun genéricamente, que alternan con dolomias cavernosas de colores oscuros.

Los múltiples trastornos sufridos por las capas del Trias impiden determinar con exactitud el orden de sucesión de los diversos grupos, aunque el indicado puede considerarse como probable. Existen, además, horizontes intermedios de arcillas yesíferas, alternancias de areniscas, arcillas y yesos, y otra porción de combinaciones que introducen mayor confusión en el conjunto. Es también frecuente que el excesivo desarrollo de uno de los términos tenga lugar á expensas de los restantes, y así se explica, por ejemplo, que en las márgenes del Majaceite, entre Prado del Rey y Algar, apenas afloren más rocas triásicas que los yesos, que en los cerros donde está edificado el último de estos dos pueblos alcancen las areniscas espesor extraordina-



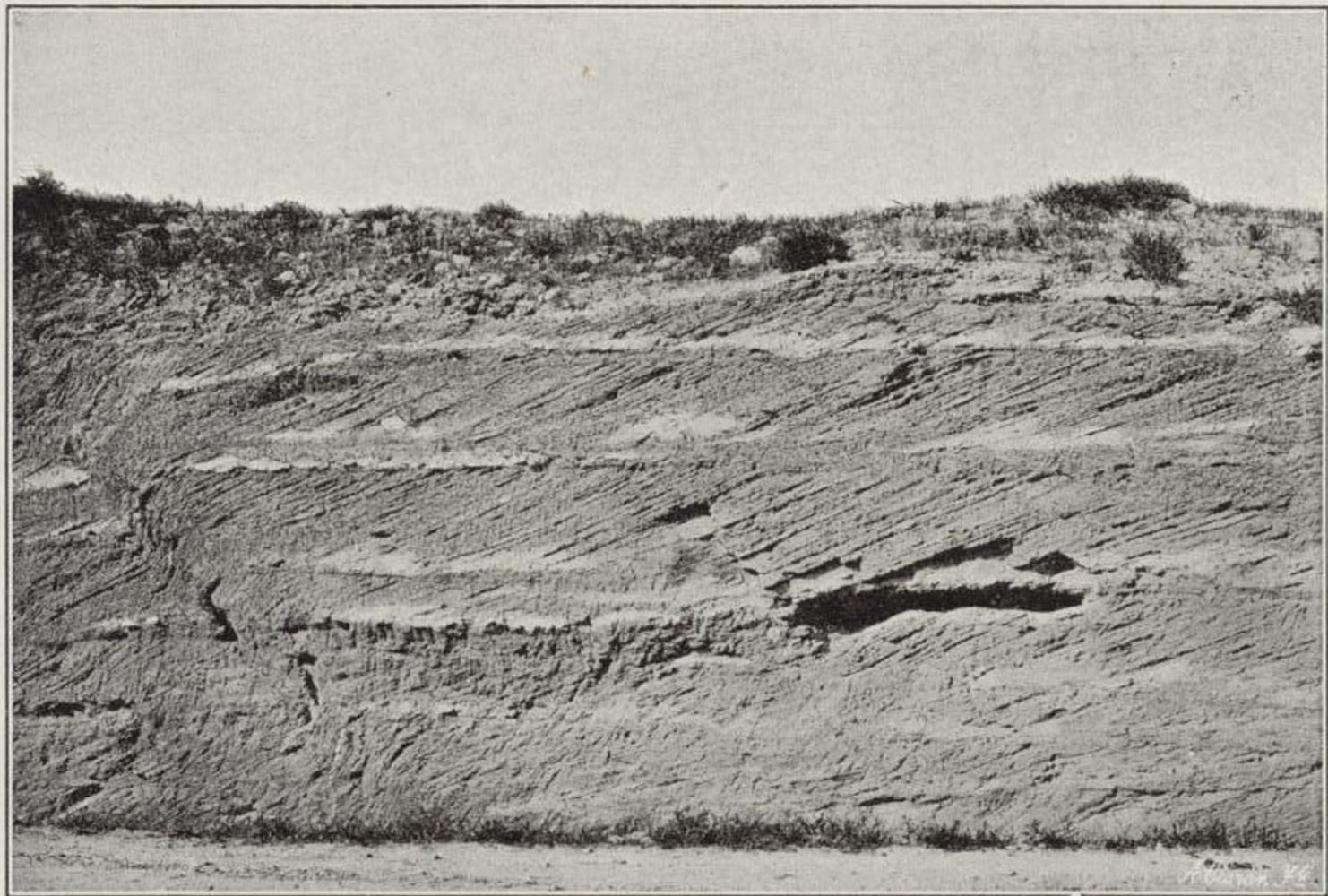
VIII. — ARCOS. «La Peña». Tajo vertical en las calizas del Helvético.

rio formando casi por completo su masa; y que las arcillas abigarradas predominen entre Lebrija y Espera, en Villamartín, y entre Jerez y Arcos de la Frontera.

Esto induce a suponer que el triásico que nos ocupa es un terreno compuesto, no de una sucesión de capas de distinta composición y de espesor regular, sino de una serie de lentejones yuxtapuestos constituidos de preferencia por algunas de las rocas señaladas. Y esta manera de ver está de acuerdo, por otra parte, con el modo de formación de sus sedimentos.

La *facies* puramente lagunar y salobre del Trias de Sevilla y Cádiz indica que su depósito se verificó en un mar interior de escasa profundidad y de fondo ondulado, ó mejor aun en una serie de lagunas, enlazadas ó no entre sí, pero lo suficientemente independientes para que la evaporación se produjera con progresos distintos; así, mientras en unas se precipitaba constantemente el sulfato de cal, en otras se interrumpía la precipitación con la llegada de aguas cenagosas que depositaban delgados lechos de arenas ó lodos arcillosos, no faltando además, como lo indican los restos vegetales contenidos en las areniscas, algunos lugares en los que prevalecía un régimen francamente continental favorable al desarrollo de la vegetación. Pero la desecación de este mar interior ó serie de lagunas no llegó á terminarse, por efecto de la transgresión que se acusa hacia el final del período, puesta de manifiesto por la presencia de margas y calizas con fauna evidentemente marina. Las precipitaciones químicas consistían en el depósito del yeso, y sólo en contados puntos, y en proporciones generalmente reducidas, llegó á cristalizar el cloruro de sodio, si bien esta substancia impregna á las arcillas de los distintos niveles de la formación. En cuanto á las sales procedentes de la evaporación de aguas madres: sales potásicas, bromuros, yoduros, etc., su presencia no se ha comprobado hasta ahora en ningún punto de la gran faja triásica.

Además de las series de capas ya indicadas, abundan en el terreno triásico de Cádiz y Sevilla, grandes masas de brechas formadas por trozos angulosos de areniscas, calizas, margas y yesos, fuertemente cimentados por cristalillos de esta última substancia, de colores muy variados, que las aguas han ido deposi-



IX.—ARCOS. Capas horizontales de caliza helvéticas, integrada por estratos inclinados.

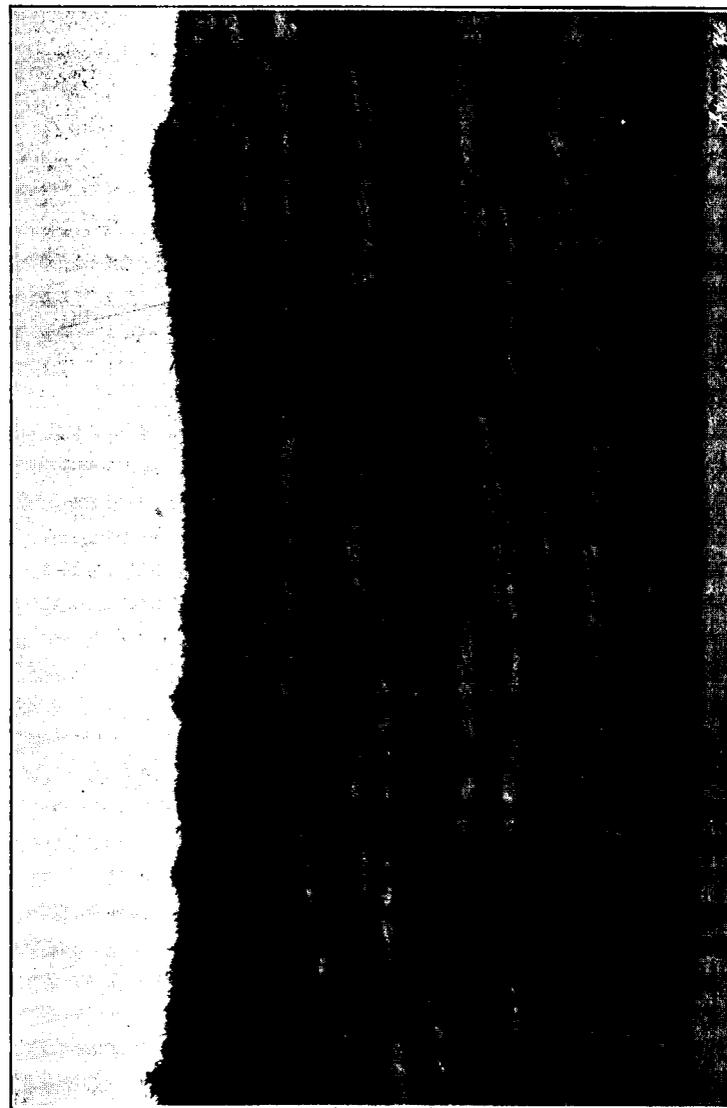


tando en todos los huecos é intersticios de la brecha. Cuando las aguas superficiales arrastran la arcilla que esas brechas contienen, quedan en relieve las cristalizaciones de yeso que vienen á hacer como la armadura ó esqueleto de la masa. A estos yesos de segunda formación acompañan abundantes cristales de cuarzo bipiramidal, hialinos, lechosos, negros ó rojizos, cuyas aristas vivas indican claramente su origen hidrotermal. La edad de dichas brechas (brechas de fricción), no se puede precisar de un modo absoluto; es posible que se hayan formado en distintas épocas, pero la mayoría es contemporánea del primer plegamiento del Triásico, pues aparecen por debajo de los estratos jurásicos y no se descubre nunca en ellos trozo alguno de rocas que no correspondan á la formación triásica.

El espesor total del Trias, que según lo anteriormente expuesto debe variar bastante de unos lugares á otros, no se puede calcular ni aproximadamente, aunque puede afirmarse que es considerable; y si difícil resulta esta determinación, lo es más todavía calcular el espesor de las masas triásicas sobre los terrenos en que se asientan, por consecuencia de los enérgicos plegamientos que en todas partes han sufrido. El hecho de hallarse siempre las capas del Trias en posición vertical ó próxima á ella indica que los pliegues que primitivamente se formaron fueron sumamente agudos, y si este terreno se plegó, como parece ser, independientemente del inmediato inferior, por escasa que fuese la amplitud de aquéllos, el espesor resultante tiene que ser de muchos centenares de metros.

La dirección de los primeros pliegues del Triásico es de NE. á SO., pero las innumerables fallas, inflexiones y corrimientos enmascaran tan por completo la primitiva tectónica que su importancia queda relegada á muy segundo término. Rara vez una capa ó conjunto de capas puede seguirse en la superficie en una longitud superior á 40 ó 50 metros sin que una falla venga á interrumpir la estratificación poniendo en contacto de la capa observada otra distinta, con dirección y buzamiento diferentes por completo. Las estratificaciones regulares que tienen un recorrido superior á 100 metros son casos verdaderamente excepcionales.

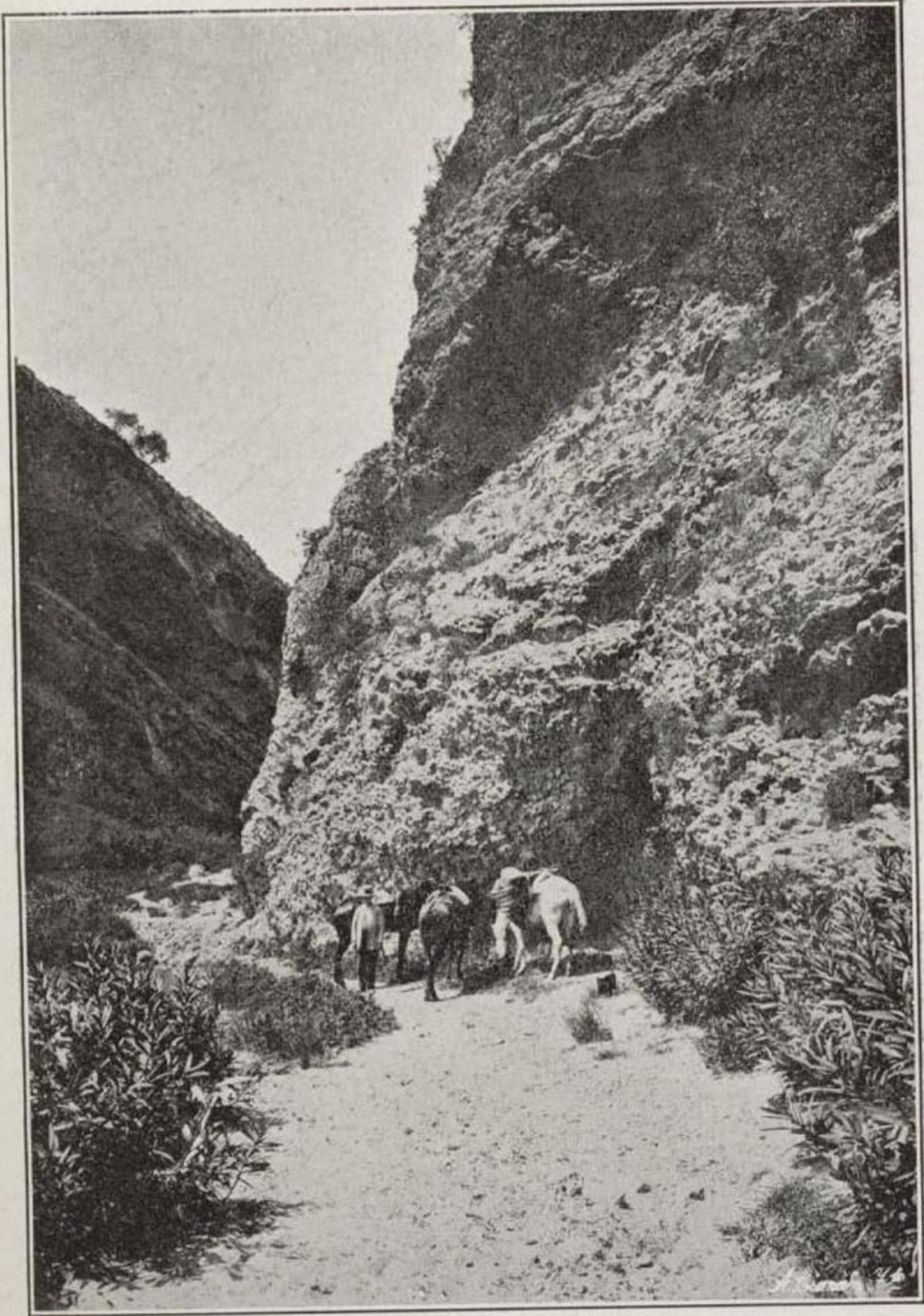
Las masas de yeso, y lo mismo ocurre con las de sal, cuando



IX.—ARCOS. Capas horizontales de caliza helvéticas, integrada por estratos inclinados.

éstas existen, han iniciado la formación de los anticlinales, pero durante el plegamiento rara vez han conservado su posición primitiva, y á modo de cuerpos extraños de mayor dureza y compacidad han perforado su envolvente arcillosa, desprendiéndose del terreno que les servía de base y poniéndose en contacto con otro haz de capas; por esto no es fácil apreciar la relación de tales masas con el resto de la formación, y á ello se debe, en parte, el que los trastornos producidos por los movimientos orogénicos hayan alcanzado proporciones excepcionales.

Por los fósiles encontrados hasta ahora, todos los depósitos triásicos de Sevilla y Cádiz deben referirse al piso superior ó *Keuper*, incluso las areniscas con *Equisetum*, aun cuando por el espesor que alcanzan éstas en algunos sitios presenten cierta semejanza con las del tramo inferior ó *Buntersandstein*. Los ejemplares de dicho género recogidos en Algar y en Villamartín, principalmente, corresponden a la especie *E. columnare* Ad. Brong., que se encuentra también en abundancia en la arenisca media del *Keuper* de Lorena con la que ofrece gran analogía la de Cádiz por su aspecto petrográfico, según puede deducirse de la descripción que de aquélla hace Mr. Levallois en su Memoria «*Remarques sur les relations de parallelisme que présentent dans la Lorraine et dans la Souabe, les couches du terrain dit marmes irisées ou Keuper.*» Dice, en efecto, dicho autor: «Esta arenisca corresponde á la samita propiamente dicha de Brongniart y está compuesta de granos muy finos de cuarzo, reunidos por un cemento arcilloso abundante. Contiene, además, mica. Es muy tierna, generalmente pizarreña, y, en este caso, las superficies de las lajas están materialmente cubiertas de partículas de mica. Su espesor es de unos 20 metros; los bancos de la parte superior (unos 10 metros) consisten en arenisca roja, el resto en arenisca gris; y estos dos colores contrastan lo suficiente para que el orden de sucesión de las dos variedades sea siempre bien visible... El color gris, que marca la división inferior, ofrece matices amarillentos... El color rojo que presenta la arenisca en sus bancos superiores adquiere también diversos matices, desde el rojo de sangre hasta el rosa. Pero lo que la caracteriza habitualmente es la infinidad de royas de color de heces de vino que presenta



X.—ARCOS. Acantilado del Helvético en la Angostura de Bornos.

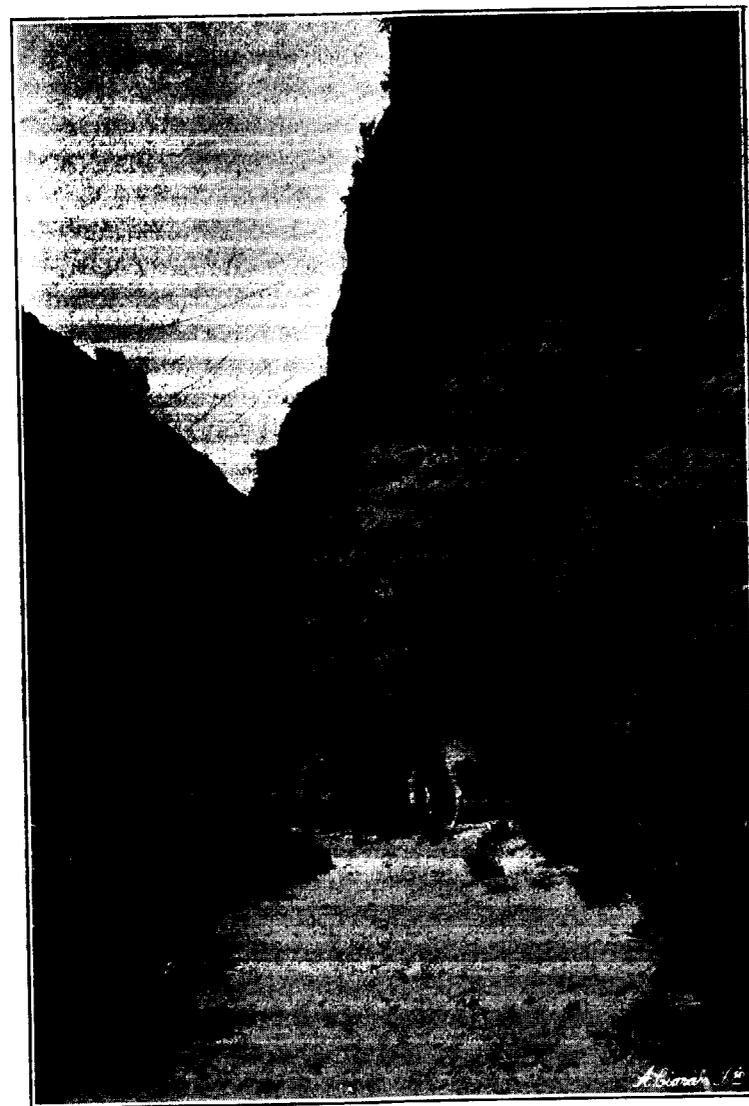
en sus fracturas, discontinuas, pero que se prolongan paralelamente á la estratificación, y, destacándose sobre un fondo más claro, le comunican un aspecto fajado completamente distintivo... Ahora bien; la arenisca que se explota en muchos puntos de los alrededores de Stuttgart, donde tiene un espesor de 30 metros, encaja exactamente en la definición que acabamos de dar de la arenisca media del Keuper del departamento de la Meurthe... Es verdad que aquélla es mucho más rica en plantas fósiles que ésta; pero de las cinco especies determinadas hasta ahora en Wurtemberg hay dos: *Equisetum columnare* Ad. Brong., y *Calamites arenaceus* Ad. Brong., cuya presencia hemos comprobado en diversos puntos del departamento de la Meurthe (Maizières, Lunéville, etc). Además la vida vegetal ha marcado claramente su huella en nuestra arenisca keuperiana por la pequeña capa de combustible que ha sido allí reconocida y que he observado igualmente en la arenisca de Kriegsberg, cerca de Stuttgart.»

En Cádiz también se encuentran relacionadas con estas areniscas algunas capas de combustible que se ha intentado explotar en diversas ocasiones, siempre, como es de suponer, con resultados desastrosos, pues aparte de su reducido espesor y su escasísimo número, su desarrollo, debido al régimen general de las capas triásicas, es exiguo y el carbón se encuentra totalmente triturado.

En los cerros de Algar es donde se presentan las areniscas del Keuper con más espesor: allí se explotan como piedras de afilar y constituyen un yacimiento riquísimo en restos vegetales. En la fotografía I se ven estas capas puestas al descubierto en una cantera inmediata al pueblo. El color predominante en este punto es el amarillento parduzco.

En Villamartín, en el cortijo de las Gateras, á orillas del Guadalete, asoman también estas areniscas con algunos de sus bancos materialmente cuajados de restos de *Equisetum*; hacia la parte superior predomina el color rojo, en tanto que en la parte inferior aparece la misma coloración de las areniscas de Algar.

Entre Villamartín y Montellano, en el arroyo de los Sertiles, la misma roca presenta color gris verdoso con idénticos restos vegetales.



X.—ARCOS. Acantilado del Helvético en la Angostura de Bornos.

Las arcillas y margas del grupo c, que se encuentran bien representadas en muchos puntos de Jerez, Arcos, Algar, Lebrija y Conil, siempre con fósiles característicos, ofrecen un corte muy interesante al N. de Villamartín, en el cruce de la cañada de los Mármoles con la de los Izquierdos, donde descansan sobre las areniscas con *Equisetum* y contienen *Lingula tenuissima* Bron., *Myophoria deltoidea* Gold., *Pecten laevigatus* Gold., *Myophoria laevigata* Gold., y otros lamelibranquios y aun algunos pequeños gasterópodos del Keuper.

Las margas abigarradas del grupo d no contienen, al parecer, fósiles, pero en unos lechos calizos delgados que se intercalan hacia su parte superior abundan los *Mytilus* de pequeño tamaño.

Las calizas tableadas de la parte superior de la formación contienen abundantes restos de fósiles marinos: *Myophoria vestita* Alberti, *Gervillia praecursor* Quensted, etc., y aun en las calizas compactas y cavernosas que las acompañan no es raro encontrar ejemplares de estas especies.

MM. Barrois y Offret señalaron ya la existencia de estos fósiles en el Keuper de la provincia de Málaga, de cuya composición dan en su obra «*Mémoire sur la constitution géologique du Sud de l'Andalousie*» los detalles siguientes: «En el Trias de las cadenas subbéticas encontramos, con todos sus caracteres, la facies de las margas irisadas del Norte de Europa, compuestas esencialmente de arcillas abigarradas, ordinariamente rojas, con masas de yeso gris con vetas blancas y lentejones más ó menos extensos de calizas negras, de carñiolas y de bancos dolomíticos. En toda la faja que se extiende de Gobantes á Loja, estas capas están muy dislocadas, las relaciones de superposición son muy difíciles de observar, y es imposible reconocer un orden constante de superposición como en Suabia ó en Lorena... La trinchera del ferrocarril de Málaga, entre Gobantes y el Chorro (antes del túnel núm. 9) corta las margas irisadas. En la parte superior contienen pequeños bancos de yeso, y terminan por bancos delgados de calizas parduzcas margosas y pizarreñas en las cuales hemos recogido: *Natica gregaria* Schl., *Myophoria* cf. *vestita* von Alberti, *Lucina* sp., *Gervillia praecursor* Quensted, *Terebratula* sp., es decir, fósiles que se encuentran en el Keuper de la Euro-

pa septentrional. Sin hablar, pues, de la facies mineralógica, no faltan argumentos estratigráficos ni paleontológicos para clasificar definitivamente como del Trias las margas rojas de Antequera y de Priego. La hipótesis, ya generalmente abandonada, que hacía depender esta facies mineralógica tan especial, de un metamorfismo producido por las erupciones ofíticas no encontrará ciertamente nuevos argumentos en el estudio geológico detallado de Andalucía. Es pues el verdadero Trias, con su facies llamada continental, el terreno que aparece en toda la zona de las cordilleras subbéticas.»

La fotografía II representa un banco de la caliza del Keuper que, levantado hasta la vertical y recortado por la denudación, aflora entre Algar y las márgenes del Majaceite, un kilómetro al E. del cerro de Talancón.

Las capas del Trias están con frecuencia atravesadas por apuntamientos de las rocas verdes que el sabio químico Bayen designó con el nombre de *ofitas*. Estos asomos eruptivos afectan unas veces la forma de chimeneas, como ocurre con el del cerro donde se asienta el castillo de Tempul (véase la fot. III) y los que un poco más al N. se levantan en la margen derecha del Majaceite (fot. IV). En la primera de estas fotografías puede apreciarse muy bien la tendencia que tienen estas rocas á dividirse en paralepípedos. Otras veces las ofitas forman diques, como ocurre en el cortijo de Illescas, al N. de Villamartín. El número de asomos en ciertos lugares es enorme, aunque generalmente pasan inadvertidos porque se reducen, las más de las veces, á pequeñas protuberancias situadas en el fondo de los barrancos. Por sus dimensiones excepcionales merece citarse el mogote ofítico de la confluencia del río de Ubrique con el Majaceite, cuya superficie ocupa próximamente un kilómetro cuadrado, y el que se halla á 3 kilómetros al NE. del vértice topográfico «La Gorres».

Las ofitas típicas se caracterizan por la presencia de cristales de piroxeno, rodeados por cristales pequeños y alargados, según la arista g_1 , de un feldespato triclinico. El color de las de las provincias de Cádiz y Sevilla varía del verde al negro, que pasa al verde claro ó chocolate cuando su descomposición está muy avanzada. En Algar, á cuatro kilómetros al E. del cerro de la Dehe-

silla, y al N. de Espera, junto á la «Dehesa de Quino», existen unos asomos ofíticos en los que la roca está reducida á arena incoherente.

El Sr. Calderón, y con él otros geólogos, consideran á las ofitas como producto de un metamorfismo *in situ* de rocas sedimentarias, opinión, á nuestro juicio, errónea, ya que la mayor parte de los asomos ofíticos reúnen los caracteres de verdaderas coladas volcánicas y además ninguna diferencia esencial separa á las ofitas de otras rocas diabásicas sobre cuyo origen interno todos los geólogos están de acuerdo. Hay también quien supone que las ofitas, aunque rocas fundidas, no proceden del núcleo central, sino de la parte inferior de la masa de estratos triásicos, ó de otro terreno sedimentario inferior, fundido por efecto de una excesiva elevación de temperatura y un descenso brusco de presión debido á la producción de grietas y fallas; pero esto no deja de ser una hipótesis más ó menos verosímil y acerca de la cual no se han aducido argumentos verdaderamente convincentes.

Sobre las calizas magnesianas tabulares de la parte superior de la formación triásica se apoyan otras negras, en capas bastante gruesas, concordantes con ellas y desprovistas de fósiles. Su espesor es á veces considerable, hasta el punto de que en la Sierra de Santa Lucía, al E. de Villamartín, y en el monte de la Cabezuela, en Algar, seguramente excede de 100 metros. Por la falta de fósiles, no puede asegurarse si forman un solo horizonte con las calizas triásicas tabulares ó si corresponden ya á la base del Lias. Ofrece esta caliza negra la particularidad de que tanto sus grietas como las superficies de separación de las distintas capas están rellenas de una tierra arcillosa de color rojo vivo. Esta serie de capas está marcada en nuestros planos con un rayado grueso para diferenciarla del resto de la formación triásica.

2.º **Sistemas Jurásico y Cretáceo.**—Contrasta notablemente el relieve monótono del suelo triásico con las escarpadas alturas á que dan origen las calizas marmóreas del Jurásico. Sobre la meseta triásica de la comarca, que apenas alcanza 300 metros de altitud, se eleva, en efecto, la enorme mole de la Sierra del Pinar (1.652 metros), formada por las capas del Lias, y las abruptas sie-

rras de las cercanías de Ubrique (1.000 á 1.500 metros), constituidas casi exclusivamente por las margas pizarreñas y las calizas del Jurásico superior. Estas sierras, reunidas, dan lugar á uno de los macizos montañosos más importantes de la Serranía de Ronda. En la región de las colinas, estos depósitos no alcanzan nunca espesores extraordinarios; unas veces forman montes aislados repartidos como al azar dentro del perímetro de las grandes manchas triásicas; otras sobresalen como verdaderos arrecifes entre los sedimentos terciarios; otras, en fin, y esto es lo más frecuente, asoman entre el Trias y las capas eocenas que las han protegido contra la denudación.

De un modo general, la región que estudiamos puede considerarse como el borde de una cuenca jurásica, cuya línea de grandes profundidades se encontraba más al E., en la inmediata provincia de Málaga, y que se extendía hacia Gibraltar, pues su célebre Peñón es un mogote de caliza liásica completamente análoga á la de la Sierra del Pinar.

Los depósitos jurásicos comienzan en la región que nos ocupa por calizas rojas marmóreas con vetas blancas espáticas, idénticas á la que caracteriza al Titónico en todo el Mediodía de España y en Italia, donde primeramente fué descripta con el nombre de *mármol rojo amonitífero*; su espesor rara vez excede de 20 á 30 metros. A estas calizas se sobreponen otras de color blanco ó gris amarillento, de grano muy fino, que en determinados puntos se explotan como piedra litográfica, y cuyos bancos alcanzan de 200 á 300 metros de espesor. En las calizas rojas es frecuente encontrar gran cantidad de pequeños *Aptychus* en tanto que en las blancas predominan los *Ammonites* y los *Belemnites*, acompañados de las *Terebratulias* perforadas, *T. diphya*, *T. Bouéi*, *T. janitor*, características del Titónico.

A las calizas blancas marmóreas siguen unas margas compactas muy calíferas, de color blanquecino ó gris claro, y á éstas, otras más deleznable que alternan con lechos arcillosos y que en conjunto presentan coloración verdosa. Las primeras, por sus fósiles, parecen formar un solo horizonte paleontológico con las calizas blancas; las segundas, por el contrario, son indiscutiblemente neocomienses, pues contienen abundantes especies de *Am-*

monites piritosos que corresponden al Neocomiense superior. Por el momento no contamos con datos suficientes para resolver definitivamente la cuestión, y, basándonos de preferencia en el aspecto petrográfico, hemos dibujado en nuestros planos con color azul claro las manchas de esta formación donde predominan las calizas y con color verde aquella otra donde sólo asoman las margas, quedando así limitados dos horizontes, el primero de los cuales corresponde sin género alguno de dudas al Titónico y el segundo *casi por completo* al Neocomiense.

No siempre forman las calizas rojas la base de estos depósitos; lo más frecuente es que comiencen por las calizas litográficas, y en ocasiones se apoyan directamente sobre el Trias los niveles de margas superiores.

Las capas jurásicas y las cretáceas debieron cubrir primitivamente toda la región de que estamos tratando, según lo demuestra el gran número de testigos que aun existen, pero la denudación constante en los periodos meso y neo-cretáceos hizo desaparecer la mayor parte de la formación.

Los restos principales se agrupan en tres series alineadas de NE. á SO. La primera y más importante la forman los macizos que arrancan de la Sierra de Santa Lucía, continúan por las del Pajarete y las Posadas (al N. y O. respectivamente de Prado del Rey), y se enlazan, por las de Guillén y Valleja (al S. de Arcos), con las Sierras de las Cabras, el Alajar y el Valle, conjunto de alturas formadas por estos mismos depósitos, y á las que confluyen también los mogotes de la segunda serie (Cabeza de Santa María, Dehesilla de Algar, etc.), que se destacan de la Serranía en las inmediaciones del Bosque. La tercera serie, totalmente independiente de las anteriores, va de la Atalaya de los Alguaciles á la laguna de la Isleta, pasando por la Sierra de Gibalbín.

En la Sierra de Santa Lucía, las calizas rojas del Titónico se doblan en un anticlinal orientado al N. 20° E., cuya rama oriental tiene 45° de buzamiento y la occidental unos 20°, según puede observarse en el corte natural producido por el arroyo de Serracín. Sobre las calizas rojas de la rama oriental se apoyan las calizas litográficas y las margas verdosas del Neocomiense. El conjunto de capas jurásicas y cretáceas forma un macizo hundi-

do y comprendido entre dos fallas paralelas, de tal modo, que por la parte de Levante el Neocomiense parece prolongarse hacia el E. por debajo de las margas yesíferas del Trias, mientras que por la de Poniente las calizas negras *supratriásicas*, buzando 80° al E., vienen á interrumpir repentinamente las capas del Titónico.

Una manchita de calizas rojas y blancas que aparece al SO. de la Sierra de Santa Lucía es un retazo sinclinal apoyado en las margas yesíferas del Trias.

En la Sierra del Pajarete, las calizas jurásicas forman un sinclinal, una de cuyas ramas forma el cerro del Castillo y la otra unos montes gemelos que quedan al N. y NO. de aquél: la dirección de las capas es al N. 50° E. En la parte inferior de la rama SE. asoman las calizas rojas con profusión de *Aptychus* muy pequeños. La línea de contacto de estas calizas con las areniscas rojas y grises del Keuper cruza la carretera de Ubrique en el kilómetro 44, donde está situada la ermita de Nuestra Señora de las Montañas. La rama NO. está formada exclusivamente por las calizas blancas, cuyas primeras capas afloran junto al kilómetro 40 de la citada carretera, con fuerte buzamiento al SE. Este sinclinal de calizas jurásicas alberga en su interior á las margas neocomienses, que quedan al descubierto en varias de las trincheras abiertas entre los kilómetros 42 y 43.

Más al S., en los cerros de las Posadas y los Castillejos, las calizas blancas, con orientaciones variables de N. 20° á 40° E., é inclinadas de 50° á 60° SE., soportan las margas blancas y verdosas del Neocomiense, que á su vez sirven de base á las calizas numulíticas. La carretera de Ubrique corta el terreno cretáceo de esta faja en el kilómetro 46.

En la Dehesilla de Algar, al N. de este pueblo, las calizas blancas forman tres cerros alineados en dirección N. 60° E., que es la misma que la de las capas; la inclinación de éstas aumenta á medida que se avanza hacia Levante, oscilando entre 30° y 70° al NO., y buzan por debajo de las margas cretáceas.

El cerro denominado Cabeza de Santa María, en la margen derecha del Majaceite, al E. NE. de los anteriores, es un retazo sinclinal formado por las margas blancas neocomienses.

Las Sierras Valleja y Guillén, al S. de Arcos, están formadas

por las calizas blancas litográficas; en el extremo septentrional de la primera, las capas se orientan del N. al S., mas al llegar al punto culminante de la Sierra se doblan al SO. siguiendo la dirección determinada por las cumbres, hasta que en las inmediaciones de la «Parrilla alta» vuelven á arrumbarse al S. De la estructura monoclinial de esta Sierra da idea la figura V, que reproduce una fotografía tomada en el desfiladero producido por el Guadalcaén al atravesar estas alturas, junto á la presa del pantano de su nombre, punto donde hemos recogido muchos ejemplares de *Ammonites* y *Belemnites* y varias *Terebratulas* perforadas del Titónico. Según se ve en el plano, sobre las calizas jurásicas se apoyan las margas neocomienses.

Al O. de la Sierra Valleja existen algunas alturas formadas igualmente por calizas jurásicas en capas que, arrumbadas de NE. á SO. y con buzamiento al NO., constituyen un macizo independiente del anterior.

Al SO. de Arcos de la Frontera, y dentro del triángulo formado por las carreteras Jerez-Medina, Jerez-Arcos y Arcos-Medina, se ve una extensa mancha triásica compuesta de yesos brechoides abigarrados, calizas cavernosas y margas irisadas salíferas, entre cuyos pliegues y fracturas han quedado aprisionados algunos restos de las margas verdes neocomienses. Entre los kilómetros 26 y 27 de la carretera de Jerez á Arcos, en su cruce con el arroyo salado de Espera, asoma una masa de yesos abigarrados que puede seguirse en la superficie hasta lo más alto del cerro del Guijo; esta masa no está formada por capas estratigráficas, sino por una de las brechas de fricción tan frecuentes entre los sedimentos triásicos, y sirve de núcleo á un anticlinal de margas neocomienses en cuya rama de Levante tienen las capas un espesor insignificante con inclinación que coincide con la pendiente natural del terreno, bastante pronunciada por cierto. La superficie de separación entre el Triásico y el Neocomiense sirve en este punto de plano inferior impermeable á las aguas de infiltración, y éstas, empapando poco á poco las arcillas y llegando á formar con ellas un lodo muy suelto, determinan el resbalamiento de las capas cretáceas, que descienden por la ladera paulatinamente y van invadiendo el cauce del Salado. Durante

la estación lluviosa no cesa la marcha de esta especie de helero de lodo que como los verdaderos heleros va dejando impresa la huella de su paso en la superficie de las rocas que lo soportan.

En la vertiente O. del mismo anticlinal, el Cretáceo alcanza más espesor, como puede verse en el corte natural producido por un arroyuelo que limita el cerro del Guijo por ese lado y que corre precisamente por el contacto de este terreno y el Keuper. Esta manchita cretácea se prolonga hacia el N., oculta bajo el diluvial del llano, y según el Sr. Mallada ha sido cortada por los sondeos que se llevaron á cabo con objeto de reconocer el criadero de azufre inmediato á la carretera.

La Atalaya de los Alguaciles es un monte aislado, formado por un retazo sinclinal de calizas jurásicas de grano bastante grueso, explotadas durante muchos años como piedra molinera. Más al S., en las inmediaciones del kilómetro 18 de la carretera de Las Cabezas á Villamartín, aparecen, entre un pliegue de las capas triásicas, dos mogotes formados por las calizas jurásicas y las margas neocomienses. Las capas jurásicas y las cretáceas están orientadas al N. 50° E., y su buzamiento es de 80° al SE. Entre los dos mogotes se encuentra un asomo de ofita, encajado entre las calizas tabulares y los yesos triásicos, notable, según se ha indicado ya, por el avanzado estado de descomposición de la roca.

En las faldas del S. y del SE. de la Sierra de Gíbalbín, las margas blancas y verdosas del Neocomiense buzan por debajo de las capas numulíticas, formando el pedestal de este pequeño núcleo montañoso, que, á pesar de su exigua elevación, domina una gran parte de las provincias de Sevilla y Cádiz. El Cretáceo de Gíbalbín es bastante fosilífero y su espesor aumenta á medida que se avanza hacia el NE., por efecto de la intercalación entre las margas verdes y el Trias de potentes bancadas de margas y calizas blancas del Jurásico, que faltan totalmente en el extremo O.

En el kilómetro 7 de la carretera de Jerez á Algeciras asoman las margas del Neocomiense, con espesor reducido, entre el Triásico y el Eoceno. Este pequeño afloramiento tiene interés, pues comprueba la continuidad con que los sedimentos cretáceos se extendieron, cubriendo la mayor parte de la provincia de Cádiz.

SERIE TERCIARIA

1.º **Sistema eoceno.**—La formación eocena que, como las anteriormente descritas, alcanza también gran desarrollo en las provincias de Sevilla y Cádiz, y que en unión de la jurásica imprime al país los rasgos más salientes de su topografía, no presenta la uniformidad de caracteres que distingue á las secundarias, porque su depósito se efectuó en un mar donde los restos de la formación jurásica formaban infinidad de islas y barreras submarinas que influyeron poderosamente en la distribución de los sedimentos.

Los depósitos más antiguos del Eoceno en la región, consisten en unas margas muy calíferas de color blanco y rojo de ladrillo, en capas de 10 á 20 centímetros de grueso (véase la fotografía VI) que alcanzan en conjunto un espesor aproximado de 100 metros; siguen á estas margas gruesos bancos de calizas compactas, ya arenosas, ya marmóreas, que alternan con otras materialmente cuajadas de *Nummulites*, y termina la formación por un espesor considerable de arcillas, margas arcillosas, margas silíceas, areniscas y calizas arenosas tabulares.

Entre las margas blancas y de color ladrillo del nivel inferior se intercalan á veces las calizas marmóreas, que, por regla general, constituyen el nivel inmediato superior, siendo por consiguiente imposible la separación precisa entre ambos; del mismo modo, es frecuente que las margas blancas inferiores y las arcillas, areniscas y calizas tabulares del nivel superior se pongan en contacto inmediato por faltar las calizas marmóreas del tramo medio.

Esta variedad en los sedimentos, unida á la falta absoluta de fósiles, si se exceptúan los *Nummulites*, hace difícil una clasificación concreta de los diferentes tramos, pero en líneas generales puede decirse que las capas de margas blancas y las calizas marmóreas, corresponden al Eoceno medio ó edad *luteciense*, siendo constante en ellas la presencia de *Nummulites* del grupo del *N. Murchisoni*, y que la serie bastante heterogénea de arcillas,

margas, areniscas y calizas tabulares que forman el nivel superior, y que contienen especies pequeñas de *Nummulites* y *Orbitoides*, pertenecen al Eoceno superior ó *Bartoniense* aun cuando por la naturaleza de los sedimentos y la abundancia en ellos de algas marinas del género *Fucoides* encajan mejor en la *facies* del *Flysch* que en ninguna de las divisiones clásicas del Eoceno.

Las arcillas y margas de este tramo tienen generalmente color gris uniforme; pero en varios puntos, sobre todo en el Mediodía de la provincia de Cádiz, adquieren coloración alternativamente rojiza y verde, lo cual da al conjunto un aspecto abigarrado que á primera vista podría inducir á error por su semejanza con los tonos de color que predominan en el Trias; sin embargo, la falta absoluta de yeso, de areniscas micáceas y de calizas magnesianas, y hasta la misma coloración del conjunto, cuando se tiene alguna práctica, basta para distinguir aquellas capas del Trias aun en los casos en que ambos terrenos se encuentran en contacto.

La gran depresión Majaceite-Barbate señala el límite oriental de la formación de margas blancas y de color ladrillo, que queda así circunscripta á la parte occidental de la provincia de Cádiz y á la meridional de la de Sevilla, y esto demuestra que en los comienzos del Terciario se individualizaron ya las dos cuencas, que conservaron su independencia hasta el levantamiento definitivo de la Serranía de Ronda.

En el lado opuesto de la depresión, los depósitos eocenos consisten en calizas compactas que alternan con lechos arcillosos, predominando, según los puntos, uno ú otro elemento. En nuestro mapa, en la parte del E. y del SE. de Algar, se han representado estos depósitos con el signo adoptado para el tramo medio, por ser la caliza la roca dominante, aun cuando en realidad correspondan, por su *facies*, al *Flysch* ó tramo superior. Las arcillas que se intercalan entre las calizas eocenas del campo de Gibraltar presentan, según Mac-pherson, matices rojizos, verdes ó amarillentos y dan á la formación el aspecto abigarrado que, como ya dijimos, la caracteriza en el Mediodía de la provincia.

Las formaciones numulíticas de uno y otro lado de la depresión principal ofrecen la particularidad de que sus calizas están

acribilladas de cavidades rellenas de arcilla gris verdosa muy plástica que, arrastrada por las aguas cuando por el desgaste de la caliza queda al descubierto, comunica á la roca, exteriormente, el aspecto de una dolomia cavernosa. En las calizas con *Nummulites* se encuentra también la arcilla verde rellenando los huecos que quedan entre los carapachos, y en las areniscas calcíferas se interponen, entre los granos de arena, laminillas delgadas y brillantes de la misma substancia.

En virtud de lo expuesto pueden agruparse, por orden cronológico, los sedimentos eocenos de la región, del siguiente modo:

- a) Margas blancas y de color ladrillo.
- b) Calizas compactas, arenosas ó marmóreas.
- c) Arcillas, areniscas y calizas tabulares, ó *Flysch* eoceno.

Pero claro es que no siempre se presenta la serie completa: con frecuencia falta uno de los grupos primeros, ó los dos, empezando la formación por las capas del *Flysch* ó por las calizas marmóreas, así como otras veces faltan los niveles superiores quedando sólo las margas del grupo inferior.

En general, cuando las capas eocenas descansan sobre las cretáceas no se encuentran rizadas en pequeños pliegues, aun cuando en conjunto, y por efecto de los empujes terciarios, aparezcan con fuertes buzamientos; pero cuando su depósito se ha verificado directamente sobre el Trias, es decir, sobre una base de escasa solidez, las presiones se han traducido en pliegues tan agudos y repetidos que hacen casi indescifrables los detalles de la tectónica.

Al N. de Algar se extiende, con dirección E. NE. á O. SO., una faja de margas blancas y de color ladrillo que, descansando al N. de la «Dehesilla» sobre las calizas jurásicas y á continuación sobre las margas neocomienses, termina hacia su extremidad NE. apoyándose directamente sobre el Trias: su espesor se mantiene constante en todo el recorrido, y si dicha faja aparece en proyección horizontal con más anchura en unos puntos que en otros se debe á las variaciones en su buzamiento, que oscila entre 45° y 80°

Al SO. del mismo pueblo, en las inmediaciones del Rancho de Palmetín; al S. de Arcos de la Frontera en la cañada de Me-

dina; al SO. de Prado del Rey, en el cerro de los Castillejos; y en la Sierra de Gíbalbín (1), puede examinarse esta formación en su completo y normal desarrollo, pues en todos estos parajes el Cretáceo subyacente ha contribuido, como dejamos dicho, á atenuar el efecto de los plegamientos terciarios.

Al S. de Algar, en los llanos llamados de la Mesa, donde radican los cortijos de Sotogordo y Santa Margarita, las capas de este grupo, sumamente plegadas y comprimidas por las del Trias, que sirve de base á la mancha, ofrecen sus estratos en posición vertical por efecto del cerramiento de los pliegues.

Otro tanto puede decirse de la mancha que se encuentra al Mediodía de Algar, limitada al S. por el río Majaceite.

Las margas blancas y de color ladrillo aparecen también, fuertemente dislocadas, al NE. de la Sierra de Aznar, al N. de Villamartín y Espera, y al S. de Prado del Rey, es decir, siempre que se apoyan directamente sobre el Trias: sólo hacen excepción á esta regla las que afloran en la falda E. de la Sierra de la Rábida, al SE. de Arcos, y esto se explica por la presencia de las potentes bancadas de calizas igualmente numulíticas que las cubren y que comunican gran rigidez al conjunto.

Las calizas del grupo b, con espesor variable entre 25 y 40 metros, forman las crestas de las lomas de Arrayanosa y los Galayos, á las que se ajusta durante largo trecho el camino de Algar á Prado del Rey. En las inmediaciones del Rancho de la loma de Pajeros son cristalinas, de color anteaado, y los bancos tienen un espesor variable entre 40 y 60 centímetros, pero á medida que se avanza hacia el NE. van siendo menos gruesos y compactos, hasta que al llegar al Rancho de Palomino se convierten en calizas tabulares arcillosas, de color negruzco, se hacen muy delgadas, y se explotan para losas de pavimento. A lo largo de esta línea, su concordancia con las margas inferiores es perfecta.

En la Sierra de la Rábida, como también en la de Gíbalbín,

(1) La masa principal de este macizo montañoso está formada, en efecto, por las margas blancas de la base del Eoceno, y á ello se debe, probablemente, el nombre de Gíbalbín, contracción, sin duda, de las palabras Giba albina ó protuberancia blanca.

estas calizas marmóreas alternan con los conglomerados de *Nummulites*, y las cabezas de los bancos determinan en ambas Sierras los contornos de las cumbres.

A unos 4 kilómetros de Villamartín, á la izquierda del camino del Coronil, se encuentra el cerro de la Pernagosa, de 200 metros de elevación, formado por un retazo sinclinal de la misma serie de capas, que alternan también con calizas cuajadas de *Nummulites* como en los dos puntos últimamente indicados. Más al N., los cerros inmediatos al vértice «Manoterás» están también constituídos por restos aislados de la misma formación.

En las inmediaciones de Prado del Rey, los montes «Verdugo» y «Castillejos» están formados por las calizas marmóreas sobrepuestas á las margas blancas, y en ambos las capas se orientan de N. NE. á S. SO.

En el camino de Algar á Prado del Rey, cerca ya de las primeras casas de este pueblo, se ven los estratos numulíticos formando pliegues secundarios tan estrechos que suelen cambiarse dos y tres veces de curvatura en un espacio de 6 á 8 metros.

En la cúspide denominada «El Aguila», las calizas eocenas están sobrepuestas á las margas blancas, y éstas á su vez á las neocomienses que forman la base del monte; sus capas se encuentran completamente verticales y la roca es mucho más pura y cristalina que la de las demás manchas hasta aquí enumeradas.

El monte Cubil, al E. de Prado del Rey, así como otros varios que se encuentran al N. de «El Aguila», entre éste y la Sierra de Santa Lucía, son retazos de sinclinales de las capas eocenas. En la base de todos estos montes asoman las margas inferiores, pero las calizas que entre ellas se intercalan van adquiriendo mayor desarrollo á medida que se sube por las laderas hasta que llegan á predominar en las cumbres. En conjunto, corresponden todas estas alturas á una de esas zonas de tránsito en las que no cabe establecer la diferenciación que hasta aquí hemos hecho de los dos grupos *inferior* y *medio*. Las capas del cerro Cubil, con la mencionada alternancia, quedan al descubierto en las trincheras de la carretera de Ubrique, entre los kilómetros 46 y 47.

Reposando sobre las calizas del tramo anterior, se extiende

al N. de Algar una mancha bastante importante de sedimentos del Flysch. Los estratos están comprimidos entre las dos ramas de un sinclinal formado por las margas blancas, y aparecen en posición vertical y tan sumamente dislocados, que apenas se puede reconocer la estratificación. Predominan en esta mancha arcillas de color gris y margas blanquecinas muy silíceas que por efecto de las fuertes presiones sufridas están tan fracturadas que difícilmente puede obtenerse un trozo de la roca de más de 5 centímetros de arista. Constituyen estas margas la parte superior de la formación, y entre las arcillas de la inferior suelen intercalarse algunas calizas tabulares con muchos *Nummulites*.

La base de la colina sobre que se asienta Villamartín está formada por las capas del Flysch eoceno cubiertas por los derrubios de las capas miocenas de la cumbre y los depósitos diluviales del Guadalete. El Flysch queda al descubierto al N. del pueblo, junto al Rancho de Pavón, y forma por el S. una faja no interrumpida entre la central del Guadiaro y el cortijo de Alperchite. Por la otra parte del río, las capas del Flysch ocupan también gran extensión de terreno en los cerros del cortijo de Carpintero, y entre el arroyo de las Salinillas y la carretera de Ronda. Otra mancha bastante extensa de la misma formación se presenta entre el cerro de las Garrapatas, las vertientes occidentales de la Sierra de Carija y las septentrionales de la del Calvario. En todas, la dirección general de las capas es la de la longitud de las manchas, que están arrumbadas, según se ve en el mapa, del NE. al SO., aun cuando entre las muchas inflexiones producidas, las más de las veces por pliegues secundarios, se observan direcciones que difieren bastante de la señalada. El buzamiento es unas veces al SE. y otras al NO., lo que demuestra que se trata de varios pliegues paralelos entre sí, que afectan á la formación dentro de los límites de cada mancha.

En el Flysch de toda esta zona predominan las arcillas y las calizas arenosas tabulares, cuyos trozos angulosos cubren materialmente la superficie, constituyendo una guía segura para reconocer este terreno, ordinariamente oculto por un espeso manto de tierra vegetal.

Al N. de la Atalaya de los Alguaciles se encuentran algunas

colinas formadas exclusivamente por las calizas arenosas tabulares del Flysch eoceno en capas muy dislocadas, con buzamiento de 60° á 70° y con frecuentes cambios de dirección. Esta mancha se prolonga hacia el O. y se enlaza con la que figura en nuestro mapa en los alrededores de las Cabezas de San Juan, donde vuelve á predominar el elemento arcilloso, alternando, aunque en reducida escala, con areniscas amarillentas muy deleznales. Forma también el mismo terreno la base de los cerros inmediatos á Lebrija, siendo varios los asomos que allí existen y que inducen á suponer la continuidad de la formación por debajo de los terrenos más modernos.

En la Sierra de Gibalbín, el Flysch eoceno, compuesto de capas alternantes de calizas y arcillas, se sobrepone á las calizas compactas del tramo medio y cubre las vertientes septentrionales de la Sierra.

Al SO. de Arcos, en la margen izquierda del arroyo salado de Espera, se apoyan sobre las margas del Neocomiense algunas bancadas de calizas y margas arcillosas eocenas, orientadas de N. á S. y con fuerte buzamiento hacia el E. Finalmente, al E. de Jerez, entre el río Guadalete y la carretera de Algeciras, descansan sobre el Keuper algunos retazos del Flysch eoceno en los que predomina la facies arcillosa.

El Flysch abigarrado presenta algunos asomos de escasa importancia al N. de Villamartín, debajo de las capas miocenas del cerro de Torre Lopera y al O. del cortijo de la Higuera, cerca de la cañada de los Puertos. En cambio, entre Vejer, Conil y Medina la mayor parte de los depósitos del Flysch aparecen con esa facies.

2.º **Sistema oligoceno.**—La diferenciación iniciada en el período eoceno entre los sedimentos de las dos zonas separadas por la depresión Majaceite-Barbate llega á su máximo en el período oligoceno, hasta el punto de que los depósitos de esta edad en esas dos zonas no guardan entre sí la menor relación, ni por su naturaleza ni por su origen. La línea divisoria está marcada de un modo general por dicha depresión, pero más exactamente aún por los restos de la formación jurásica que arrancan de la Sierra del Bosque, al S. de Prado del Rey, continúan por la

Dehesilla de Algar y la Sierra del Valle y terminan en el monte Berrueco, entre Medina Sidonia y Chiclana de la Frontera. Al E. de esta barrera de calizas secundarias se ha sedimentado la arenisca del Algibe, roca de origen lacustre, probablemente, y al O., y en mar abierto, unas margas blanquecinas que contienen una cantidad variable de carbonato de cal y una fuerte proporción de sílice bajo la forma de *frústulos de diatomeas*.

Desgraciadamente, ni en la arenisca del Algibe ni en las capas de diatomeas se ha podido encontrar hasta ahora un solo microfósil que permita fijar su edad de una manera precisa, pero sus relaciones estratigráficas con los demás terrenos sedimentarios de la provincia permiten asignar tanto á unas como á otras una posición intermedia entre el Flysch bartoniense y las arcillas y molasas del Burdigaliense. Por otra parte, entre el depósito del Flysch bartoniense y el de las formaciones á que nos referimos ha mediado el suficiente espacio de tiempo para que aquél desapareciera en parte por denudación dejando al descubierto el *substratum* triásico, y, además, existe siempre una marcadísima discordancia de estratificación entre ambos terrenos. Resulta de esto, que en modo alguno puede suponerse que el Flysch, la arenisca del Algibe y las capas de diatomeas formen una serie continua de sedimentos, y que si, por sus relaciones estratigráficas, debe asignárseles una posición en la escala geológica superior al Flysch, las relaciones tectónicas conducen á considerarlas como pertenecientes á un sistema del Terciario superior al Eoceno.

Cuanto acabamos de decir puede comprobarse en las manchas de Arcos, de Lebrija, de Jerez, de Espera y del Puerto de Santa María, donde las capas de diatomeas apenas desviadas de su posición horizontal, se apoyan indistintamente sobre el Trias ó sobre las capas muy plegadas del Flysch, y observaciones análogas pueden hacerse entre Vejer, Medina y Conil respecto á la arenisca del Algibe. Es cierto que en las sierras del campo de Gibraltar concuerda esta arenisca con las calizas y arcillas numulíticas, pero esto debe atribuirse, como ya se indicó anteriormente, á que esa zona sólo sufrió al finalizar el período eoceno un hundimiento en masa sin que las capas en ella depositadas llegaran á plegarse.

Veamos ahora la relación de estos depósitos con el Mioceno. En la región de las colinas puede decirse que hay perfecta concordancia entre la arenisca del Algibe, las capas del Burdigaliense y el Helvético; lo mismo ocurre con las capas de diatomeas, y si á esto se une el que estas algas microscópicas se encuentran también en abundancia entre las arcillas grises de la base del Mioceno, nada más natural, á primera vista, que el incluir en dicho terreno á los depósitos en cuestión. Pero si las relaciones estratigráficas en la región de las colinas conducen á este resultado, el estudio tectónico nos lleva á otro muy distinto. El hundimiento de la zona que limita por el E. la depresión principal, produjo como consecuencia inmediata la emersión definitiva de la parte de la Serranía constituida por las sierras del campo de Gibraltar, en cuyas cumbres, formadas por la arenisca del Algibe, jamás aparece el menor vestigio de rocas miocenas, en tanto que la transgresión del Burdigaliense invadió toda la región de las colinas. Este hecho incontestable permite asegurar que esa gran fractura es posterior al depósito de la arenisca del Algibe y anterior al del Mioceno, y como su importancia es más que suficiente para que el momento de su producción separe dos épocas bien definidas en la historia geológica del país, resulta justificado el separar provisionalmente del Mioceno las capas de diatomeas y la arenisca del Algibe, incluyéndolas en el sistema Oligoceno, mientras que por estudios posteriores, basados en documentos paleontológicos, no se resuelva definitivamente la cuestión. Si se incluye el piso Aquitaniense en el Mioceno, la única duda respecto á la edad de estas capas estribaría en si son del Oligoceno superior ó del Mioceno inferior.

a) *Arenisca del Algibe*.—La arenisca del Algibe está formada exclusivamente por pequeños granos de cuarzo, á veces sin el menor vestigio de cemento arcilloso ó calizo, y en estos casos resulta la roca tan deleznable que sólo la presión de los dedos basta para reducirla á arena. El color predominante en estas areniscas es el amarillo parduzco, y las hay también rojizas y completamente blancas. A veces el tamaño de los granos de cuarzo aumenta hasta alcanzar un centímetro de dimensión máxima, adquiriendo entonces la roca aspecto de pudinga. El espe-

sor de los bancos varía entre 0,80 y 5 metros, siendo algunas veces difícil distinguir los lechos de estratificación, que generalmente se acusan por la diferencia de dureza de unos bancos á otros (véase la fotografía VII) y también por la distinta manera de obrar sobre la roca la acción de los agentes atmosféricos. Esta falta de homogeneidad da origen, sobre todo cuando los bancos están muy inclinados, á grandes desfiladeros y acantilados que imprimen al país un aspecto áspero y quebrado.

El espesor total de la formación varía bastante de unos puntos á otros: es pequeño, y algunas veces insignificante, de 50 á 200 metros, en el cerro «Cabeza de Hortales»; en cerro Babuche, al O. de Algar; en Conil; entre Medina y Paterna; es decir, en todos los puntos situados al O. de la gran depresión Majaceite-Barbate; alcanza de 500 á 600 metros en la zona afectada por la fractura que atraviesa el Majaceite, entre su unión con el río de Ubrique y Algar; pero donde llega á su mayor desarrollo es en la Sierra del Algibe, macizo de 1.091 metros de altitud formado por un sinclinal de la formación, apoyado en las calizas numulíticas, que descansan á su vez sobre las margas neocomienses. «La Sierra del Algibe—dice el Sr. Mac-pherson—está enclavada entre dos ejes de mayor levantamiento; uno pasa al pie del pico del Algibe, y el otro al pie del Picacho, por el puerto de las Palomas. Este macizo tiene unos 4.000 metros de NO. á SE., y una elevación, aun en su parte más baja, de más de 1.000 metros sobre el nivel del mar. Al pie del Picacho, en el citado puerto de las Palomas, y como á unos 350 metros sobre el mar, salen á luz las margas blancas neocomienses debajo de las calizas numulíticas. Si los estratos del Picacho estuvieran en la horizontal la diferencia de niveles sería el espesor total de la formación, pero como los estratos del Picacho tienen un fuerte buzamiento al SE., y, además, la distancia desde las margas neocomienses al Picacho es considerable, resulta que el espesor es aún mayor y puede con seguridad concedérsele 1.000 metros como *minimum*.»

Al O. de Algar atraviesa el Majaceite una extensa mancha de este terreno, profundamente dislocado, según se ha dicho, por la gran fractura que bordea la Serranía. Entra el río en esta mancha cortando oblicuamente las capas, que orientadas al

O. NO., buzan 65° al S. SE. Al llegar á la cañada de Higuera cambia de rumbo al S. SE., y, por lo tanto, las corta en ángulo recto. A partir de la cañada de Rojítán empieza el río á deslizarse entre dos bancos contiguos, según la dirección de las capas, que en ese punto forman en proyección horizontal un arco cuya convexidad mira hacia el N. Al salir de este valle monoclinal vuelve á cortar el Majaceite, aunque en sentido inverso, la misma serie de capas comprendida entre las cañadas de Higuera y Rojítán. Unos tres kilómetros aguas abajo se ajusta el cauce á una falla en la que, como en otras varias situadas más al N., asoman las calizas numulíticas, y por último, al S. del vértice «Penitencia» vuelve el río á cortar en ángulo recto á la formación, continuando así hasta su desembocadura en la mancha triásica de Algar. En todo este trayecto circula el Majaceite por un estrechísimo valle, siendo muchos los sitios en que apenas queda espacio para el camino inmediato al cauce.

b) *Capas de diatomeas*.—Al O. de la barrera jurásica de que se ha hecho mención anteriormente, los depósitos oligocenos son de naturaleza marina, y consisten en arcillas algo calíferas de color gris claro y con sílice libre en abundancia. Cuando la proporción de caliza y sílice aumenta, la roca adquiere color blanco mate. La sílice proviene no sólo de los frústulos de las diatomeas, sino de infinidad de espículas de esponja, y de radiolarios.

El espesor de esta formación puede estimarse, aproximadamente, en 100 metros según puede observarse cuando, por efecto de la denudación en algunos parajes donde las capas están horizontales, asoman el Eoceno ó el Trias subyacentes. La estratificación no se presenta ordinariamente bien manifiesta á causa de la estructura maciza de la roca, que, además, suele verse cruzada en diversos sentidos por grietas de contracción de la parte superficial durante la estación seca; pero en líneas generales, y salvo los casos en que las capas han sido comprimidas entre las ramas de algún pliegue post-mioceno del Numulítico ó del Trias, puede comprobarse la posición horizontal de las mismas por la diferencia de color de los distintos niveles. Contienen tal abundancia de diatomeas, que desde muy antiguo llamaron la aten-

ción de los naturalistas, y si bien en la provincia de Cádiz no se había citado hasta ahora la presencia de estas capas, en la de Sevilla, junto á Morón, han sido objeto de detenidos estudios é investigaciones científicas, habiéndose discutido no poco acerca de su edad. A este propósito, transcribiremos los párrafos siguientes del eminente diatomólogo español D. Florentino Azpeitia, en su obra «La Diatomología española en los comienzos del siglo XX».

«Mr. Carez — dice — en el «Annuaire géol. univers.», t. IX, 1892, «Systèmes triasiques et jurasiques», pág. 246, indica la edad triásica para la roca de Morón, y aun cuando se trata de la opinión respetable de un geólogo ilustre, no ha hecho prosélitos; nadie le ha seguido por tal camino, y la idea fué desechada desde el primer momento.

»La mayor parte de los geólogos españoles y extranjeros que han tratado del asunto, consideran la *moronita* de edad *eocena*, opinión con la cual yo no estoy conforme, por creerla mucho más moderna. Se ha exagerado indudablemente la extensión de las manchas numulíticas en el Sur de la península. El punto de partida de esta equivocación se encuentra en el anuncio hecho por de Verneuil et Collomb, de haber encontrado *nummulites* en algunos puntos de Andalucía. Cierto es que en la región andaluza se encuentran algunos de esos nummulites verdaderos, pero en la misma colección de Verneuil, conservada en la Escuela de Minas de París, encontró Douvillé ejemplares de *lepidocyclina* perfectamente característicos del *aquitaniense*, aunque etiquetados como verdaderos nummulites, los cuales procedían de diferentes localidades del Sur de España; de este modo queda demostrado que una gran parte de las manchas que se tenían como *eocenas* habría que considerarlas en adelante como *aquitanienses*.

»En la obra citada, págs. 99 y 126, dice Douvillé que la *moronita* de Calderón debe ser *Aquitaniense* ó *Burdigaliense inferior*...

»Todavía hay más opiniones respecto á la edad de la *moronita*. El Sr. Calderón consultó á Mr. Schlumberger, y en la contestación que obtuvo, publicada después por Cala, se lee, refirién-

dose á los Foraminíferos contenidos en la *Moronita*: *á primera vista me parecen pertenecer al mioceno ó al plioceno.*»

Las capas de diatomeas forman á veces pequeños isleos en el Trias, y como la verdadera estratificación, en estos casos, rara vez puede observarse, no es extraño que Carez en una rápida visita á la región de Morón considerase á la *moronita* como triásica. En el mismo error incurren los señores Calderón y Paul, primero, y Cala, después: todos ellos, en sus trabajos, incluyen á la *moronita* en la serie de las margas abigarradas del Trias, y si asignan á aquella roca edad eocena es porque clasifican erróneamente de eocenas las capas todas de la formación triásica.

Las capas de diatomeas cubren una extensa faja de terreno, casi sin solución de continuidad, entre Lebrija, Trebujena, Sanlúcar, Rota, Puerto de Santa María y Jerez. En todos estos puntos la roca diatomífera se conoce con el nombre vulgar de *albariza*, y da por su descomposición origen á las tierras vegetales llamadas albarizas y barros blancos, muy estimadas para el cultivo de la vid que produce el afamado vino de Jerez. Otras manchas más reducidas figuran al O. de Espera, al O. y SO. de Arcos, al S. de Villamartín y al E. de Jerez, demostrando que la formación diatomífera cubrió primitivamente toda esta parte de las provincias de Sevilla y Cádiz.

3.º Sistema mioceno. — En la región hundida al O. de la depresión principal, se formó durante el período mioceno una cuenca marina alargada en dirección NE. á SO., que es, aproximadamente, la del valle actual del río Guadalete. Esta cuenca debió estar limitada al E. por las Sierras jurásicas de Santa Lucía y Pajarete, los montes numulíticos y oligocenos de Prado del Rey y Algar, el macizo jurásico de la Sierra del Alajar y las colinas eocenas y oligocenas que desde esta Sierra se extienden hasta Barbate; y al O., por una serie de alturas formadas por el Flysch eoceno y las capas de diatomeas, en gran parte derrubias por las crecidas del Guadalquivir, capas que debían extenderse entre Las Cabezas de San Juan y Rota, pasando por las lomas de Trebujena.

Los sedimentos más antiguos del Mioceno son de edad *burdigaliense*, y consisten en una serie de arcillas, molasas y are-

niscas deleznales, que en total tienen 100 metros de espesor. Las arcillas ocupan la parte inferior de la formación y se apoyan sobre los depósitos eocenos ú oligocenos; rara vez sobre el Trias: son de color gris claro, plásticas á veces, otras muy arenosas y ásperas al tacto, y siempre con muy pocos restos orgánicos, como no sean los radiolarios, las espículas de esponjas y las diatomeas, si bien estas algas microscópicas se encuentran en estas capas en proporción infinitamente menor que en las del Oligoceno. Sin embargo, merece anotarse su presencia porque sirven para diferenciar estas capas de otras de composición y aspecto análogos que se superponen á las calizas toscas del Helvético, cuando, por estar cubiertas por el manto de tierra vegetal, no es posible apreciar las relaciones estratigráficas. El espesor de estas arcillas no es constante, y está subordinado al de las areniscas y molasas superiores. Estas últimas son de color amarillento y muy calíferas: forman capas de 20 á 30 centímetros de espesor y contienen restos fósiles muy abundantes aunque en mediano estado de conservación, predominando: *Flabelliptecten expansus* Sow., *Opisaster Almerai* Lamb., *Echinolampas atrophus* Lamb. y *Echinolampas San Micheli* Lovisato, á más de otra porción de huellas inclasificables de lamelibranquios, y algunos péctenes no estudiados. Las areniscas son sincrónicas de estas molasas y sólo se desarrollan donde éstas faltan. A veces son compactas, pero por regla general se reducen á arena apelmazada, amarillenta, con los mismos fósiles que la molasa, aunque algo más escasos.

Sobre las capas del Burdigaliense descansa, con espesor bastante considerable, una serie de calizas toscas y areniscas calíferas, casi exentas de cuarzo, pertenecientes al Helvético. Examinando atentamente un trozo de estas rocas se ve que están formadas por pequeños fragmentos de conchas de moluscos, políperos y colonias de briozoarios, pero contienen además innumerables fósiles perfectamente conservados, en especial gran cantidad de péctenes pertenecientes á distintas especies, entre las cuales son las más frecuentes: *Flabelliptecten planosulcatus* Math., *Pecten aduncus* Eich., y *Pecten latissimus* Brocchi. Se encuentran además la *Cardita Jouanneti* Basteroi, el *Pectunculus insubricus* Brocchi y el *Spatangus corsicus* Desor. El *P. opercularis*

Lin., cubre la superficie de algunas capas. La caliza tosca se presenta de ordinario en gruesos bancos de 2 y 3 metros de espesor, y se emplea con buen resultado como piedra de construcción; da origen á grandes crestones que resaltan en la superficie sobre los bancos más deleznales que la soportan (fotografía X), ó á acantilados verticales, cuando alguna falla viene á cortar la estratificación (fotografía VIII).

Otras veces la roca se hace muy arenosa é incoherente siendo entonces notable su estructura, por la que se pone de manifiesto su modo de formación: la masa arenosa de una capa de 2 á 3 metros de espesor queda, en efecto, dividida en delgados lechos de 10 á 15 centímetros por planos de estratificación que cortan al techo y al muro bajo un ángulo variable de 10° á 30° según la capa y el punto considerado, demostrándose así que dichas capas fueron creciendo, no de abajo á arriba, sino lateralmente por la sucesiva yuxtaposición de esos estratos inclinados (fotografía IX). Este hecho, que al parecer está en desacuerdo con el modo cómo se lleva á cabo la sedimentación de los materiales en el seno de las aguas, tiene su explicación por la facies esencialmente costera y de playa de esta parte de la formación miocena. Durante su depósito, las arenas, arrastradas desde la playa por el viento, debieron irse almacenando en alguna llanura inmediata al mar, y, en su avance constante tierra adentro, fueron progresivamente aumentando la capa eoliana en formación por lechos sucesivos adosados á su borde interno.

Esta misma disposición, esta misma falta de paralelismo entre los estratos que integran una capa y los planos que le sirven de techo y muro, se observa en las dunas llamadas de la Meca, al O. de la desembocadura del río Barbate: el viento de Levante, que con tanta insistencia é intensidad sopla en aquellos parajes, arrastra las arenas de la playa, que salvan la suave pendiente que por ese lado presentan las alturas inmediatas, y ya en la parte alta de las mesetas del Tajo y de la Meca forman, por su acumulación, varias líneas de dunas cuyo crecimiento impide el mismo viento, pues cuando sopla con fuerza arrastra las cimas de los montículos y esparce las arenas, que rellenan entonces las depresiones y nivelan de nuevo la superficie. De esta manera

van avanzando incesantemente en las mesetas esas capas arenosas, cuyo espesor suele ser de 2 á 3 metros, y que se extienden horizontalmente sin ganar altura. El talud de las arenas en el borde opuesto al viento varía con el tamaño de los granos, con la dirección de la corriente aérea y, principalmente, con su velocidad, pues cuanto mayor es ésta, más pequeño resulta el talud correspondiente. En los sitios donde las aguas, con el carbonato de cal que generalmente contienen, han *fijado*, por así decirlo, la estratificación de la duna, aparece la misma disposición inclinada de los estratos que se observa en las calizas toscas arenáceas del Helvético, poniéndose así de manifiesto que estos fenómenos obedecen á causas idénticas.

El conjunto de capas del Burdigaliense y del Helvético ha sido plegado en una serie de anticlinales y sinclinales á raíz del depósito de este último terreno. Este plegamiento, que en algunos sitios ha adquirido verdadera importancia, levantando los estratos hasta la vertical, ha sido el último que ha producido dislocaciones de importancia en la región, pues los terrenos depositados con posterioridad apenas se han desviado de la posición en que se sedimentaron, según vamos á ver seguidamente.

A pesar de los grandes derrubios, las capas burdigalienses y helvéticas, generalmente unidas, cubren grandes extensiones tanto en la provincia de Sevilla como en la de Cádiz. La colina sobre que se asienta Villamartín, así como toda la línea de cerros que arranca de ella y se extiende hacia el S., paralelamente á la faja del Flysch eoceno, están formadas por las areniscas inferiores, cuyas capas, orientadas de N. NE. á S. SO., buzán 20° al E. SE. Las mismas capas se encuentran del otro lado del río, entre el cortijo de la Cordillera y el vértice «Habar», con idéntica dirección pero con buzamiento contrario.

Entre Espera y Bornos las molasas inferiores y las calizas toscas forman una serie de pliegues que oportunamente describiremos y que ocupan el centro de la cuenca miocena. El camino de Espera á Bornos atraviesa dos veces las molasas del Burdigaliense, que en el rancho de Algaralejo se presentan muy fosilíferas.

Al O. de Espera comienza una faja burdigaliense y helvética

ca que se prolonga al S. SO. por la Sierra Gamaza y se enlaza con la gran mancha de arcillas del Mioceno inferior que por los cortijos de la Torre, Jédula y Vico, se extiende hasta las orillas del Guadalete, donde termina.

Las arcillas inferiores de esta mancha han conservado generalmente la posición horizontal en que se depositaron, como puede comprobarse en el cauce del Arroyo de los Charcos, en su cruce con la cañada de Jerez á Bornos; en la margen derecha del Salado de Espera, cerca de los azufrales de Arcos; en el arroyo del Chivo, junto al cortijo de la Jareta, y en otra porción de sitios que sería prolijo enumerar.

Las capas de caliza tosca debieron extenderse en otro tiempo hasta las márgenes del Majaceite, por el E., y hasta las Sierras de las Cabras y Alajar, por el S., como lo atestigua por una parte el cerro llamado Cabeza de Hortales, donde el Helvético descansa sobre la arenisca del Algibe, y por otra, los restos de dicha caliza, con abundantes ostreas del grupo de la *O. crassissima*, que se apoyan en la falda de los montes jurásicos de los alrededores de Tempul.

Entre el Puerto de Santa María y Jerez, en la Sierra de San Cristóbal, el Burdigaliense y el Helvético, superpuestos á la formación diatomífera, adquieren espesores bastante crecidos, y allí se explota en varias canteras la caliza tosca de este último horizonte para piedra de construcción, muy empleada por cierto en toda la comarca.

Entre Conil y Vejer aparecen también las calizas toscas y las arcillas burdigalienses cubriendo grandes extensiones, y las primeras, en unión de las capas de la arenisca del Algibe, comunican á esa parte de la provincia los rasgos más salientes de su topografía.

Después del plegamiento del Burdigaliense y del Helvético continuó sumergida la región bajo las aguas marinas, y en todas las depresiones se depositaron unas arcillas grises, plásticas, parecidas á las del Mioceno inferior, y con abundantes restos fósiles en perfecto estado de conservación, sobre todo de lamelibranchios y foraminíferos. La *Pleuromectia cristata* Brönn, el *Flabellipecten Ugolinii* Dep. y Roman, el *Arca diluvii* Lamk., la

Fronicularia annularis d'Orb. y la *Robulina cultrata* d'Orb., caracterizan á estos depósitos, y aunque de estos fósiles algunos pasan al Plioceno, el segundo está acantonado en el Mioceno entre los pisos Helvético y Póntico. No es posible, sin embargo, clasificar con ellos de un modo concreto esta formación arcillosa, siendo necesario para fijar un límite inferior á su edad recurrir á las relaciones estratigráficas con los pisos inferiores del Mioceno.

Al finalizar el depósito de estas arcillas se inició un período de regresión marina, como lo demuestran las capas costeras que se les sobreponen. Estas capas costeras son unas areniscas silíceas de grano grueso que en algunos sitios pasan á verdaderos conglomerados que empastan trozos de caliza helvética; son de color amarillento claro, su espesor oscila entre 40 y 50 metros y contienen muchas conchas de *Ostrea* de gran tamaño.

Paralelamente á estas areniscas, que aparecen muy bien caracterizadas al O. y al S. de Villamartín, se desarrollan en Lebrija y en Jerez 25 ó 30 metros de arenas llenas de restos orgánicos, y que en algunos sitios llegan á constituir verdaderos *fahluns*.

Entre los fósiles hallados en las arcillas y en las areniscas de Villamartín hay algunos que corresponden al Tortonense, y, por lo tanto, no carecería de fundamento el incluir en este terreno á dichas formaciones, pero la discordancia patente de todos estos depósitos con el Helvético, y el hecho de que los últimos plegamientos alpinos correspondan precisamente al final del Tortonense induce á considerar á aquellas capas como términos marinos del período Sarmático. La solución definitiva de esta cuestión, habría que basarla en un estudio completo de las faunas de todo este conjunto de capas.

Las arcillas con *Pecten Ugolinii* están bastante desarrolladas en el término de Villamartín, tanto al E. y al SE. del pueblo, donde están apoyadas sobre las areniscas burdigalienses, como al O., donde se albergan en el sinclinal que forman las capas de la Sierra de Carija con las que van del cortijo de la Cordillera al vertice «Habar». Las de la primera faja se hallan al descubierto en los cauces de los arroyos Serracín, Alberite y Zanjar y en las

afueras del pueblo junto á la carretera de Ronda, donde se las explota para la fabricación de objetos de alfarería; las de la segunda, en diferentes puntos del arroyo Almarda.

Se encuentran también estas arcillas al N. de Arcos de la Frontera, junto á las márgenes del Guadalete; al E. de Espera, y en las «Mesas de Asta», entre Jerez y Trebujena.

Las areniscas silíceas afloran al O. de Villamartín entre los cortijos de la Perdiz y del Regantío, orientadas al N. 10° E. y buzando entre 10° y 15° al E. 10° S. Pero este buzamiento sólo se observa en el borde de la formación, que queda después horizontal entre el Cortijo del Convento y el arroyo de Zanjar.

Las arenas fosilíferas que se desarrollan paralelamente á estas areniscas, se encuentran bien caracterizadas, como ya hemos dicho, en las inmediaciones de Lebrija, en el Cuervo, en las Mesas de Asta y en los alrededores de Jerez. Contienen infinidad de *péctenes* y *ostreas*, entre los primeros el *P. excisus* Bornn (1).

Los depósitos posteriores á estas arenas constan de dos partes: la inferior es una arcilla silícea completamente exenta de carbonato de cal; su color varía del blanco al pardo, tiene unos 20 metros de espesor y con frecuencia se intercalan en su masa lechos de 10 á 20 centímetros de sílex, ó de calizas lacustres fuertemente impregnadas de sílice. Se le designa en el país con el nombre de tierra de Lebrija, y por la finura de sus elementos y la ausencia de carbonato de cal se emplea en la clarificación de los vinos. La parte superior consiste en una caliza lacustre, con *Planorbis* y otros moluscos de agua dulce, cuyo espesor normal oscila entre 8 y 10 metros; se explota en la mayor parte de sus afloramientos como excelente piedra de cal.

En Lebrija, en el cerro del Castillo, las capas lacustres, concordantes con las arenas marinas, buzán 5° al E. NE., y debido á esto los estratos de la cumbre del citado cerro vienen á formar el subsuelo de la población en su extremo oriental. Las arcillas

(1) La presencia de este fósil, y más aun el aspecto general de la formación nos induce á creer que estas arenas corresponden al Plioceno medio, aun cuando sobre ellas descansan depósitos lacustres en Jerez y en Lebrija. (Véase la nota de la página 46.)

quedan al descubierto en el centro del pueblo, en los bordes de la cortadura que sigue la calle Cataño, y á cuyos taludes casi verticales están adosadas las casas de esta calle.

En el cerro de «San Benito», las calizas lacustres y las arcillas inferiores forman un sinclinal apoyado sobre las arenas marinas, que á su vez descansan sobre las capas de diatomeas.

Las arenas, tanto en este paraje como en el Cuervo y en los alrededores de Jerez, forman un importante manto acuífero. En el cerro de San Benito el agua infiltrada en estas arenas alimenta la galería colectora del «Fontanal», que surte de agua potable á Lebrija; en las Mesas de Asta dan origen á una porción de manantiales con los que se riegan las huertas de aquel pago; y en la llanura jerezana sirven de cuenca de recepción á la capa acuífera que abastece á los pozos ordinarios y á algunos manantiales que, como el de «Los Albarizones», brotan en el contacto con las arcillas en que descansan.

En el Cuervo adquieren las calizas lacustres gran desarrollo; á veces faltan las arcillas, quedando entonces las primeras en contacto directo con las arenas.

En las Mesas de Asta faltan también las arcillas, y entre las arenas se intercalan algunos bancos de silex que marcan un tránsito insensible entre el régimen marino y el lacustre.

Al NE. de Jerez, entre el cortijo de Arroyo Dulce y el coto de Majarazotán, existe también un reducido retazo de caliza lacustre que se explota, como de costumbre, para la fabricación de cal.

4.º **Sistema plioceno.**—Los depósitos indiscutiblemente pliocenos de la provincia de Cádiz se encuentran en la zona costera. Entre el Puerto de Santa María y Rota las arenas del Astiense con *Pleuromectia cristata* Bronn y *Pecten excisus* Bornn, se apoyan unas veces sobre la caliza tosca helvética, otras sobre las capas de diatomeas, otras, en fin, sobre el Flysch eoceno. Corresponde también al Astiense un depósito formado de arenas de grano grueso con abundantes restos fósiles pertenecientes á los géneros *Ostrea*, *Anomia* y *Pectunculus* y que encierra además multitud de cantos rodados de cuarcita: en las localidades gaditanas se conoce esta roca con el nombre de *piedra ostionera*, y

procede de la consolidación del cordón litoral del mar plioceno. En todo el trayecto comprendido entre el Puerto de Santa María y Rota los depósitos astienses no exceden de 40 á 50 metros de espesor.

Al O. de Conil, sobre las calizas toscas del Helvético, se desarrolló la formación pliocena con el mismo aspecto que entre Rota y el Puerto de Santa María. En Vejer, entre la población y la laguna de la Janda, se encuentran unas arenas incoherentes materialmente cuajadas de conchas de *Mytilus*, que también parecen corresponder al Plioceno.

SERIE CUATERNARIA

1.º **Epoca pleistocena.**—Los sedimentos cuaternarios ocupan grandes extensiones en la región estudiada, y pueden agruparse del siguiente modo:

- a) Conglomerados antiguos del Guadalete.
- b) Depósitos de *loess* y légamos arenosos de las mesetas.
- c) Formación travertínica de los alrededores de la Sierra de Gibalbín.
- d) Diluvium rojo.
- e) Aluviones y légamos actuales de los ríos.
- f) Dunas.

Los dos últimos continúan formándose en la actualidad, y corresponden, por lo tanto, á la época contemporánea; los restantes deben incluirse en el Pleistoceno.

a) *Conglomerados antiguos del río Guadalete.*—A lo largo del valle del Guadalete y formando una faja como de 3 kilómetros de ancho á lo largo de su cauce actual, se encuentran restos de un banco de conglomerado compacto de 3 á 15 metros de espesor. Los elementos que lo integran son en su mayor parte cantos rodados de calizas triásicas, jurásicas y numulíticas, pero no faltan algunos trozos de areniscas y margas triásicas y bolas de ofita. Rellenando los huecos entre los cantos rodados, y formando á veces lechos independientes, se presentan arenas silíceas de grano grueso.

Entre Puerto Serrano y Villamartín se conserva todavía gran parte de la primitiva capa, que cubre grandes extensiones, principalmente en la margen izquierda del río, entre Huertema y el cortijo de la Vega del Rey, donde se encuentra á 60 metros sobre el nivel del cauce actual.

En la margen derecha, entre los cortijos del Algarrobo y las Gateras, existen peñones voluminosos desgajados de la capa principal, que descansan directamente sobre las arcillas y yesos del Trias. Más al S. se encuentran también los mismos conglomerados junto al molino de Ríos y el rancho de Escuchagrano.

Al E. de Villamartín, los arroyos de Serracín y del Judío han labrado sus cauces en los conglomerados diluviales, que se sobrepone indistintamente á las arcillas y á las areniscas del Sarmático. Entre Villamartín y Bornos, y á ambos lados de la carretera que une á estos pueblos, se observan algunos restos aislados de esta formación, como también hacia el rancho del «Cañuelo», y en las lomas que rodean al cortijo de la «Tablilla».

Al N. de Arcos alcanzan también los conglomerados gran desarrollo, especialmente al pie de la Sierra del Calvario, desde donde continúan al S. hasta la confluencia de los ríos Guadalete y Majaceite. Por último, retazos de esta misma formación existen en el término de Jerez, junto al cortijo de Grededuela, en los cerros inmediatos al convento de Cartuja, y cerca del Portal, en el ferrocarril de Sevilla, donde por su incoherencia, se separan fácilmente las gravas, que se utilizan para el afirmado de las carreteras y como balasto para la vía férrea.

b) *Depósitos de loess y légamos arenosos de las mesetas.*—Incluimos en esta sección á los depósitos diluviales que no guardan relación directa con ninguno de los cursos de agua que hoy día cruzan la comarca, y que, por lo tanto, deben su origen á los arrastres producidos por las aguas de escurrimiento superficial. Se encuentran siempre cubriendo amplias mesetas cuya altura sobre el nivel actual de los ríos oscila entre 20 y 50 metros, y son más modernos que los conglomerados del grupo a sobre los cuales descansan á veces.

Dentro de la zona objeto de nuestro estudio se agrupan en cuatro grandes manchas: la primera se extiende al E. de Villamartín, paralelamente á las dos líneas de colinas que la limitan, y se apoya por una parte sobre el Sarmático y los conglomerados diluviales y por otra sobre el Trias y el Jurásico de las Sierras de Santa Lucía y Pajarete; es de composición esencialmente arenosa y de muy reducido espesor, por lo que, con frecuencia, los arroyos que la cruzan descubren las formaciones inferiores.

La segunda se encuentra al E. de Lebrija y al S. de la laguna de Valdelejo, y tiene la misma composición y el mismo aspecto que la anterior.

La tercera mancha, al SO. de Arcos, es sin duda la más im-

portante, y comprende desde la falda de la Sierra del Valle hasta el arroyo del Lentisco, quedando dividida por el río Guadalete en dos partes próximamente iguales. Sólo interrumpen su continuidad algunos asomos de terreno terciario, siendo su espesor de unos 20 metros, según puede comprobarse en el corte producido por el arroyo de Zumajo. Se compone exclusivamente de arena silícea de grano más ó menos grueso y algunos lechos de grava que marcan la estratificación. Cuando estos lechos coinciden con la superficie del terreno, las lluvias arrastran las arenas, quedando el suelo cubierto de cantos rodados de color rojizo que podrían tomarse á primera vista por el resultado de la desagregación de los conglomerados del grupo a.

La mancha cuarta, al E. de Jerez, sigue aproximadamente la cuenca del arroyo «Salado de Caulina», y donde mejor puede estudiarse por ofrecer cortes naturales, es al SE. de la población, á lo largo de la carretera de Algeciras. Descansa la formación sobre las arenas con *Pecten excisus* y consta: en la parte inferior, de 2 á 3 metros de espesor de *loess* arcilloso de color amarillento muy cargado de carbonato de cal, con concentraciones de esta última substancia de formas irregulares que se destacan del resto de la masa por su color enteramente blanco; y en la superior, de una capa arenácea, análoga completamente á la de las manchas pleistocenas de Lebrija y Villamartín, con espesor que oscila entre 1 y 10 metros.

c) *Travertinos de los alrededores de Gibalbín*.—Los terrenos bajos inmediatos á la Sierra de Gibalbín están cubiertos por un depósito de travertino blanco terroso que en las márgenes del arroyo Bermejo queda al descubierto con un espesor de 18 á 20 metros, y que tanto al O. como al S. y SE. de la Sierra descansa sobre las arcillas y yesos triásicos. La presencia de estos travertinos debe estar ligada á fuentes termales dependientes á su vez de la gran falla que corta las calizas numulíticas, aun cuando también podrían provenir de la desecación de una laguna de agua dulce limitada por la base de la Sierra y las alturas próximas.

d) *Diluvium rojo*.—En Lebrija, entre los cortijos de Paternilla y del Cubo; en Jerez, al N. del vértice «Loma del Torno» y en

las inmediaciones de la ciudad; y en otros varios sitios ocupados por los depósitos pleistocenos cubre grandes extensiones una tierra arcillosa, exenta de cal, y de color rojo vivo, que puede referirse al «diluvium rojo». Este depósito, producto del metamorfismo externo, proviene de la descalcificación del *loess* y de los limos arcillosos, y debe su coloración rojiza á la sobreoxidación de las sales de hierro bajo la influencia del agua pluvial y del aire.

Su espesor no es constante; aumenta en aquellos lugares que por sus condiciones especiales han permitido más fácilmente el libre acceso del agua y del aire, y parece depositado en un suelo recortado de antemano por arroyuelos y grietas. Contiene siempre en su masa trozos angulosos de sílex, cuya presencia la explica Mr. S. Wood por las alternativas de hielo y deshielo de un suelo que á cierta profundidad se conservaba constantemente helado; estas alternativas, alterando la corteza superficial, facilitaban la penetración del agua y del aire hasta la zona en que la congelación era permanente, y sometían á los objetos contenidos en ella, sobre todo á los sílex, á cambios bruscos de temperatura que les hacía resquebrajarse. De este modo, en vez de un simple fenómeno atmosférico que se continúa en nuestros días, la producción del diluvium rojo debe ser considerada como el resultado de una fase especial de la época pleistocena en que un frío seco é intenso provocaba la congelación permanente del suelo á partir de cierta profundidad.

2.º *Epoca actual*.—e) *Aluviones y légameos actuales de los ríos*. Los depósitos del valle del Guadalete son de muy escaso interés, ya que ni por su extensión ni por su espesor presentan nada de notable, quedando reducidos á arenas y gravas sueltas que rellenan el lecho menor del río y á un manto de limos arcillosos que se extiende sobre las vegas que inunda con sus avenidas. Creemos, pues, innecesario entrar en más detalles acerca de este punto.

Por el contrario, los aluviones del Guadalquivir forman entre Sevilla y la costa atlántica el subsuelo de una inmensa llanura pantanosa surcada por canales más ó menos profundos, que no son otra cosa que los distintos cauces abiertos por el Guadalquivir en el relleno de su estuario durante el período divagante.

En la estación lluviosa las avenidas del río desbordan estos cauces, y las aguas inundan varios centenares de kilómetros cuadrados en las marismas, que por su perfecta horizontalidad y su escasísima altura sobre el nivel medio de las aguas del río tardan en desaguarse meses enteros, y aun en ciertos puntos la desecación completa no se lleva á efecto sino mediante la evaporación, en verano, del agua allí estancada. La falta absoluta de cortes naturales impide estudiar directamente la composición y el espesor de estos depósitos, que sólo conocemos en algunos metros merced á los sondeos realizados por la Sociedad Pambanco para la exploración de los gases combustibles que contienen aquellos aluviones. Sin embargo, los depósitos de los estuarios de los grandes ríos tienen entre sí tanta semejanza, y se forman obedeciendo á leyes tan generales, que no es aventurado suponer que los que rellenan el del Guadalquivir presenten una sucesión de materiales detríticos cuyas dimensiones, en conjunto, vayan disminuyendo paulatinamente de abajo á arriba, desde los cantos rodados del fondo hasta los légamos arcillosos de la superficie. Pero del mismo modo que el río, aguas abajo de Sevilla, se divide en la actualidad en varios brazos que se vuelven á reunir antes de lanzarse al mar y en los que de preferencia se sedimentan los productos de las crecidas, así durante el relleno propiamente dicho del estuario, habrán cruzado la llanura en formación innumerables canales, que, cambiando fácilmente de recorrido, toda vez que abrían sus cauces en un terreno poco consistente y de composición muy heterogénea, irían repartiendo los materiales arrastrados por las riadas de manera, hasta cierto punto, arbitraria, y sin obedecer á la uniformidad característica de la sedimentación marina.

La irregularidad, tanto en la superposición como en la yuxtaposición de los depósitos del estuario, debe ser muy grande puesto que están formados por corrientes de agua divagantes cuyo curso, dirección y velocidad variaba á cada momento.

En las marismas del Guadalquivir el depósito más superficial consiste en un lodo arcilloso gris azulado ó negruzco, en ciertos sitios algo arenáceo, materialmente cuajado de conchas de moluscos correspondientes á géneros y especies que viven, sin

excepción, en la actualidad, en la desembocadura de los ríos de esta parte de Andalucía: *Cardium edule* Linné, *Scrobicularia plana* Da Costa, *Tellina Cumana* Da Costa, *Murex brandaris* Linné, *Murex Trunculus* Linné, etc.

El espesor de estos lodos arcillosos aumenta á medida que nos acercamos al centro del estuario, esto es, hacia el cauce actual del Guadalquivir, si bien con evidente irregularidad, como se desprende de lo que acabamos de decir.

Debajo de las arcillas, y á profundidades variables entre 20 y 40 metros, han puesto de manifiesto los sondeos de exploración de gases en Pambanco la presencia de capas de gravas de diferentes tamaños y algunos lechos de arenas marinas con conchas de moluscos muy rodadas que sin duda la corriente de la marea, en las horas de creciente, hacía remontar antiguos cauces hoy cegados. El espesor del relleno del estuario no se conoce con exactitud en ningún punto, pues el único sondeo que llegó á 167 metros de profundidad, penetrando en el terreno eoceno, no se sabe á punto fijo cuándo pasó de las arcillas aluviales á las arcillas y margas terciarias.

Las conchas de moluscos que en cantidades fabulosas se encuentran hoy entre las arcillas superiores del relleno del estuario no deben considerarse como restos de moluscos que, viviendo en el sitio preciso en que ahora se encuentran, fueron enterrados por los sucesivos depósitos de las crecidas; su hacinamiento y su estado fragmentario indica bien á las claras, sin necesidad de invocar otras razones, que esas conchas han sido removidas por las olas, después de ser desprovistas del animal, y acumuladas y mezcladas con los légamos en formación. Pero si pudiera haber alguna duda respecto á la exactitud de esta suposición, bastaría comparar estos depósitos con los que actualmente se forman en otros puntos de la costa gaditana.

En las salinas del Puerto de Santa María y San Fernando, que están enclavadas en marismas idénticas á las del Guadalquivir, correspondientes á estuarios rellenos de varios ríos que desembocan en la bahía de Cádiz, puede apreciarse cómo llegan las conchas de los moluscos á formar esas acumulaciones. En los grandes depósitos de evaporación abiertos en el mismo fango de

la marisma viven multitud de individuos del *Cardium edule* y la *Scrobicularia plana*, que, como ya hemos dicho, son las especies que más abundan en las marismas de Lebrija; las conchas de estos moluscos, muertos, desprendidas ya del fondo, son arrastradas poco á poco hacia los bordes de los depósitos, donde llegan á formar capas de 10 y 15 centímetros de espesor, cimentadas, á falta de otro elemento, por fragmentos menudos de las mismas conchas.

Hasta la fecha no se ha comprobado la existencia en el estuario del Guadalquivir de otros depósitos de origen orgánico que las arcillas conchíferas de la parte superior; y la turba, substancia que con frecuencia se forma también en los estuarios, sólo se ha encontrado en el del río Guadalete, al pie de la Sierra de San Cristóbal, en capas de espesor muy reducido.

f) *Dunas*.—Entre el pueblo de Barbate y el cabo de Trafalgar corre una faja de dunas de 2 á 3 kilómetros de anchura que cubren, según los puntos, la caliza tosca del Helvético ó las arcillas grises del Flysch eoceno. Estas dunas avanzan constantemente de E. á O. impulsadas por el viento de Levante que con tanta violencia como constancia sopla en las costas inmediatas al estrecho de Gibraltar. Por debajo de la capa de arenas movedizas asoman de vez en cuando bancos de arena cimentada conteniendo alguna que otra concha del *Pecten varius*, y donde se manifiesta la estratificación inclinada á que nos referimos anteriormente, al tratar de los depósitos miocenos. Los cerros de arena voladera tienen en toda esta zona muy poca altura, y en la parte superior de la meseta del Tajo ó de la Breña sólo se extiende una capa de espesor regular de 2 á 3 metros, que con frecuencia deja asomar el Helvético infrayacente. De la meseta del Tajo pasan las arenas, impulsadas por el Levante, á la de «La Meca», donde también la faja de dunas alcanza una anchura superior á 2 kilómetros, resultando con esto un paisaje al que encaja perfectamente ese nombre con que fué designado por los árabes, pues, según consignó el Sr. Mac-pherson, parece un traslado fiel de las cercanías de la ciudad Santa del Profeta. Es digno de notarse que en la parte superior del promontorio queda al descubierto la caliza tosca, y por efecto del continuo roce

de los granos de arena con la roca resulta ésta con un pulimento tan perfecto que á primera vista parece que ha sido sometida á un esmerilado artificial.

Entre Rota y Chipiona también hay grandes extensiones cubiertas por las arenas voladeras; pero rara vez dan lugar á verdaderas dunas, si se exceptúa una faja de 100 á 200 metros de anchura, paralela é inmediata á la costa. Descansan estas dunas, por regla general, sobre las arenas del Plioceno ó sobre algunos asomos del Flysch numulítico, y en las inmediaciones de Rota cubren en largo trecho directamente las capas de diatomeas.

Algún desarrollo adquieren también las dunas entre el Salado de Rota y el Puerto de Santa María: los montículos llegan á alcanzar 20 ó 30 metros de altura, y la faja se extiende hasta 3 kilómetros desde la orilla del mar, si bien la arena voladera ha llegado á invadir hasta parajes que, como la «Laguna salada», distan del mar 5 ó 6 kilómetros. Cerca ya del Puerto, delante del castillo de la Pólvara, puede observarse también, aunque en menor escala que en Barbate, la estratificación inclinada de las arenas en las dunas ya consolidadas.

CAPÍTULO TERCERO

ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS EN LA REGIÓN GADITANA

CAPACIDAD PRODUCTORA DE LA FORMACIÓN GEOLÓGICA DE DONDE PROCEDEN.

YACIMIENTOS SECUNDARIOS DE PETRÓLEO

DESCRIPCIÓN DE LAS EMANACIONES DE PETRÓLEO Y GASES COMBUSTIBLES COMPROBADAS EN AQUELLA REGIÓN

La cuestión más interesante en lo relativo á las regiones petrolíferas de Sevilla y Cádiz, y de mayor transcendencia desde el punto de vista de su explotabilidad, es la de determinar el origen de las manifestaciones de petróleo y gases combustibles que aparecen en la superficie; y es de tal importancia el asunto, que cuantas afirmaciones se hagan respecto á dicha explotabilidad sin fundamentarlas en un estudio completo donde se dilucide tal extremo, quedan en el aire y carecen en absoluto de valor.

Aventurado sería, ciertamente, asegurar que existen en el subsuelo depósitos de petróleo de verdadera importancia por el mero hecho de que en la superficie se registren ligeras emanaciones de gases combustibles ó de petróleo; pero tampoco se puede negar que tales depósitos existan sin haber demostrado antes que esas emanaciones proceden de una fuente incapaz de producir grandes masas de dicha substancia, esto es, sin haber estudiado el poder productor de la formación geológica origen de las manifestaciones superficiales.

Planteado así el problema tenemos que tratar separadamente de los dos puntos siguientes:

- A) Origen de los hidrocarburos en la región gaditana.
- B) Capacidad productora de la formación geológica de donde proceden.

Para la determinación de las zonas que, por su tectónica especial, reúnen las condiciones necesarias para la acumulación del petróleo, punto del cual trataremos en el Capítulo cuarto, preciso es de antemano fijar las circunstancias que concurren en la formación de los yacimientos secundarios de petróleo. A este objeto, expondremos las diversas teorías que se han emitido sobre el particular, y ésta será la tercera cuestión de que habremos de tratar en este Capítulo. Por último, haremos una descripción detallada de las manifestaciones petrolíferas que se han observado en la región.

A) Origen de los hidrocarburos en la región gaditana. — Si se echa una ojeada sobre los mapas geológicos que acompañan á esta Memoria, llama desde luego la atención la cantidad de arroyos salados que cruzan la provincia de Cádiz y su inmediata la de Sevilla, y á los cuales suelé designárseles con el nombre genérico de «Salado» precediendo al de la localidad donde nacen ó desembocan, y así se dice: Salado de Espera, Salado de Conil, etcétera.

Las sales de sodio y de magnesio que comunican la salsedumbre á las aguas de estos arroyos proceden: una parte, del lavado superficial del terreno, y otra, la más importante, de un gran número de fuentes saladas que brotan en las inmediaciones de sus cauces.

Estas fuentes, conocidas en el país con el nombre de *salinillas*, tienen grandísimo interés, dado el objeto de nuestro estudio, porque sus aguas son precisamente el vehículo que conduce hasta la superficie del suelo el petróleo y los gases combustibles existentes en el interior de la tierra.

Además de los hidrocarburos y de las sales de sodio y de magnesio, que siempre existen, suelen contener las aguas de las salinillas, sales de hierro ó hidrógeno sulfurado, siendo también frecuente que arrastren al exterior arcilla finamente dividida, presentando en este último caso, tales fuentes, los caracteres distintivos de los llamados, aunque con notoria im-

propiedad, volcanes de lodo, toda vez que estos fenómenos no tienen la menor relación con la actividad interna de nuestro globo.

Las *salinillas* brotan de ordinario en el centro de circos totalmente desprovistos de vegetación, á causa de la cantidad de sales que impregna la tierra, y que resaltan á lo lejos por la blancura de la sal que se extiende á su alrededor en el suelo: algunas fajitas irisadas de color rojizo, debido á la presencia del hidrato férrico, señalan los regueros de las aguas hasta que vierten en el arroyo más próximo. Cuando llevan en suspensión sustancias arcillosas son, generalmente, de color negruzco, y forman cerca de los nacimientos depósitos fangosos de bastante espesor, incoherentes unas veces, compactos otras, según la mayor ó menor proporción de sales de cal contenidas en el agua, que son las que al cristalizar comunican cohesión á la masa.

Arrastren ó no arcilla, las fuentes de que se trata pueden dividirse en dos grupos bien caracterizados: el *salino* y el *sulfuroso*. Las del primero, que son las más abundantes, son frecuentemente objeto de aprovechamiento durante el verano por parte de los labriegos del país, que obtienen de ellas pequeñas cantidades de cloruro de sodio en un estado de pureza bastante aceptable para los usos domésticos, y en algún caso, como en Hortales, al S. de Prado del Rey, llega á elaborarse en cantidad suficiente para abastecer los pueblos inmediatos que, por su distancia al ferrocarril de Sevilla, no pueden surtirse, en condiciones tan económicas, de las grandes salinas de la bahía gaditana.

Las fuentes *sulfurosas*, aunque muy repartidas también por las provincias de Sevilla y Cádiz, no son tan frecuentes como las salinas; sin embargo, algunas de ellas, por su caudal algo crecido y su proximidad á las poblaciones, se utilizan por sus propiedades medicinales.

La temperatura de las aguas de todas estas fuentes es aproximadamente la que corresponde á la media de la comarca.

Las fuentes que arrastran arcilla en suspensión pueden dividirse también en dos categorías: unas nacen al nivel del terreno que las rodea, y otras brotan en el centro de un montículo pe-

queño de forma de cono truncado ó crateriforme, y que vulgarmente se designan con el nombre de volcanes de lodo. Como las primeras nada ofrecen de particular trataremos sólo de las segundas.

Pueden tomarse como tipo de esta categoría, los *volcancitos* de la Dehesa de los Charcos, en Coripe (1), descritos por don Salvador Calderón. Consisten en conos truncados de un metro, poco más ó menos, de elevación, que se asientan en el centro de un circo formado por un barro muy resbaladizo y desprovisto de vegetación. En el interior del cono existe una laguna cenagosa y fétida de la que se desprenden burbujas gaseosas.

El agua del volcancito deposita, al verterse al exterior, sal común, azufre pulverulento é hidrato férrico que tiñe de rojo los sitios donde el agua se remansa. También, de vez en cuando, se ven flotar sobre el agua gotitas de betún. Las burbujas gaseosas que se desprenden no están siempre formadas por gases hidrocarbonados, predominando en ocasiones el hidrógeno sulfurado y el ácido carbónico.

Los conos de estos volcancitos resultan de la consolidación, por las cristalizaciones de carbonato y sulfato de cal, de las paredes de la grieta ó chimenea que siguen las aguas en su marcha ascendente y de la denudación posterior del terreno inmediato.

El fango negruzco que brota de estos cráteres diminutos, acumulándose en las hondonadas, ó impregnando los terrenos que atraviesa, llega á adquirir á veces espesor considerable, demostrándose así que estas emanaciones alcanzaron en época lejana una intensidad superior á la actual. En el Arroyo Hondo (Coripe) una zanja abierta en una formación de esta clase por una compañía inglesa que pretendió explotar el azufre interpuesto en las arcillas, puso al descubierto, según Calderón: en la parte inferior, una zona de margas grises sueltas, impregnadas de azufre y cristales de yeso, y en la superior, arcillas de color obscuro con costras de azufre, abundantes cristales de celestina, y calcita con estroncianita, que en conjunto medían más de 15 metros de espesor.

(1) Pueblo situado 12 kilómetros al NE. de Puerto Serrano.

En los azufrales de Arcos y de Conil también alcanzan estas formaciones espesor considerable, y en el cauce del arroyo del Almendrón, como á 2 kilómetros al E. del monte Berrueco, entre Medina y Chiclana, se encuentran algunas zonas cubiertas de un finísimo barro negro, del que se desprenden abundantes burbujas de hidrógeno sulfurado, y que, según Mac-pherson, debe tener un espesor considerable, ya que llegó á introducir en él un palo de cerca de 2 metros de longitud sin encontrar el terreno firme.

La asociación de las *emanaciones de petróleo y gases combustibles* á las aguas de las fuentes saladas ó sulfurosas es indiscutible, pues sólo en los puntos donde tales fuentes nacen pueden observarse las manifestaciones de los hidrocarburos.

La primera vez que se notó, en la provincia de Cádiz, la existencia del petróleo, fué en el criadero de azufre de Conil, resultado, como el de Arcos, de los depósitos precipitados por una fuente sulfurosa. En Villamartín, el petróleo está también en relación íntima con una de estas fuentes, tanto que, según se indicó anteriormente, el primer pozo abierto por la Compañía petrolífera de Villamartín, encontró, al mismo tiempo que el petróleo y la ozoquerita, las aguas de un manantial sulfuroso que brota junto al Molino de Ríos, siendo tan intenso el desprendimiento de gases mefíticos que no se pudo continuar los trabajos de exploración. Los gases combustibles brotan sin excepción entre las aguas de la mayor parte de las salinillas, y en los *volcanitos* de Coripe ya hemos dicho que suelen flotar sobre las aguas gotas de betún mineral.

Ahora bien: las fuentes saladas, las sulfurosas y los volcanes de lodo, emergen *siempre* entre las capas dislocadas del *substratum* triásico, y esto induce ya á suponer que las emanaciones de gases combustibles y petróleo pudieran proceder igualmente de las rocas del Trias.

Que las aguas saladas que arrastran los arroyos proceden del lavado superficial de las capas triásicas no ofrece la menor duda, y, fijándose en nuestros mapas, salta á la vista que las cuencas de los «Salados» están en su mayor parte formadas por las rocas del Keuper.

Se advierte también, por el examen de los mapas, que las fuentes en cuestión suelen hallarse próximas á alguna mancha de terreno más moderno que el triásico, siendo rarísimo el que broten en el centro de manchas de esta última edad; tal se ve en los volcanes de Coripe, situados en un valle triásico al pie del mogote eoceno de la Sierra de los Charcos, y en las fuentes saladas que existen al N. y al NE. de Espera, y al O. de Villamartín, en el arroyo de Garcilechuga, puntos todos donde los manantiales salados brotan entre las arcillas del Keuper cerca del contacto con las margas blancas numulíticas. Las mismas circunstancias de proximidad se observan entre la fuente sulfurosa de Lebrija y las calizas del Jurásico; entre la de Conil y la arenisca del Algibe; y entre la de San Telmo, en Jerez, y las capas de diatomeas. También en Villamartín, en las cercanías del Molino de Ríos, que es el punto donde hasta ahora se ha encontrado el petróleo en mayor cantidad, está el Triásico cubierto por margas blanquecinas y silíceas del Flysch eoceno, y grandes bancadas de conglomerados y gravas cuaternarias.

Pudiera suponerse, una vez establecida esta constante relación de proximidad, cierta concomitancia entre las rocas secundarias y terciarias, y las fuentes salinas, sulfurosas y los volcanes de lodo; pero aparte de que ninguno de los terrenos superiores al Trias contiene los elementos mineralizadores que vienen disueltos en las aguas de dichas fuentes, bastan las siguientes consideraciones para cerciorarse de que la asociación indicada se debe á un fenómeno exclusivamente mecánico.

El terreno triásico de la región gaditana, por la naturaleza de los materiales que lo integran, es eminentemente impermeable. Cierto es que por las fisuras y las grietas de las capas de los terrenos impermeables, puede circular siempre el agua, pero cuando las rocas apenas están cubiertas por la tierra vegetal, como ocurre con las del Trias en las provincias de Cádiz y Sevilla, y además el terreno es quebrado, las aguas de lluvia resbalan por las laderas de los montes dando origen á corrientes superficiales, y sólo una cantidad insignificante se infiltra en el subsuelo. En estas condiciones, fácilmente se comprende que las aguas de lluvia que caen directamente sobre el Triásico no pueden dar

origen á corrientes subterráneas importantes ni, por lo tanto, á manantiales.

Por el contrario, cuando sobre el Trias descansa algún macizo permeable formado por rocas jurásicas, cretáceas ó terciarias, quedan retenidas por él y almacenadas las aguas de lluvia, que después, al contacto con el Triásico, van infiltrándose poco á poco en las capas de este terreno por las juntas de los estratos, las grietas y las fallas; de suerte que, en definitiva, y por lo que concierne á la infiltración, los macizos secundarios y terciarios desempeñan con relación al Trias el mismo papel que los depósitos detríticos y la tierra vegetal de las montañas, respecto á las calizas compactas y, en general, respecto á las rocas que las aguas únicamente pueden atravesar merced á su estado de agrietamiento.

Vemos, pues, que á favor de los macizos más modernos pueden las aguas pluviales infiltrarse en las capas triásicas, pero estas mismas aguas habrán de brotar siempre á corta distancia de la zona de infiltración, porque la tectónica especial del Trias no permite que en profundidad recorran grandes distancias. Los cambios de dirección de los estratos, las fallas, y los innumerables pliegues que hacen variar á cada paso el régimen de las capas, son otros tantos obstáculos que se oponen á la circulación subterránea del agua, que se ve así obligada á verterse pronto al exterior.

Pasemos ahora, antes de entrar en la descripción detallada de estas fuentes, á estudiar el origen de las diferentes substancias, tanto sólidas como líquidas y gaseosas, que sus aguas arrastran, ya en suspensión ó bien disueltas, hasta llegar á la superficie del terreno.

Las sales de hierro, sodio y magnesio impregnan en general á todas las rocas triásicas, especialmente á las arcillas, y no creemos que puedan haber dudas respecto al origen de dichas substancias; su gran solubilidad y la lentitud con que las aguas de infiltración discurren por el subsuelo hace que éstas se carguen abundantemente de dichas sales, por lo que su precipitación se efectúa en el momento en que, por ponerse las aguas en contacto con la atmósfera, da principio la evaporación.

La arcilla negruzca acarreada por las aguas de algunas fuentes saladas y sulfurosas, procede también de las capas triásicas: á medida que las aguas van disolviendo las sales que impregnan las arcillas, éstas se van desagregando y formando con el agua un lodo pastoso que, ennegrecido generalmente por la acción del hidrógeno sulfurado, es arrastrado hasta la superficie por el constante burbujeo de los gases.

La asociación comprobada en las provincias de Sevilla y Cádiz entre los gases hidrocarburoados y el petróleo, por una parte, y el gas sulfhídrico, por otra, es bastante general en las comarcas petrolíferas. Esta asociación se ha tratado de explicar de diferentes maneras, aunque siempre fundándola en reacciones mutuas entre los carburos de hidrógeno y los yesos, reacciones que conducen, como veremos, á la conclusión de que el hidrógeno sulfurado procede también en nuestra región, como las sales de hierro, sodio y magnesio, de las capas triásicas.

Hopkins (1), en su Memoria sobre la geología del estado de Louisiana, insiste en señalar la asociación del azufre, del yeso y la caliza con el petróleo, pero da una explicación poco satisfactoria del fenómeno: según él, el yeso, cuando está en presencia de materias orgánicas cuya descomposición produce ácido carbónico, se reduce por la acción de este ácido formándose caliza, azufre libre y carburos de hidrógeno. Esta reacción no puede admitirse como posible, por estar suficientemente demostrado que el ácido carbónico no ejerce acción alguna sobre el sulfato de cal. La reacción química indiscutible es la inversa, esto es, la formación de sulfato de cal y ácido carbónico, por la acción del ácido sulfúrico sobre la caliza.

En cambio Braun (2) ha expuesto una teoría que nos parece muy aceptable, y que concuerda en todas sus partes con los hechos observados en Cádiz. El yeso, dice Braun, es reducido por los carburos de hidrógeno con formación de sulfuro de calcio y ácido carbónico; este último, en presencia del agua, ataca al sulfuro de calcio y se produce carbonato de cal é hidrógeno sulfu-

(1) George I. Adams. Oil and Gas fields of the upper cretaceous and tertiary formations of the Western Gulf Coast

(2) Georg. I. Adams. oper. cit.

rado. De este modo quedan en equilibrio químico, por una parte: el sulfuro de calcio y el ácido carbónico, y por otra: el carbonato de cal y el hidrógeno sulfurado. Por la acción del oxígeno del aire ó de las aguas aireadas en la superficie, el sulfuro de calcio produce azufre libre, y el hidrógeno sulfurado, al oxidarse en presencia del agua, se transforma en azufre con formación de pequeñas cantidades de ácido sulfúrico.

La intensidad de estas reacciones depende sobre todo de la cantidad de agua subterránea en circulación, pues siendo el yeso poco soluble, y siendo preciso que esta sal se encuentre en disolución para que se verifiquen las reacciones anteriores, cuando la circulación subterránea del agua es muy pequeña, las reacciones se verifican en pequeña escala, y las manifestaciones sulfurosas de la superficie son insignificantes aunque exista en el subsuelo gran cantidad de carburos de hidrógeno: en cambio, si la circulación es activa, aunque los hidrocarburos se encuentren en pequeña cantidad, las reacciones mencionadas son más intensas y más importantes también las manifestaciones superficiales.

Vemos, pues, que las manifestaciones sulfurosas requieren para producirse, además de los hidrocarburos, la presencia del yeso, y una corriente de agua que, después de disolver á esta sal, lleve en disolución hasta la superficie del terreno el sulfuro de calcio y el hidrógeno sulfurado.

El ingeniero de minas mejicano Sr. Villarello trata también del asunto en su «Memoria sobre algunas regiones petrolíferas de Méjico», y se expresa del siguiente modo:

«Las aguas selenitosas, al obrar sobre los carburos de hidrógeno, producen sulfuro de calcio é hidrógeno sulfurado, compuestos que al llegar en disolución á la parte superficial del terreno ó zona de oxidación depositan azufre en las grietas, acidulan las aguas superficiales si no se encuentran rocas calizas en la superficie, ó en presencia de estas últimas forman depósitos secundarios de yeso... La asociación de la sal, el yeso y las aguas saladas, con el petróleo, se ha observado en muchas localidades, como en Galitzia, donde se encuentra también el azufre libre; pero esta asociación no es constante, y si no se ha encontrado en todos los casos el petróleo junto con el yeso, la sal, ó las aguas

saladas, tampoco puede ser constante la asociación del petróleo con el azufre y el hidrógeno sulfurado, substancias que para formarse requieren la presencia del yeso ó de las aguas selenitosas. Por otra parte, las manifestaciones sulfurosas ya indicadas pueden ser debidas á acciones solfatarianas y no á la acción reductora de los carburos de hidrógeno, de donde se deduce que estas manifestaciones no siempre indican la presencia del petróleo en el subsuelo.»

En la provincia de Cádiz, donde el Trias contiene masas enormes de yeso, y donde en la mayor parte de las fuentes sulfídricas se puede comprobar la existencia del petróleo ó de hidrocarburos gaseosos, no procede atribuir la presencia del hidrógeno sulfurado á acciones solfatarianas, tanto más cuanto que todas esas fuentes son frías y las solfataras se caracterizan por la emisión de gases y vapores á elevadas temperaturas.

Esta manera de interpretar los fenómenos de que estamos tratando nos parece tan evidente, que en ninguna región mejor que en la que nos ocupa lleva la composición mineralógica del terreno á considerar el gas sulfhídrico como producto de la reducción del sulfato de cal por los hidrocarburos, y á ver en dicho gas una prueba fehaciente de la existencia del petróleo en el subsuelo.

Basta estudiar el régimen de las fuentes salinas y sulfurosas de la región, para convencerse de que todas las substancias que en disolución ó en suspensión arrastran las aguas hasta la superficie proceden de las capas que estas aguas atraviesan en el recorrido subterráneo. En verano, cuando la mayor parte de esas fuentes cesan de correr, desaparecen totalmente las emanaciones, tanto de gases sulfurosos como de gases hidrocarbureados, y si realmente esas emanaciones dependiesen de fenómenos volcánicos, no se concibe por qué habrían de ofrecer tales alternativas, permaneciendo constantemente abiertos los orificios por donde las aguas y los gases ascienden hasta la superficie del terreno.

El agua es, sin duda alguna, en estos casos el agente indispensable para que esas emanaciones se produzcan, ajustándose en su producción exactamente á la teoría de Braun, tanto en los volcanes fangosos de Coripe, como en los criaderos de azufre de

Arcos y Conil, y en todas y cada una de las fuentes sulfurosas observadas.

Por otra parte, además del sulfato de cal, contienen las capas triásicas, sobre todo las margas y las arcillas, gran cantidad de piratas de hierro que también pueden dar origen, en determinadas condiciones, como todo sulfuro, al hidrógeno sulfurado.

Vemos, pues, en resumen, que no es preciso recurrir á acciones solfatarianas, de las cuales no se observa el menor vestigio en la provincia de Cádiz ni en su inmediata la de Sevilla, para explicar la presencia del gas sulfhídrico en algunas fuentes, pues con yesos, piratas y carburos de hidrógeno, la naturaleza tiene á su disposición cuantos elementos son necesarios para elaborar dicho producto.

Pero si las consideraciones que anteceden no dejan lugar á dudas respecto á la verdadera procedencia del hidrógeno sulfurado, nada prejuzgan en cambio, en lo relativo á los gases combustibles y el petróleo, elementos indispensables para que las reacciones invocadas puedan desarrollarse.

Expresamente dejamos esta cuestión para tratarla á lo último, aun siendo la más transcendental de todas, porque es preferible aportar de antemano cuantos datos puedan servir de guía para la investigación, y considerar á las emanaciones petrolíferas como formando parte integrante de una serie de fenómenos, á cuyo desarrollo contribuyen en unión de otras substancias acerca de cuyo origen no es necesario hacer suposiciones hipotéticas.

Con objeto de que este punto quede suficientemente discutido trataremos ahora de las distintas hipótesis que pueden formularse acerca del origen del petróleo y de los gases combustibles en la región estudiada.

Ya se hizo constar, al hacer la descripción del terreno triásico, que no era raro encontrar algunas capas de combustible interestratificadas en las areniscas y en las arcillas; mas sin necesidad de recurrir al supuesto de la acción reductora que este carbón por sí solo pudo ejercer sobre las aguas selenitosas, bastarían los gases hidrocarburos interpuestos en su masa, y arrastrados por las aguas, para dar origen á los desprendimientos de gases combustibles y á las fuentes sulfurosas.

No hay manera de comprobar de una manera concluyente si los gases combustibles de las fuentes salinas proceden del grisú que pudiera hallarse confinado en las capas de carbón del Keuper. Ciertamente no sería imposible obtener una muestra de este gas pulverizando el carbón en un espacio donde previamente se hubiera hecho el vacío, para hacer su análisis; pero el resultado no serviría como término de comparación al de un análisis de los gases de una fuente salada, porque el distinto grado de solubilidad de los componentes debe modificar notablemente la composición de la mezcla gaseosa disuelta por el agua.

Atendiendo, por otra parte, á la relación íntima entre los mantos salados y los gases combustibles, cabe también suponer que éstos proceden de las arcillas salíferas y de la sal del Keuper. No existe sal—dice Mrazec (1)—que no contenga esos gases, cuya formación está ligada á la presencia de materias orgánicas en disoluciones fuertemente salinas. Todos los yacimientos de sal de Rumania contienen hidrocarburos. La abundancia de gases difiere de un yacimiento á otro, y en el mismo yacimiento, de un punto á otro; habiéndose encontrado bolsadas de grisú cuyas explosiones han ocasionado bastantes desgracias.

Según Mr. Costăchescu, los gases de la sal rumana están formados por una mezcla de metano, etano, hidrocarburos no saturados, ácido carbónico, oxígeno y nitrógeno. Los hidrocarburos están constituidos casi exclusivamente por metano, pues este gas entra en una proporción que varía del 80 al 90 por 100.

La sal blanca de Slanic contiene:

Metano.....	86,39
Etano.....	6,39
Hidrocarburos no saturados.....	0,96
Oxígeno.....	1,21
Nitrógeno.....	5,05

Las cantidades de estos gases contenidos en un kilo de sal es de 110,68 cm³.

(1) *Mrazec*. Excursion á la saline de Slanic.

Entre las dos hipótesis que acabamos de consignar, la que parece más verosímil, y la más aplicable á nuestro caso, es la segunda, según la cual los gases hidrocarbурados proceden de las arcillas salíferas del Keuper; y lo estimamos así, primero: porque las capas de carbón son relativamente escasas, y esta escasez contrasta con la gran cantidad de fuentes salinas con emanaciones gaseosas que existen en la región, y segundo: porque, al mismo tiempo que resulta explicada con dicha hipótesis la presencia de los hidrocarburos gaseosos, queda explicada también la del petróleo líquido.

El petróleo, en efecto, procede generalmente de arcillas salíferas, aun cuando los depósitos explotables se encuentren en capas de arenas, areniscas y calizas. La madre por excelencia de los petróleos son las arcillas impregnadas de sal que, á distintos niveles geológicos, se encuentran en los países petrolíferos, y sólo á las grandes presiones sufridas por los terrenos se debe, al parecer, la expulsión del petróleo de estos *yacimientos primarios* y su acumulación en capas formadas de materiales permeables.

Esta asociación de las arcillas salíferas y los yacimientos primarios del petróleo es tan constante, que constituye uno de los argumentos más concluyentes en favor del origen orgánico de los petróleos, y uno de los hechos en que de preferencia se apoyan los partidarios de esta teoría.

Si admitiéramos para el petróleo de la región gaditana un origen orgánico, habría que aceptar, sin ulterior discusión, que las rocas donde el petróleo se formó son las arcillas salíferas y yesíferas del Trias, únicas en cuyo seno, según los principios fundamentales de las teorías orgánicas, puede haberse formado en nuestro caso aquella substancia.

Mas como no se trata de pruebas absolutamente categóricas, no es posible aceptar sin discusión el supuesto del origen orgánico del petróleo, tanto más cuanto que son varios los sabios que han sostenido la teoría del origen inorgánico, aduciendo en su favor gran número de experiencias de laboratorio.

Si se admite para los petróleos, en general, el origen inorgánico, no parece tan necesaria la asociación de las arcillas salíferas y los yacimientos primarios, aunque tal hipótesis no se opone á

que dicha asociación exista, por ser siempre las rocas arcillosas las que mejores condiciones reúnen para la conservación de los aceites minerales.

Para que pueda juzgarse con más conocimiento de causa acerca de estos extremos, será conveniente hacer un resumen de las diversas teorías emitidas acerca del origen del petróleo. Pueden clasificarse estas teorías (1) en tres grupos:

1.º Las que suponen que el petróleo se ha formado, y se forma probablemente aún, sin la intervención de la vida orgánica, por una sencilla síntesis mineral. Estas teorías pueden denominarse *químicas*, ó mejor aún *volcánicas*, puesto que exigen para su desarrollo una temperatura elevada que sólo el vulcanismo puede producir.

Comenzaremos su exposición por la de Berthelot, basada en el procedimiento denominado por él de *síntesis pirogénica* de los hidrocarburos.

Este eminente químico, partiendo del acetileno, y transformándolo en bencina, obtuvo, por una serie de operaciones sintéticas y analíticas, gran número de hidrocarburos, tanto de la serie aromática como de las series acélicas. Esto sentado, sólo queda por explicar cómo el acetileno puede engendrarse en el interior de la tierra.

A este efecto, Berthelot admite la presencia de metales alcalinos en el núcleo ígneo de nuestro planeta, los cuales, en presencia del ácido carbónico, dan origen primero á acetiluros alcalinos, que, descompuestos por los vapores de agua, producen el acetileno. Este, sometido á la síntesis pirogénica, formaría toda la serie de hidrocarburos que componen el petróleo.

Otros muchos métodos de síntesis inorgánica se han invocado para explicar la formación del petróleo, sobre todo los que se basan en la acción de metales calentados á alta temperatura sobre mezclas de gases en cuya composición figuran el hidrógeno y el carbono: la síntesis, por ejemplo, del gas de pantanos por la acción del cobre incandescente sobre una mezcla de hidrógeno

(1) C. Klement.—Les Théories relatives a l'origine du pétrole.
Haug.—Traité de géologie.
Tassart.—L'exploitation du pétrole.

sulfurado y de sulfuro de carbono; ó la del acetileno, por la acción del hierro calentado al rojo sobre una mezcla de hidrógeno sulfurado, y de óxido y sulfuro de carbono. Según Byasson, haciendo obrar el ácido carbónico y el aire en condiciones especiales, se obtienen pequeñas cantidades de un líquido inflamable, casi inatacable por el ácido sulfúrico y de un olor análogo, hasta cierto punto, al de los hidrocarburos del petróleo.

Estas teorías no están, sin embargo, tan generalizadas como la emitida en 1877 por el célebre sabio ruso Mendeléeff, quien supone que el centro de la tierra está formado por un núcleo metálico compuesto principalmente de hierro en fusión. Este hierro contiene, como ocurre en la fundición ordinaria, cierta cantidad de carbono en estado de carburo de hierro. El agua, infiltrándose por las hendiduras y fisuras de la corteza, llegaría hasta el núcleo metálico, donde se formaría, por doble descomposición sobre el carburo de hierro, óxido de hierro é hidrocarburos.

Más recientemente, Moissan ha estudiado la naturaleza de los hidrocarburos que se forman por la acción del agua á la temperatura ordinaria, sobre diversos carburos metálicos. Algunos de estos carburos dan en tales condiciones acetileno; así ocurre con el carburo de calcio, por ejemplo, y sabido es que este procedimiento se emplea para la obtención industrial de aquel cuerpo. Otros carburos, como el de aluminio, dan metano, y el carburo de manganeso da una mezcla de metano y de hidrógeno. Pero el cuerpo más interesante desde este punto de vista es el carburo de uranio, que da, por la acción del agua, además de hidrógeno é hidrocarburos gaseosos, una serie de hidrocarburos líquidos pertenecientes principalmente á la serie no saturada del etileno y del acetileno. Moissan opina que á una temperatura elevada se formarían también combinaciones de la serie saturada, admite la existencia de estos diversos carburos metálicos en el núcleo ígneo de la tierra y llega á la conclusión de que las reacciones indicadas podrían desempeñar un papel importante en la formación del petróleo, sobre todo en ciertos casos.

Todas estas teorías suponen que el petróleo se ha formado á gran profundidad, y que por destilación se ha elevado hasta condensarse en las capas en que hoy se encuentra.

Las principales objeciones que se han hecho á estas teorías son las siguientes: primeramente, es difícil suponer que el agua pueda llegar, como lo exigen las teorías de Berthelot, Mendeléeff y Moissan, hasta el núcleo metálico de la tierra; pero lo que resulta más inexplicable aún es el hecho de que una mezcla de cuerpos con puntos de ebullición tan diferentes, como el petróleo, no experimente, en estas condiciones, el efecto de una destilación fraccionada, sino que se reúna y condense en un solo y mismo punto.

2.º Las teorías que admiten que el petróleo es de origen vegetal, están basadas en el hecho de que la mezcla de hidrocarburos que lo forman, presenta una analogía notable con los productos de la destilación seca de la hulla, y, sobre todo, del lignito, y admiten, á causa de esta analogía, que el petróleo no es otra cosa que el producto de una destilación de restos vegetales, bajo la influencia del calor interno del globo. Esta teoría ha sido admitida sobre todo por los geólogos de América, donde el petróleo fué designado durante mucho tiempo con el nombre de *coal oil*. Este nombre ha sido reemplazado más tarde, cuando se comenzó á dudar de la exactitud de la teoría vegetal, por el de *coral oil*.

Griffiths ha alegado en favor de esta teoría la presencia en ciertos petróleos de pequeñas cantidades de *fenol* del que, según él, se encuentran indicios en los troncos, hojas y flores del *Pinus sylvestris*, especie vegetal de la familia de las coníferas, las cuales, como se sabe, han entrado en la formación de los depósitos hulleros.

A la teoría vegetal se puede oponer la misma objeción que á las teorías volcánicas en lo referente á la improbabilidad de la destilación de una mezcla de cuerpos con puntos de ebullición tan diferentes, sin fraccionamiento, si bien en este caso, por tratarse de lugares de producción y de depósito próximos entre sí, la objeción tiene menos importancia. Si esta teoría fuera cierta, debería observarse una conexión constante entre los yacimientos de hulla y los de petróleo, que, en realidad, no resulta nunca comprobada. Por otra parte, el carbón, sometido á destilación seca, deja un residuo, el cok, del cual no se encuentra ni indicios en las formaciones petrolíferas.

3.º Lo forman las teorías en que se supone que el petróleo es de origen animal, y según las cuales se ha formado por la transformación de restos animales en hidrocarburos en el mismo punto de su depósito. Estas teorías, en oposición de las anteriores, llevan consigo el supuesto de un yacimiento primitivo, y este supuesto está por lo general más en armonía con los datos estratigráficos y con la presencia constante de restos orgánicos de naturaleza animal en los yacimientos bituminosos.

Defienden esta teoría muchos geólogos y químicos alemanes y austriacos, principalmente Höfer y Engler, aunque otros muchos hombres de ciencia han contribuido á su desarrollo.

Höfer no indica de qué manera se ha operado la transformación de los restos animales en hidrocarburos, pero sostiene que esa transformación debe haberse producido á gran presión, y, al contrario de lo que se supone en las demás teorías, á una temperatura relativamente baja.

Otros autores han tratado de explicar cómo se lleva á cabo esta transformación: Zaloziecki, por ejemplo, observa que casi todos los yacimientos petrolíferos parecen ser formaciones marinas costeras. En un lugar favorable de la costa, dice, se acumularon los cadáveres de gran número de animales; el agua salada del mar, cuyas propiedades antisépticas son bien conocidas, impidió en parte la descomposición de las materias orgánicas acumuladas, en tanto que las materias albuminoideas fueron destruidas por la putrefacción, que el agua del mar, aun retardándola, no pudo impedir completamente. Las materias grasas, sepultadas por los depósitos posteriores, se transformaron después en petróleos bajo la presión creciente de los terrenos superpuestos.

Mr. Ochsénus precisa más todavía las condiciones en que, según él, se ha formado el petróleo. Hace constar primeramente las relaciones entre los terrenos petrolíferos y los depósitos de sal y admite que existe entre ellos una relación *causal*. Los depósitos de sal se forman, según la teoría corriente, por la evaporación del agua del mar en cuencas cerradas; este agua, al concentrarse, deposita primeramente una parte del sulfato de cal que disolvía, en estado de yeso, después la sal gema, y, por úl-

timo, otra parte de sulfato de cal, en estado de anhidrita. La sucesión de estas tres capas es muy regular y constante. Las sales que quedan en disolución en las aguas madres resultantes, es decir, las sales de potasa y magnesia así como pequeñas cantidades de bromuros, yoduros, boratos, etc., no se han depositado por lo general, y sólo en casos excepcionales, como en Stassfurt, se les encuentra sobre las capas de sal.

Según Ochsénus, estas aguas madres, que quedan después del depósito del yeso, de la sal y de la anhidrita, y que han desaparecido la mayor parte de las veces, son precisamente las que dan origen al petróleo.

Después del depósito de las capas salíferas, las aguas madres fueron vaciadas en el Océano por los movimientos del suelo y ocasionaron la muerte de los animales en grandes masas, que quedaron sepultados en la arcilla que llevaban en suspensión, formando una capa impermeable.

Pero no acaba aquí todavía, según este autor, el papel de las aguas madres, porque la putrefacción de las sustancias albuminoideas da siempre origen á productos de descomposición gaseosos, tales como el ácido carbónico y el amoníaco, que hubieran podido romper la capa protectora de arcilla y exponer así á las materias orgánicas á la destrucción completa por la acción oxidante del aire, si la influencia de las aguas madres no lo hubiera impedido. Mr. Ochsénus admite, en efecto, que por una reacción completamente análoga á la que sirve para la fabricación de la sosa por el procedimiento *Solvay*, el cloruro de sodio contenido en las aguas madres se ha transformado al contacto del ácido carbónico y del amoníaco en carbonato de sosa y en cloruro de amonio, es decir, en sales solubles en el agua y sin peligro para el desarreglo de las capas formadas. Resultando eliminados de esta manera los cuerpos albuminoides, sólo quedarían los cuerpos grasos, que serían transformados más tarde en hidrocarburos, siempre bajo la acción de las aguas madres y de la fuerte presión de las capas depositadas encima.

Las teorías sobre el origen animal del petróleo tienen valioso apoyo en las experiencias de laboratorio realizadas por Engler y Heusler.

Engler ha sometido á la destilación grandes cantidades de aceite de pescado á presiones de 10 y 20 atmósferas y temperaturas de 300 á 400 grados. Así ha llegado á obtener, sin formación notable de residuos, primeramente productos gaseosos, que contienen principalmente gas de pantano, y además como un 60 ó un 75 por 100 de un aceite de color pardo que en capas delgadas presenta fluorescencia verde muy pronunciada; su peso específico es de 0,8 próximamente, y está compuesto, en su mayor parte, de hidrocarburos saturados, aunque todavía contiene un tercio de su peso de hidrocarburos no saturados, cuerpos que no se encuentran en el petróleo natural.

En 1896, Heusler sometió el producto de destilación de Engler á la acción del cloruro de aluminio, y llegó á transformarlo por completo en hidrocarburos saturados. De esta manera, el problema de transformación de materias grasas, sin residuo apreciable, tal como se encuentran en la naturaleza bajo la forma de distintas sustancias bituminosas, se encuentra resuelto, y nada se opone á que se admita para tales sustancias un origen análogo.

Tales son las diversas hipótesis emitidas acerca del origen del petróleo, y aun cuando ninguna se debe considerar como definitiva y acaso unas y otras sean verdaderas, según las circunstancias, es lo cierto que las teorías que lo suponen de origen animal parecen ganar terreno, tanto entre los geólogos como entre los químicos.

Pero en lo que sí están conformes todos los geólogos, incluso los partidarios de la teoría inorgánica, es en que el petróleo fué impregnando las capas sedimentarias á medida de su depósito, exceptuando, naturalmente, aquellas donde dicha sustancia se ha acumulado como consecuencia de los movimientos orogénicos posteriores.

Mr. Coquand, partidario de la teoría inorgánica, dice á este propósito: «Los detalles consignados en esta Memoria (1) demuestran claramente que los petróleos y los asfaltos son contemporáneos de las capas que los contienen y que su aparición data

(1) Sur les gites de pétrole de la Valachie, etc.

del momento mismo en que las arcillas y las areniscas se depositaban en el fondo de las aguas. Los intervalos estériles que separan los centros productivos demuestran que su incorporación á los bancos donde hoy se encuentran se produjo como si varias fuentes subterráneas, separadamente, hubiesen vertido al exterior un producto líquido, que las rocas que se depositaban en sus proximidades se asimilaban para restituirlo más tarde en estado de nafta, petróleo ó asfalto, según la facilidad que los aceites minerales han encontrado para que su descomposición haya avanzado más ó menos. El que quedara herméticamente encerrado en las arcillas, sin comunicación ninguna con el aire exterior, se conservaría en estado de petróleo ó nafta; el que encontrase areniscas ó calizas porosas y las impregnara como el agua impregna el azúcar, perdería sus elementos volátiles y se convertiría en asfalto ó en betún.

»Si esta manera de explicar las condiciones de los yacimientos petrolíferos es exacta, es evidente que los petróleos deben encontrarse tanto en los terrenos sedimentarios como en los hipogénicos, con la diferencia de que estos últimos únicamente pueden ser *atravesados* por los manantiales, puesto que el petróleo no puede incorporarse á rocas ya consolidadas, y en ningún caso darían lugar á depósitos como los que se forman en los terrenos sedimentarios. En el primer caso el petróleo es *posterior* á la roca *atravesada*, en el segundo es *contemporáneo* de las rocas que lo contienen.»

Según esto, y de acuerdo además con las teorías orgánicas, las más admitidas en el día, el petróleo contenido en las *rocas impermeables* de un terreno cualquiera *no debe considerarse como producto de emanaciones posteriores* al depósito de dicho terreno.

Sentadas estas teorías, volvamos á la región objeto de nuestro estudio.

Las margas y arcillas salíferas del Keuper constituyen un conjunto de capas á propósito para la formación del petróleo, si se admite la teoría orgánica, y para la conservación del mismo como en yacimiento primario, si se invoca la teoría de Coquand.

Las masas de sal gema no tienen en la provincia de Cádiz la importancia que en otros puntos de la misma faja triásica, corres-

pondientes á las provincias de Málaga y Alicante; pero, en cambio, abundan las arcillas salíferas y los yesos, resultado de la evaporación de lagunas saladas ó de un brazo de mar aislado del Océano, ó, en otras palabras, de la existencia, en aquella época, de una cuenca marina interior con las condiciones necesarias para la producción del petróleo con arreglo á la teoría orgánica.

Por otra parte, la impermeabilidad de las arcillas y margas arcillosas triásicas es más que suficiente para la retención y conservación del petróleo en estado líquido á través de los diversos trastornos que ha sufrido toda la comarca.

Pero si de las distintas teorías anteriormente expuestas para explicar el origen del petróleo, debe elegirse como verdadera, en cada caso, la que más en armonía se encuentre con la composición estratigráfica del país y con el conjunto de hechos observados, no cabe vacilación en admitir como *roca madre única* del petróleo de Cádiz, las arcillas salíferas del Trias.

Las labores ejecutadas hasta ahora con objeto de investigar los yacimientos de petróleo de la región gaditana, no han puesto, ciertamente, de manifiesto que el petróleo esté relacionado exclusivamente con tal ó cual horizonte del Trias, pero el hecho de que junto á las calizas impregnadas de ozoquerita se hayan encontrado en Villamartín arcillas salíferas impregnadas de petróleo líquido, permite suponer que una parte al menos del petróleo hallado, se encontraba en su yacimiento primario.

Partiendo de este supuesto, cuantos fenómenos se manifiestan en Cádiz, en relación con las emanaciones de gases y petróleo, por una parte, y con las fuentes salinas y sulfurosas, por otra, tienen una explicación en extremo racional y sencilla.

Las aguas de infiltración, disolviendo el sulfato de cal al atravesar masas yesosas, y la sal común y los sulfatos de sosa y magnesia al ponerse en contacto con las arcillas salíferas, desagregarían los elementos insolubles de estas últimas, dejando al mismo tiempo en libertad los hidrocarburos líquidos ó gaseosos que contuviesen. La acción de los hidrocarburos sobre las disoluciones selenitosas daría lugar, según la teoría de Braun, á la formación de hidrógeno sulfurado, sulfuro de cal y azufre libre. El gas sulfhídrico, obrando sobre las sales solubles de hierro, for-

maría el sulfuro de hierro ennegreciendo á las arcillas que el agua arrastrara en suspensión.

La tectónica especial del Trias explicaría también, en este supuesto, la variedad en la producción de este fenómeno general que se observa en nuestra región.

Bastaría, por ejemplo, que las aguas de infiltración no llegasen á disolver sulfato de cal, ó que las arcillas salíferas que encontrasen á su paso no contuvieran hidrocarburos, para que la fuente á que esas aguas diesen origen no fuera sulfurosa. Bastaría que los hidrocarburos contenidos en las arcillas disgregadas por el agua, lo fueran en gran cantidad, para que, agitadas por el desprendimiento gaseoso, fuesen lanzadas paulatinamente al exterior dando origen á un volcán de lodo. Bastaría, por último, que faltase el hidrógeno sulfurado en una fuente de esta naturaleza, para que la arcilla no se ennegreciera y conservase el color gris que caracteriza á las emisiones de algunos volcanes de lodo de las regiones petrolíferas de Rumania y de Rusia. Y como decimos, todo esto lo explicaría sobradamente la tectónica especial del *substratum* triásico, verdadero mosaico de piezas esencialmente distintas por su composición petrológica y mineralógica, que, con sus innumerables repliegues y fallas, acantonan, por así decirlo, las corrientes subterráneas impidiéndoles adquirir, por efecto del corto trayecto que recorren, una composición homogénea.

Para citar algún caso concreto en que el petróleo se encuentre en íntima relación con arcillas salíferas (á pesar de que esta es la regla general, como ya hemos dicho), trasladamos aquí los siguientes párrafos de la Memoria de Mr. Coquand ya citada.

«En Okna, la sal está cubierta por un sistema de arcillas azuladas ó grises, muy tenaces, cuyo espesor pasa de 60 metros, y alternan en su base con algunas capas de yeso y algunas vetas de sal. Estas arcillas son por excelencia la roca madre del petróleo y dondequiera que afloran son objeto de trabajos de exploración muy activos. No afloran sino en un número muy reducido de puntos, y la profundidad que habría que dar á los pozos para alcanzarlas en los sitios en que están cubiertas por capas más modernas expondría al especulador á gastos demasia-

do considerables... A las arcillas salíferas y petrolíferas sucede una serie potente de areniscas de grano fino, y de pizarras bituminosas... Conviene hacer notar que la proximidad de las pizarras bituminosas se anuncia siempre por la existencia de multitud de fuentes sulfurosas frías, que toman sus principios activos á los yesos y á los sulfuros de hierro que encuentran en su trayecto...

»La concordancia perfecta que existe entre los diversos términos del terreno que acabamos de describir, la transición gradual que se observa de unos á otros, la ausencia de toda dislocación violenta y de toda roca de origen plutónico, hace desechar, para la formación de la sal, del yeso y del petróleo la intervención de causas eruptivas ó de intrusiones posteriores, que con tanta frecuencia se han invocado para explicar su presencia en diversos niveles de la serie sedimentaria. Esta teoría, inaplicable á los yesos de Montmartre y de Aix, en los cuales abundan los fósiles, no lo es menos para los yesos de las margas irisadas, así como para los muchos depósitos yesíferos y salíferos del Norte de Africa, de Sicilia, de los Cárpatos y de otros puntos.»

Al hablar de los yacimientos de Tintea se expresa del modo siguiente:

«Crucé el río Prata á la altura del Sojna y seguí el valle del Matitza, uno de sus afluentes. En la orilla izquierda de este río, vi, merced á una escarpa que ponía las capas al descubierto, una masa de sal gema cubierta como siempre por las arcillas azules salíferas, y pude hacerme cargo de cómo el petróleo está aprisionado en el interior de esas arcillas. Como el terreno que tenía delante estaba hacía tiempo expuesto al aire, el petróleo se había secado completamente y sólo quedaba un residuo de asfalto, una especie de costra esponjosa parduzca, que llenaba el lugar en otro tiempo ocupado por el petróleo líquido. Estos residuos constituían pequeños lentejones paralelos á la estratificación, próximos los unos á los otros y no dispersos sin orden en la masa, como si cada capa hubiese recibido su ración de petróleo en el momento mismo de su depósito. El aislamiento de cada lentejón excluía toda idea de infiltración posterior. Yo no me podría explicar nunca cómo el petróleo líquido hubiese podido penetrar

en las arcillas plásticas después de su consolidación, cuando hoy vemos que no se dejan atravesar por las aguas ni aun por debajo del nivel de los ríos.»

Estos párrafos ponen una vez más de manifiesto la relación entre los yacimientos petrolíferos y las fuentes sulfurosas, y la imposibilidad de suponer que el petróleo haya penetrado en las formaciones sedimentarias arcillosas, posteriormente á su depósito. Esta consideración es de suma importancia en el caso presente, porque si se excluye dicho supuesto, necesariamente habrá que reconocer que el petróleo de Cádiz procede de las arcillas salíferas del Trias, únicas rocas de la región que reúnen las condiciones necesarias para ser las rocas madres del petróleo.

Y esta es, en efecto, la única hipótesis admisible. Suponer que el petróleo de Cádiz pueda tener un origen volcánico posterior al depósito del Trias, ó que proceda de una formación geológica inferior á la triásica, son hipótesis que no concuerdan con la geología de la región ni con la del resto de la península. Una inyección de petróleo de época posterior al depósito del Keuper, no se hubiera seguramente limitado á rellenar con dicho producto las grietas de este terreno, sino que hubiera dejado impresas las huellas de su paso en las formaciones más modernas que contienen rocas fisuradas y permeables, y, no obstante, en ningún terreno posterior al Trias en las provincias de Cádiz y Sevilla se ve el menor indicio de tal inyección ó impregnación.

El supuesto de que el petróleo puede proceder de una formación geológica anterior al Keuper es, si cabe, más insostenible todavía. En primer término, es *muy problemático* que debajo de las capas triásicas exista otra formación sedimentaria más antigua: la cantidad de asomos ofíticos que acribillan á aquellas capas induce á creer que en profundidad se suelden todos ellos para formar un inmenso lacolito, que, aunque pudiera estar interpuesto entre el Trias y otra formación sedimentaria más antigua, es lo más probable que se sobreponga directamente á otras rocas de origen plutónico. Recuérdese á este respecto que hay geólogos que suponen que las ofitas no son rocas procedentes del núcleo interno, sino producto de la fusión de la parte inferior de la masa de estratos triásicos, y, si esto fuera cierto, lo probable

es que también hubieran fundido los terrenos más antiguos y más profundos.

Pero supongamos que realmente existieran otros terrenos sedimentarios *infratriásicos*. Estos serían, probablemente, el Siluriano ó el Cambriano, que son los terrenos primarios que aparecen en los bordes de la gran faja triásica: el Devoniano y el Carbonífero apenas están representados en dichos bordes. Ahora bien; la universalidad de caracteres que distingue á los terrenos primarios no induce á suponer que el Carbonífero ó el Devoniano, el Siluriano ó el Cambriano sean petrolíferos en la zona ocupada por la faja triásica, no siéndolo en ningún otro punto de España, ni siquiera de Europa; y sabido es que ni en las pizarras del Carbonífero, ni en las cambrianas ó devonianas ni en las pizarras y cuarcitas del Siluriano se ha señalado nunca en España la presencia del petróleo, á pesar de que las rocas de todos esos terrenos aparecen bien de manifiesto en distintas regiones de la península y han sido cortadas en profundidad por gran número de labores mineras.

Sólo en América del Norte son petrolíferos los terrenos Siluriano, Devoniano, y aun el Carbonífero inferior; y allí, no sólo en profundidad, sino en sus afloramientos, presentan la facies petrolífera. Así, la caliza de Trenton (Siluriano inferior) aparece más ó menos empapada de petróleo en sus asomos, entre Quebec y las orillas de los lagos Huron y Michigan, y desde este punto hasta el valle de Cumberland. Cuando esta formación está cubierta por capas impermeables, como en las islas Mantoulines, en el lago Huron, en el mismo valle de Cumberland, etc., contiene cantidades prodigiosas de petróleo (1).

Desechada la idea de que el petróleo, en nuestra región, pueda tener origen volcánico, y atendiendo á que no parece verosímil que pueda proceder de algunos de los terrenos sedimentarios de la serie paleozoica, podemos sentar la conclusión de que el petróleo encontrado en la región proviene de las capas triásicas, donde primeramente hubo de formarse.

Resumiendo lo expuesto acerca del origen de los gases com-

(1) M. T. Sterry-Hunt. — Sur les gîtes de pétrole de l'Amérique du Nord.

bustibles y del petróleo en la región gaditana, podemos decir: Primero: que las emanaciones petrolíferas, que se presentan siempre acompañadas de aguas saladas y sulfurosas, no son de origen solfatariano. Segundo: que la formación sedimentaria de donde proceden esas emanaciones no puede ser otra que la triásica. Tercero: que dentro de la formación triásica las rocas que contienen el petróleo y los hidrocarburos gaseosos son las arcillas salíferas. Cuarto: que la íntima relación que se observa entre los hidrocarburos y las fuentes saladas y sulfurosas es una relación de común origen.

Para terminar, citaremos una experiencia de Mr. Coquand que demuestra la poca profundidad á que se verifican á veces las acciones y reacciones origen de los desprendimientos gaseosos que hemos descrito en las páginas anteriores. Dice así este sabio geólogo al demostrar la independencia de estos fenómenos y de los realmente volcánicos:

«... En vano se busca el hidrógeno protocarbonado en las emanaciones de las fumarolas de las lavas, de las solfataras y de las fuentes termales sulfurosas. Mientras que estas últimas poseen una temperatura que se eleva á veces á 84 grados, la de las aguas arrojadas por los volcanes de lodo varía según las estaciones, pero jamás excede á la temperatura media de los lugares donde radican, lo que demuestra bien á las claras, que la profundidad á que los agentes de producción del gas tienen su laboratorio no excede á la del terreno petrolífero, es decir, 200 ó 300 metros como máximo. Lo mismo ocurre en los Cárpatos, en Crimea, en Bakou y en el Parmesan, donde no existe un Etna, sino grandes depósitos de petróleo... Para afianzarme más en mi opinión realicé, con completo éxito, una experiencia consistente en aislar un volcán de lodo para someter su mecanismo á mi voluntad. Aprovechando la disposición favorable del terreno, hice abrir, debajo de un volcán de lodo próximo á un barranco, y por debajo de un nivel petrolífero conocido, una galería que debía interceptar necesariamente el desprendimiento de gases si éstos hubiesen procedido del interior de la tierra. El volcancito no sufrió la menor alteración con la labor ejecutada á pesar de haber quedado colgado. Pero hice abrir otra galería por encima del nivel

petrolífero y desapareció de repente, de donde deduje que el origen de los gases no era otro que el petróleo.»

B) Capacidad productora de la formación geológica de donde proceden los hidrocarburos.—La conclusión á que hemos llegado en la primera parte de este Capítulo, de que los hidrocarburos líquidos y gaseosos que emergen con las aguas saladas y sulfurosas proceden única y exclusivamente de las arcillas salíferas del Trias, nos lleva á desconfiar de la existencia, en las zonas estudiadas, de yacimientos de petróleo de valor industrial positivo.

Primeramente, las arcillas salíferas del Trias no aparecen nunca en sus afloramientos visiblemente impregnadas de petróleo, ni conteniendo residuos sólidos resultantes de su descomposición, tales como el asfalto, el betún, etc. Esto demuestra, ó que la mayor parte de los hidrocarburos causantes de las reacciones que dan origen á las aguas sulfurosas son hidrocarburos gaseosos, ó que si el petróleo existe en algunas capas arcillosas, como realmente ocurre, es en proporciones sumamente reducidas. La posibilidad de que exista petróleo en cantidades considerables en otras capas que *no afloren*, y que, por lo tanto, no podamos estudiar directamente, debe desecharse en absoluto, porque las dislocaciones sufridas por el Trias son tales, que se puede afirmar, sin temor á error, que no existe ningún haz de capas, nivel ú horizonte que no asome *repetidas veces* á la superficie.

Además, los distintos plegamientos del Triásico han puesto en contacto directo sus diversos niveles entre sí, siendo muy extraño que no se observe nunca en las areniscas con *Equisetum*, rocas eminentemente porosas, la presencia del petróleo ó al menos de productos de su descomposición, pues, á consecuencia de las presiones debidas á los plegamientos, los petróleos suelen abandonar su *yacimiento primario*, arcilloso, para acumularse en las capas permeables, y claro es que las que más fácilmente quedan impregnadas en estos casos son las que corresponden á la misma formación geológica de que forma parte la roca madre ó *yacimiento primario*.

Otro dato que induce á considerar como poco probable la existencia en el Trias de Sevilla y Cádiz, de niveles petrolíferos pri-

marios capaces de dar origen á yacimientos de importancia, es que la faja triásica que cruza á la Península entre Cádiz y Alicante sirviendo de apoyo á los depósitos jurásicos, cretáceos y numulíticos, presenta en todas partes los mismos caracteres petrográficos y estratigráficos, y en ningún paraje da origen á manantiales ó emanaciones importantes de petróleo, mientras que tales manifestaciones son frecuentes en las formaciones petrolíferas de los países donde existen verdaderos yacimientos.

Los *yacimientos primarios* del petróleo son los que primeramente han llamado la atención de los mineros en los países petrolíferos y los que se vienen explotando desde tiempo inmemorial, porque los *secundarios*, que son realmente los más ricos, se suelen encontrar á gran profundidad y su existencia no se manifiesta sino en contados casos. Además, los yacimientos primarios pueden explotarse por procedimientos rudimentarios, poco costosos y de resultados seguros, en tanto que para la explotación de los secundarios precisa la perforación de pozos profundos ó sondeos, que además de exigir cuantiosos desembolsos son de resultados muy problemáticos. Así en Rumania (1), por ejemplo, donde la exploración metódica de los yacimientos, por sondeo, no empezó hasta el año 1880, y donde la verdadera explotación data de 1895, fecha de la constitución de la importante Sociedad «La Steaua Romana», se explotaban ya los yacimientos primarios en el año 1640, en cuya fecha, según Bandinus, los habitantes de Lucacesti aprovechaban el petróleo para engrasar las ruedas de los carros y como producto medicinal.

La excesiva pobreza en petróleo de las capas que en la región gaditana forman el *yacimiento primario* demuestra la escasa capacidad productora de la formación triásica, y conduce fatalmente á negar la probabilidad de que existan *yacimientos secundarios* de verdadera importancia. No pueden formarse, en efecto, acumulaciones considerables, ni aun en aquellas zonas que por su tectónica reúnen las condiciones necesarias para servir de yacimientos secundarios, si no existe una capa ó serie de capas que, conteniendo petróleo en cantidad, lo hayan inyectado, á favor de

(1) *Tanasescu et Tacit.*—Exploatarea petrolului in Romania.

las presiones sufridas durante los movimientos orogénicos, en las formaciones permeables que estaban ó quedaron á consecuencia de éstos en su contacto. Así, caso de existir en la región estudiada algún depósito de consideración sería un accidente puramente local y en extremo limitado.

* * *

A pesar de estas consideraciones, es indiscutible que el descubrimiento de un depósito de petróleo, aun localizado, revestiría tal importancia que no se debe prescindir de estudiar detenidamente, con ayuda de datos concretos tomados sobre el terreno, la posibilidad ó imposibilidad de que un depósito de esa naturaleza pueda haberse formado, y los lugares más indicados para su existencia.

A este fin comenzaremos por exponer algunas consideraciones generales acerca del modo de formación de los yacimientos secundarios de petróleo.

C) Yacimientos secundarios de petróleo.—La mayor parte de los yacimientos que actualmente son objeto de explotación, precisamente por ser los más ricos, corresponden á esta categoría, y consisten en acumulaciones de dicho producto en capas permeables de arenas ó de areniscas blandas, á las que el petróleo ha llegado procedente del terreno donde se formó, esto es, procedente de su roca madre.

El hecho de la mayor riqueza de estos yacimientos, comparada con la de los primarios, se explica fácilmente. El petróleo se forma en capas de arcilla en las que con dificultad puede circular, y así ocurre, que cuando con un pozo ó con un sondeo se corta una de estas formaciones impermeables empapadas de petróleo, éste no se separa de la roca arcillosa sino muy lentamente, y sólo gota á gota va llenando el fondo de la perforación. En estas condiciones, son más productivos los pozos que los sondeos á causa de la mayor superficie de terreno petrolífero que queda al descubierto, pero ni unos ni otros pueden producir cantidades importantes de petróleo, como no podría producir mucha agua un pozo abierto en un terreno poco permeable.

En cambio, cuando por efecto de los plegamientos que el terreno ha sufrido, las capas que primitivamente contenían el petróleo se han puesto en contacto con formaciones arenosas y han sido fuertemente comprimidas, el petróleo, del mismo modo que sale el agua de una esponja cuando se exprime, ha sido expulsado de su yacimiento primario y almacenado en las capas arenosas, cuyos poros dejan siempre espacio suficiente para albergar las substancias en ellas inyectadas.

Por este procedimiento han llegado á acumularse en ciertas capas permeables de los países petrolíferos cantidades fabulosas de petróleo, que, repartidas en grandes extensiones de rocas arcillosas, no podrían constituir yacimientos de verdadera riqueza.

Así se han formado en Rumania los renombrados yacimientos de Campina, Bustenari, Moreni, Baicoi, Tintea y tantos otros situados á lo largo de las principales líneas de fractura y plegamiento de la región *subcarpática*, accidentes tectónicos que han puesto á las arcillas petrolíferas del Eoceno y del Mioceno inferior en contacto con capas permeables del Oligoceno y el Meóico (1).

En Méjico, los importantes yacimientos de petróleo de los Estados de Tamaulipas y San Luis de Potosí y los del istmo de Tehuantepec son también de origen secundario, según el ingeniero de Minas, Sr. Villarello (2), que ha estudiado con todo detalle esas regiones.

En América del Norte, en los Estados de Kentucky y Michigan, parece ser que se explota el petróleo en yacimientos primarios, y en grandes cantidades, pero estos casos no dejan de ser excepcionales.

Las condiciones esenciales para la acumulación del petróleo en yacimientos secundarios son: un abastecimiento suficiente que proceda de los depósitos primarios; la existencia de una capa porosa en la cual pueda almacenarse el petróleo y que le sirva de receptáculo; y la presencia de otra capa impermeable

(1) Piso del Mioceno, comprendido entre el Sarmático y el Póntico.

(2) Villarello. Algunas regiones petrolíferas de Méjico.

que cubra á la anterior é impida la pérdida de los hidrocarburos acumulados.

Dentro de las capas permeables, el petróleo se acumula en la parte alta de los anticlinales por ser su densidad menor que la del agua, y ésta se limita á impregnar las partes cóncavas de los pliegues ó sinclinales. El agua subterránea interviene, por lo tanto, de un modo directo en la distribución del petróleo dentro de sus yacimientos secundarios, y si bien muchas veces logra desalojarlo totalmente, otras le obliga, en cambio, á concentrarse en espacios reducidos, dando origen á depósitos de una riqueza excepcional. Ejemplos de anticlinales productivos abundan en todos los países petrolíferos donde las capas están plegadas, tanto en América como en Europa (Rumania, Rusia, Austria).

En ocasiones, también los sinclinales contienen petróleo, lo cual no se opone en lo más mínimo á la teoría acabada de exponer, puesto que si una capa permeable está de tal manera envuelta por otras impermeables que el agua no pueda penetrar en ella, no hay motivo para que las partes inferiores de los pliegues de esa capa no contengan también petróleo. Sin embargo, rara vez ocurre esto. En Rumania se presenta un caso en la zona petrolífera de Baicoi.

En esta localidad (1), las capas que constituyen el yacimiento primario del petróleo (capas de la formación salífera del Mioceno inferior), forman el núcleo de un anticlinal que perfora las capas del Póntico y del Plioceno. En la masa del terreno salífero, y entre dos líneas de lentejones de sal, ha quedado comprimido un retazo sinclinal de capas pónticas y pliocenas (dácicas y levantinas).

El yacimiento primario del petróleo se encuentra en el Mioceno salífero, donde el aceite mineral formaba primeramente una aureola alrededor de los lentejones de sal. Sin embargo, las rocas madres del petróleo son allí improductivas porque no reúnen las condiciones necesarias para la acumulación del petróleo.

(1) *Mrazec et Teisseyre*.—Excursion dans les régions pétrolifères de la vallée de la Prahova.

Las fuerzas orogénicas que levantaron el núcleo salífero hasta hacerlo penetrar en la bóveda formada por las capas pliocenas obligaron al petróleo á desalojar su yacimiento primario y á acumularse en estas últimas. La emigración se produjo de preferencia á lo largo de las líneas de cobijadura y de laminación, porque estas líneas corresponden á direcciones de máxima presión y de mínima resistencia, y por esto, el yacimiento de Baicoi está localizado á lo largo de esas líneas de dislocación.

Algunos movimientos del suelo, posteriores á la acumulación del petróleo en el *Dácico*, rompieron el equilibrio del yacimiento. Gran parte del petróleo emigró entonces hasta las capas del *Levantino*, que, formadas principalmente por gravas y arenas, no reunían condiciones favorables para la conservación del yacimiento. El petróleo se esparció muy irregularmente en estas capas; hoy se encuentra resinificado, y en parte ha sido arrasado por las aguas de infiltración.

La explotación se practica en Baicoi, tanto en el *sinclinal del Plioceno*, como á lo largo de la línea de cobijadura de la faja meridional de sal.

Hasta hace algunos años la *teoría del anticlinal* estaba tan extendida, que no se concebía que los yacimientos secundarios de petróleo obedecieran en su formación á otra ley distinta; pero últimamente, el Sr. Villarello (1), como consecuencia de sus estudios en distintas comarcas petrolíferas de Méjico, ha ideado la teoría de las *barreras subterráneas* que parece explicar la formación de aquellos yacimientos secundarios.

En Méjico, las capas terciarias, que son las que contienen el petróleo en yacimiento primario, apenas han sido plegadas, de modo que las presiones orogénicas no han podido provocar la acumulación de aquel producto; pero en cambio esas mismas capas están frecuentemente cortadas por diques basálticos que á modo de barreras subterráneas interrumpen la estratificación.

Supone el Sr. Villarello que la parte intrusiva de las rocas ígneas, al cortar á las sedimentarias, establecen una comunica-

(1) *Villarello*.—Algunas regiones petrolíferas de Méjico.

ción entre las capas inferiores y las superiores, por la solución de continuidad que existe en el contacto de los estratos sedimentarios con las rocas ígneas mencionadas. Al llegar á estas últimas el chapapote (1), que circula en las grietas interceptadas por las intrusiones, tiene que continuar su ascenso por la zona de contacto entre las rocas ígneas y las sedimentarias. Según esto, las partes intrusivas de las rocas ígneas forman á modo de barreras impermeables subterráneas que impiden pase el chapapote de uno á otro lado de las rocas cortadas, y le obligan á seguir su camino por la zona de contacto.

En los puntos en que los diques eruptivos afectan una posición vertical ó próxima á ella, el chapapote sube por las zonas de contacto hasta la superficie ó hasta encontrar una capa permeable en que alojarse, mientras que cuando están muy inclinados hacen que el chapapote se acumule debajo de ellos.

Esta teoría, que en nada se opone á la anteriormente expuesta sobre la acumulación del petróleo en los anticlinales, parece ser que explica satisfactoriamente la constitución y situación especiales de los yacimientos mejicanos.

Veamos ahora los fenómenos que acompañan á la emigración del petróleo.

Cuando el petróleo está encerrado en una capa de arcilla, queda aprisionado en ella y sin comunicación con las aguas cargadas de substancias que pudieran alterarle, de suerte que conserva su fluidez natural; pero cuando se desprende de su roca madre, y, al caminar por grietas ó al través de terrenos permeables, se pone en contacto con aguas aireadas ó sulfurosas, se sulfata ú oxida, pierde parte de sus hidrocarburos ligeros y se transforma en un producto más ó menos viscoso. Esta *resinificación* del petróleo se debe, principalmente, á la disminución de su contenido en *petrolena*, substancia que acompaña á los petróleos fluidos y que sirve de disolvente á la *asfaltena* (2). Ahora bien; la petrolena puede desaparecer del petróleo fluido por evapora-

(1) Nombre que dan en América al petróleo viscoso ó resinificado.

(2) *Meunier*.—Etude stratigraphique et chimique sur les gisements asphaltiques du Jura.

ción, por oxidación (debido á su contacto con aguas que contengan oxígeno ó aire atmosférico, ó directamente por la acción de este último) y por sulfatación, en los casos en que el petróleo se mezcla con aguas sulfurosas ó se pone en contacto directo con azufre.

Debido á esto, no faltan nunca, en las areniscas ó en las grietas de las calizas, en los países petrolíferos, residuos de betunes ó asfaltos, testigos de la emigración del petróleo, y obedeciendo á esos procesos de descomposición se han formado los yacimientos bituminosos de Albania y de la isla de Xante (1), los asfálticos de Raguza (2) y Judea (3) y tantos otros cuyo origen es la destilación, oxidación ó sulfatación de los petróleos líquidos en el seno de rocas que no reúnan las condiciones necesarias para llegar á formar yacimientos secundarios de dicha substancia.

Se comprende, en efecto, que el petróleo durante su emigración ha de impregnar una porción de rocas permeables, ora expuestas á la acción directa de la atmósfera, ora resguardadas del ataque de los agentes naturales en el momento de la impregnación, pero expuestas á su acción con posterioridad, y en cuyo seno tiene forzosamente que sufrir una descomposición parcial con formación siempre de un residuo sólido que las aguas no pueden arrastrar y que queda como testigo de la primitiva existencia del petróleo.

Estos residuos sirven en muchas ocasiones de guía para el descubrimiento de yacimientos secundarios de petróleo. Cuando se comprueba que un determinado horizonte permeable de una formación contiene en la superficie asfalto ó betún, hay motivos para sospechar que la misma capa ó conjunto de capas, en los sitios en que se encuentran á profundidad, esto es, no expuestas á la acción de la atmósfera, contengan petróleo explotable. Así en Rumania, por ejemplo, se ve, con gran frecuencia, que los bancos de arena del terreno meótico, en la superficie, se presentan en estado de arenas bituminosas, y las areniscas del

(1) *Coquand*.—Sur les gisements des environs de Raguza.

(2) *Coquand*.—Loc. cit.

(3) *Lartel*.—Gites bitumineux de la Judée.

Flysch eoceno y del Oligoceno como rocas asfálticas, en tanto que, en profundidad, dichas capas constituyen las zonas del subsuelo más ricas en petróleo líquido.

Hechas estas indicaciones sobre el modo de formación de los yacimientos secundarios, las circunstancias que deben concurrir para su conservación, y los fenómenos que acompañan á la emigración del petróleo inherente á la formación de dichos yacimientos, volvamos á tratar de la región gaditana.

En la provincia de Cádiz, lo mismo que en la parte estudiada de la provincia de Sevilla, las rocas que pudieran contener petróleo en yacimiento secundario son: las del Eoceno (Flysch) y las del Oligoceno; las demás, dada la estratigrafía y la tectónica de la región, no reúnen las condiciones indispensables para la conservación del petróleo.

Las calizas jurásicas y cretáceas forman sólo, como dijimos en el Capítulo segundo, manchas aisladas, constituidas por retazos sinclinales ó fajas monoclinales, cuyas capas, ó mejor dicho sus juntas, comunican con la superficie á lo largo de los afloramientos. Además, las aguas de infiltración hubieran seguramente expulsado al petróleo de las grietas, caso de haberse alojado alguna vez en ellas.

Por razones análogas tampoco pueden constituir un yacimiento secundario para el petróleo las calizas numulíticas ni las margas de la base de la formación eocena.

Las capas de la arenisca del Algibe nunca están cubiertas por formaciones arcillosas.

Las capas miocenas no reúnen tampoco condiciones adecuadas para la conservación del petróleo, como puede apreciarse por el siguiente resumen:

Las arcillas del Burdigaliense son totalmente impermeables, y las areniscas, arenas y molasas de la misma edad, coronadas generalmente por la caliza tosca helvética, comunican libremente con la atmósfera, salvo en los sinclinales, que es precisamente donde no es posible que haya podido detenerse el petróleo. Los tramos permeables del Sarmático cubren pequeñas extensiones por regla general, y sus capas están siempre en comunicación directa con la superficie sin terrenos impermeables que las cu-

bran. Por último, las capas de caliza lacustre sólo forman dos pequeños retazos sin importancia ninguna, y lo mismo puede decirse de las arenas pliocenas.

Las areniscas, calizas arenosas y calizas tabulares del Flysch eoceno, generalmente encerradas entre capas arcillosas, y las capas de diatomeas, á veces cubiertas por las arcillas del Mioceno inferior, son, pues, las únicas rocas que, por su permeabilidad y por hallarse resguardadas por capas impermeables, reúnen las condiciones necesarias para almacenar y conservar el petróleo.

Pero no quiere decir esto que tales capas lo contengan necesariamente, antes bien, hay motivos fundados para suponer que no estén en profundidad impregnadas de tal substancia. En efecto; basta reconocer detenidamente la región de las colinas que bordean la Serranía de Ronda, tanto en la provincia de Cádiz como en la parte Sur de la de Sevilla, para cerciorarse de que en ningún punto las rocas pertenecientes al Flysch eoceno ó á las capas de diatomeas presentan en sus afloramientos la más ligera señal de petróleo, asfalto ó betún. Tampoco se ven vestigios de tales productos en ninguna de las capas esencialmente permeables (areniscas del Algibe, arenas y calizas miocenas, etc.), que en ocasiones se sobreponen directamente al Keuper, y que han sido más ó menos influidas por los últimos plegamientos. Verdad es que estas últimas capas no reúnen condiciones á propósito para la conservación del petróleo, pero, precisamente por ello, deberían contener algún producto de su descomposición, más difícilmente arrastrable por las aguas que el petróleo mismo, si alguna vez éste las hubiera impregnado. Suponer, pues, que las capas eocenas ú oligocenas contengan petróleo en los parajes en que están cubiertas por terrenos más modernos de naturaleza arcillosa, cuando en rocas mucho más permeables, como las que acabamos de citar, no se advierte el más ligero indicio de emigración del petróleo desde las capas triásicas, sería una hipótesis por demás arbitraria y desprovista de fundamento lógico.

Y estos datos de observación directa concuerdan, como no podía menos de suceder, con las deducciones resultantes de la historia geológica del país. El primer plegamiento del Trias data de una época anterior á la Jurásica, como hemos hecho constar

en otro lugar, y, según también se ha visto, este plegamiento fué de bastante importancia. El petróleo contenido en las capas del Trias, aun suponiendo que los yacimientos primarios fueran importantes, sería en su mayor parte, por efecto de este plegamiento, expulsado de la roca madre, y, no existiendo entonces una formación que reuniera las condiciones necesarias para su absorción y conservación, tendría necesariamente que salir á la superficie y perderse por evaporación. Después de esto, la parte que por efecto de los pliegues terciarios haya podido almacenarse en las capas de esta edad, tiene que haber sido forzosamente insignificante.

Por lo que concierne á los gases combustibles que se desprenden de las capas triásicas, no se puede asegurar que lleguen á formar en algunos sitios yacimientos explotables, pero tampoco se puede negar su existencia fundándose en estas mismas razones, toda vez que los gases pueden atravesar las capas sin dejar rastro apreciable de su paso. Dentro de la masa del Trias, no es posible que existan tales yacimientos, pero en la zona de contacto con capas más modernas, sobre todo en los anticlinales del Mioceno, no sería imposible que se encontrase algún depósito de importancia.

En resumen, las consideraciones y razonamientos expuestos en la segunda parte de este Capítulo conducen á las siguientes

CONCLUSIONES

1.^a Los yacimientos *primarios* de petróleo contenidos en la *formación triásica* son de escasísima importancia.

2.^a Algunas formaciones paleógenas de la región reúnen condiciones para la formación de *yacimientos secundarios*, y

3.^a No existe ningún indicio que induzca á sospechar la existencia de tales yacimientos secundarios, antes al contrario, hay fundados motivos para suponer que en ningún punto de la región estudiada se han acumulado cantidades importantes de petróleo.

Esto no obstante, al estudiar la constitución geológica de cada una de las regiones petrolíferas, indicaremos las zonas más

adecuadas para la existencia de acumulaciones de petróleo, y los puntos donde puede intentarse algunos trabajos de exploración que permitan resolver de una vez para siempre el problema de los petróleos en Andalucía.

Para terminar este Capítulo daremos á modo de apéndice, una relación de las manifestaciones petrolíferas en la región gaditana.

D) Descripción de las emanaciones de petróleo y gases combustibles comprobadas en la región.

1.^o *Volcanes de lodo de Coripe, al S. de Morón.*—Se reducen, en esencia, á unas fuentes sulfurosas y salinas de muy escaso caudal, que lanzan constantemente al exterior un barro arcilloso negruzco y burbujas de gases hidrocarburoados y de hidrógeno sulfurado. Están situados en la margen derecha del arroyo de La Mujer, afluente del Salado de Morón.

El terreno en que brotan estas fuentes corresponde al Trias superior, como puede comprobarse á poca distancia de las mismas por los afloramientos de las capas de esta edad, atravesadas en el cauce del arroyo por un asomo de ofita. Los cerros que limitan la cuenca del arroyo de La Mujer están formados por las margas blancas y de color ladrillo de la base del Eoceno, y por las calizas del tramo medio de la misma formación.

El origen de estos volcanes es el siguiente: Las aguas de lluvia, infiltradas en el terreno eoceno, relativamente permeable, se acumulan en la parte inferior del mismo en su contacto con las capas del Keuper, que muy lentamente van dando paso á dichas aguas. Estas, en su recorrido por entre las rocas triásicas, disuelven gran cantidad de sales de sodio y magnesio (cloruros, sulfatos) y una pequeña parte de sulfato de cal. A medida que las aguas disuelven el cloruro sódico van disgregando las arcillas salíferas y dejando en libertad los hidrocarburos líquidos y gaseosos que dichas arcillas encierran en su masa. Por la acción de los hidrocarburos sobre el sulfato de cal disuelto, se forma cierta cantidad de hidrógeno sulfurado, que, á su vez, ataca á los hidrocarburos líquidos convirtiéndolos en betún mineral, con desprendimiento de gases carbonados. El constante burbujeo de los gases mantiene en suspensión la arcilla que quedó suelta á consecuencia de la disolución de la sal, y que el hidrógeno sul-

furado va ennegreciendo poco á poco al atacar á las sales de hierro. De vez en cuando aparece sobre la superficie del agua cenagosa que ocupa el cráter del volcancito una gota de betún mineral.

Estos volcanes de lodo son, en menor escala, la reproducción de los de algunas regiones petrolíferas de Rumania y el Cáucaso, relacionados con importantes yacimientos de petróleo.

Como se ve, para la producción del fenómeno basta con que una masa de arcilla petrolífera, á cuyo contacto llegue una corriente de agua, se disgregue y deje en libertad al petróleo: éste, por la acción de las aguas aireadas, se descompone, dando origen á hidrocarburos gaseosos, que son los que provocan la erupción de fango, y á un residuo bituminoso ó asfáltico que sale al exterior, ó bien queda impregnando las rocas del subsuelo.

2.º *Petróleo y Ozoquerita de Villamartín.*—En el Capítulo primero se ha hecho una descripción detenida de las manifestaciones superficiales de petróleo observadas en Villamartín, número de sondeos llevados á cabo, resultados conseguidos, etcétera, etc.; vamos ahora á entrar en algunas consideraciones acerca de la interpretación que debe darse á tales manifestaciones. Al efecto, daremos por adelantado algunas noticias acerca de la geología de la localidad, cuya descripción detallada se encontrará en el Capítulo siguiente.

En las cercanías del Molino de Ríos forman el subsuelo las margas salíferas y yesíferas del Keuper, que asoman en el cauce del Guadalete, 500 metros al S. del molino, pero suelen estar cubiertas, ya por los aluviones del río, ya por los conglomerados pleistocenos, y también, en algunos puntos, por unas margas blanquecinas silíceas que corresponden á la parte superior del Flysch eoceno.

Las aguas de infiltración, al atravesar las capas del Trias, encuentran indudablemente en su camino alguna capa ó capas de arcillas salíferas que contienen petróleo en cantidad superior á la que generalmente encierran dichas rocas, y esto, unido á que por las condiciones especiales del terreno en esa parte, la infiltración es considerable, y la circulación subterránea del agua bastante activa, hace que el petróleo se vaya acumulando en las

grietas y oquedades que el agua encuentra á su paso, y luego, aunque muy lentamente, vaya vertiéndose al exterior.

El petróleo, al llegar á la capa superficial alterada, se esparce por ella y por las arenas que se interponen entre las gravas diluviales, y, de este modo, ha llegado á impregnar algunos peñones de caliza triásica cavernosa que, desprendidos de las capas de que formaban parte, quedaron envueltos entre las tierras cuaternarias.

En estos peñones fué donde primeramente se encontró la Ozoquerita (CH_2), uno de tantos productos de la descomposición del petróleo, cuyo hallazgo dió motivo á que se llevasen á cabo las labores de exploración ya descritas con el detalle necesario.

Los sondeos practicados cerca del molino de Ríos, y cuya situación exacta se indica en el mapa correspondiente, han puesto de manifiesto que más que en una capa petrolífera, propiamente dicha, el petróleo se encuentra allí en grietas y cavidades de forma muy irregular: sondeos muy próximos han encontrado terrenos distintos por completo, cortándose en unos rocas con gases y petróleo y no hallando ni indicios de ellos en otros. No habiendo sido los sondeos de mucha profundidad en este paraje, no es posible saber si la circulación del petróleo está limitada á las capas más próximas á la superficie, como probablemente ocurrirá, dada la impermeabilidad del Trias, ó si por el contrario las grietas continúan en profundidad y con ellas el petróleo. Pero ocurra lo uno ó lo otro, no debe esperarse que dentro de la masa de estratos triásicos existan grandes cantidades de dicha substancia y menos que la impregnación alcance á un área extensa.

El petróleo encontrado en las labores de exploración de la Compañía petrolífera de Villamartín es muy puro, de poca densidad y de color amarillento claro. Recién extraído de los sondeos, aparece algo turbio por efecto de las partículas de asfalto que tiene en suspensión, pero si se le filtra adquiere el aspecto del petróleo refinado.

A causa de la poca densidad y gran pureza del producto, realmente no muy frecuentes, se ha llegado á suponer que acaso procedería de la destilación de masas de petróleos más densos existentes en profundidad. Mas por cuanto se ha expuesto en el

presente Capítulo, se puede afirmar que tal suposición carece de fundamento; por otra parte, si se tiene en cuenta que las arenas contenidas en las grietas por donde el petróleo circula están impregnadas de residuos bituminosos sólidos, que probablemente se habrán separado del petróleo durante su marcha ascendente, no es extraño que el resto se presente con fluidez extraordinaria, superior, ciertamente, á la que pueda ofrecer en el yacimiento primario.

3.º *Criadero de azufre de Arcos de la Frontera.*—Este criadero está íntimamente ligado á la existencia en el subsuelo de carburos de hidrógeno que, como hemos dicho anteriormente, reducen el sulfato de cal disuelto en las aguas dando origen á sulfuro de cal, hidrógeno sulfurado y azufre libre. Puede, por lo tanto, considerarse como una prueba más de la existencia de dichos hidrocarburos en las capas atravesadas por las aguas que han engendrado el azufre del criadero.

Aun cuando la hoya abierta para la explotación está totalmente llena de agua, y, además, los derrubios de los bordes impiden apreciar la naturaleza de las rocas puestas al descubierto, todos los datos que hemos podido proporcionarnos convienen en que el azufre impregna indistintamente todos los terrenos cortados, desde el Neocomiense, que se encuentra en el fondo de la excavación, hasta el Aluvial depositado por el arroyo de Espera, pues entre las tierras de formación reciente se han encontrado bellotas y tallos de vid cubiertos por dicha substancia. Un sondeo practicado para reconocer el criadero encontró á unos 20 metros de profundidad el Triásico, cuyo terreno á poca distancia asoma á la superficie, representado por yesos abigarrados. De este sondeo brota una fuente sulfurosa que lentamente va depositando sobre el suelo una costra de azufre, y pone de manifiesto bien á las claras el origen del criadero. Este yacimiento azufroso es de poca importancia desde el punto de vista industrial, pues ni en profundidad ni superficialmente parece tener gran desarrollo.

4.º *Criadero de azufre de Conil.*—A continuación del de Arcos, y por su absoluta identidad, debemos tratar del criadero de azufre de Conil, que arma en las margas verdes del Neocomiense y en el seno de un depósito fangoso, arenoso y calcáreo, aná-

logo á los que en Coripe y en algunos puntos de la provincia de Cádiz aparecen relacionados con los volcanes de lodo. Es notable este criadero por las magníficas cristalizaciones que en él se han encontrado y que, como dijimos en el comienzo de esta Memoria, adornan la mayor parte de los museos de Europa. Ofrece, además, indiscutible interés por ser en él donde se encontró por primera vez el petróleo en la provincia de Cádiz, y en sus cercanías fué donde se hicieron los primeros sondeos de exploración, que, por cierto, encontraron petróleo, aunque en pequeña cantidad. Al O. de este criadero, y á poca distancia de él, brotan varias fuentes sulfurosas entre las capas del Trias, al pie de unas colinas formadas por la arenisca del Algibe y coronadas por la caliza tosca del Helvético.

5.º *Otras fuentes sulfurosas de la región.*—Después de las fuentes relacionadas con los criaderos de azufre, debemos hacer mención de las sulfhídricas de «Fuente Amarga» en Chiclana, «San Telmo» en Jerez, y «Las Hediondas» en Lebrija, que se utilizan como medicinales; en las dos primeras se ha señalado, además, la existencia del petróleo.

6.º *Manifestaciones petrolíferas en Rota.*—Las arcillas del Flysch eoceno, muy plegadas, forman en Rota el *substratum* general de la comarca y sobre ellas se apoyan las capas del Plioceno medio, con un espesor insignificante, y las arenas de las dunas.

En muchos de los pozos abiertos en estas últimas y que encuentran el agua invariablemente sobre las arcillas del Eoceno, que forman un horizonte impermeable, se observan desprendimientos de gases combustibles, y en uno de ellos aparecen las arenas pliocenas aglomeradas por una substancia bituminosa; el agua de este pozo huele mucho á petróleo y en la superficie suelen presentarse unas cutículas irisadas grasientas.

Acerca del origen de los gases combustibles de Rota se han emitido diversas opiniones, suponiendo unos que proceden del *substratum* eoceno y otros que son un producto de descomposición de los restos vegetales que las dunas, en su avance, dejaron sepultados. Pero lo más probable es que estos gases procedan del terreno triásico que debe hallarse debajo del Eoceno, y no muy



profundo, dada la disposición de las manchas triásicas de Lebrija y de Jerez. El Flysch eoceno de la comarca roteña es arcilloso y, por consiguiente, impermeable; pero las dislocaciones de sus capas han sido muy violentas, por lo que suelen estar muy rotas, cruzadas por innumerables fisuras, y en algunos sitios tan fuertemente comprimidas que las arcillas se deshacen entre las manos en menudas partículas muy brillantes. Este estado especial de dislocación de las capas del Flysch ha de dar ocasión, indudablemente, á que las emanaciones gaseosas procedentes de otro terreno inferior puedan llegar hasta la superficie del suelo.

Entre los kilómetros 15 y 16 de la línea férrea del Puerto de Santa María á Sanlúcar de Barrameda, como á un kilómetro al O. de la estación de Rota, una compañía inglesa hizo un sondeo de exploración, que debajo de una capa de 4 ó 5 metros de espesor de arenas pliocenas encontró las arcillas del Flysch. Aun cuando no disponemos de datos exactos acerca de la profundidad alcanzada por este sondeo, puede asegurarse que no pasó de 40 ó 50 metros, en atención al diámetro con que se inició (unos 100 milímetros) y la clase de sonda empleada. Es de suponer que no atravesara las capas del Flysch, y fué abandonado sin haber obtenido resultado positivo.

Este sondeo es uno de tantos como se han hecho en la provincia de Cádiz sin saber, ni aproximadamente, qué terreno empujaba á cortar, qué espesor podría éste tener, ni qué formación se encontraría debajo.

Junto al cauce del arroyo «Pan y Melón», unos 500 metros al NE. de la vía férrea, se intentó, por la misma época (1907), abrir un pozo para estudiar la estratigrafía en profundidad, y al mismo tiempo ver si se podía fijar la procedencia de unas emanaciones gaseosas que se observaban en el cauce del citado arroyo. El pozo se hundió cuando alcanzaba 8 metros de profundidad, á causa de la falta de fortificación. En estos 8 metros sólo se cortaron arcillas del Flysch, muy dislocadas y reducidas á pequeñas escamas alabeadas y brillantes á causa de las compresiones y los rozamientos.

7.º *Gases combustibles de las marismas de Lebrija.*—La gran permeabilidad de los depósitos cuaternarios los hace de excelen-

tes condiciones para almacenar las emanaciones líquidas ó gaseosas procedentes de los terrenos inferiores, así como también para conservarlas cuando alguna capa impermeable impide su comunicación con la atmósfera. No es extraño, por lo tanto, que los lentejones de arenas y gravas depositadas por el Guadalquivir cuando rellenaba su estuario, lentejones las más de las veces comprendidos entre capas de finísimos lodos arcillosos, hayan servido de albergue á los gases, ora arrastrados por las aguas desde puntos lejanos, ora procedentes directamente del terreno inferior.

La presencia de gases combustibles en el subsuelo de las marismas de Lebrija se viene manifestando desde tiempo inmemorial por las emanaciones que acompañan á las aguas de algunas fuentes saladas que brotan en dichas marismas y que en el país se designan con el nombre de *ojos*, debido á que el punto de emergencia se acusa por la falta de vegetación, formándose á su alrededor unas como ronchas redondas de 2 á 3 metros de diámetro, en cuyo centro burbujean los gases.

Los trabajos de exploración llevados á cabo por la Compañía Petrolífera de Pambanco, consistentes en gran número de sondeos de profundidad variable entre 14 y 75 metros, han suministrado datos abundantes respecto á la constitución del terreno diluvial del valle del Guadalquivir. Como ocurre siempre en los depósitos de esta índole, alternan las capas de arcillas, arenas y gravas, aunque sin regularidad y con espesor muy variable de unos puntos á otros.

En las capas ó lentejones de gravas y arenas es donde se encuentran almacenados los gases combustibles.

De los cuarenta y tantos sondeos ejecutados, la mayoría han encontrado gas á muy poca profundidad. Entre ellos merece citarse el sondeo «Mallada», de 14 metros, que produjo un desprendimiento de gases tan considerable que éstos ardían á boca llena durante varias horas cada vez que con la cubeta de limpieza se extraía el agua. Otro sondeo abierto cerca de él, y que á los 14 metros encontró gases en pequeña cantidad, produjo en cambio á los 35 una verdadera erupción de lodo. A poca distancia también del sondeo «Mallada», se perforó otro que alcanzó

hasta 75 metros de profundidad, el cual, á partir de la superficie fué cortando las capas siguientes: hasta los 14 metros, arcilla gris azulada; á los 14 metros, una capa bastante gruesa de arenas con poca agua é indicios de gas; continuando después en arcilla hasta los 35 metros, en que se encontró una capa de arena gasífera que ascendía por el tubo del sondeo hasta llenar, en ocasiones, 27 metros. Tras la arena se encontró grava menuda y después grava gruesa, siempre con abundancia de gases, cuya fuerza ascensional elevaba en el sondeo los materiales detríticos del terreno.

La mayor parte de los sondeos de la Petrolífera de Pambanco están situados, como puede verse en el mapa, en la orilla derecha del canal de Bazorque, entre «Caño Gordo» y el caño de «La Albina»; cinco, entre la Albina y el río; y uno en el bajo de Tarfia, islote alargado que queda comprendido entre dos brazos del Guadalquivir.

Acerca del origen de los gases hidrocarbureados de las marismas no están de acuerdo los distintos ingenieros que han visitado la comarca, suponiendo unos que se trata de gases esencialmente petrolíferos, procedentes de depósitos de petróleo que se encuentran en profundidad, atribuyéndoles otros un origen mucho más moderno y relacionado con la descomposición de materias orgánicas en el seno mismo de los aluviones.

A primera vista abona este modo de pensar la cantidad enorme de conchas de moluscos que contienen las arcillas de la capa superficial; pero estudiando la cuestión detenidamente se ve que los restos de moluscos no pueden considerarse como los productores de estos gases porque se encuentran siempre en la capa superior, y, además, porque, como dijimos al tratar del delta del Guadalquivir (véase el Capítulo segundo), esos moluscos no fueron sepultados *in situ* por los materiales de las avenidas, sino después de haber sufrido un arrastre mayor ó menor y desprovistos ya de la parte carnosa.

Las teorías que hacen depender las emanaciones gaseosas observadas en algunos estuarios de ríos importantes de la descomposición de restos orgánicos recientes han sido generalmente desechadas, y hasta los fenómenos conocidos con el nombre de

mud lumps ó islas de lodo se explican hoy sin recurrir á tales descomposiciones. Pero prescindiendo de toda comparación, existe un dato que hace suponer lógicamente que los gases combustibles de Lebrija tienen un origen mucho más antiguo.

Basta echar una ojeada sobre el plano geológico de este término para cerciorarse de que el Trias de la gran mancha que se extiende entre Las Cabezas, las lagunas del «Candilejo» y «Valdelejo» y los cerros de Melendo, cubierta en gran parte por el diluvial de las marismas, y que asoma también al S. de Lebrija, forma el fondo del antiguo estuario del Guadalquivir, sobre todo en los puntos en que la denudación alcanzó mayores proporciones y el río profundizó más su cauce. Resulta de aquí, que las emanaciones gaseosas procedentes del Trias subyacente, y que en mayor ó menor proporción no han faltado nunca, se habrán ido acumulando en las capas permeables del relleno del estuario, y que, por lo tanto, una gran parte, por lo menos, de los gases que hoy contienen los aluviones no debe reconocer otro origen que las rocas del Keuper. Las emanaciones de gases hidrocarbureados abundan en las fuentes que nacen en el terreno triásico, y es de suponer que en las partes en que este terreno se halla oculto ocurra lo mismo, máxime si se tiene en cuenta que el Trias en profundidad, cuando está cubierto por un terreno muy permeable, debe ser atravesado más fácilmente por las aguas, y aumentando la circulación de éstas en su interior los desprendimientos gaseosos han de aumentar también.

Que los aluviones no pueden contener grandes cantidades de gases combustibles se comprende desde luego, pues aparte de que las fuentes que los originan son de limitada producción, las capas protectoras de arcillas no tienen ni el espesor ni la consistencia necesarias para evitar su pérdida constante.

Además de los sondeos á que antes hicimos referencia, la Compañía Petrolífera de Pambanco ha hecho algunos otros fuera ya de la zona ocupada por los aluviones antiguos del río, aunque dentro todavía del estuario.

El más importante de éstos, situado á un kilómetro al NO. de la estación de Lebrija, llegó á 167 metros de profundidad, habiendo cortado, después del relleno arcilloso de la marisma, las

arcillas y margas del Eoceno superior en un todo análogas á las que afloran en las inmediaciones de Las Cabezas y en los cerros que se extienden entre este pueblo y Lebrija. Entre los últimos testigos sacados de este sondeo figura un trozo de marga gris con fajas de tonos más claros, roca característica del mencionado horizonte del Eoceno. Las capas, al parecer, presentan en el lugar del sondeo fuerte inclinación, lo que no es de extrañar ya que este terreno se encuentra siempre muy dislocado y profundamente plegado, sobre todo cuando descansa directamente sobre el Trias.

Otros dos sondeos de escasa profundidad se emprendieron: el uno junto al paso á nivel del cortijo de Los Pozos, y el otro unos 600 metros más al SO., junto al kilómetro 73 de la línea férrea de Sevilla á Cádiz. Sólo encontraron arcillas grises después de atravesar el diluvial. Estas arcillas podrían corresponder á las capas de diatomeas, ó bien al Flysch eoceno que viene inmediatamente debajo de ellas. Ninguno de los dos sondeos encontró gases.

Finalmente, en la falda de «Cerro blanco» se perforó otro sondeo (véase el mapa) con objeto de comprobar si las capas que forman este cerro eran superiores ó inferiores á las que se cortaron en las marismas. El resultado se interpretó en el sentido de que las primeras eran más modernas que las segundas. Sin embargo, como ya se ha dicho repetidas veces, las capas de las marismas son cuaternarias, en toda la profundidad alcanzada por los sondeos para gas, y las de Cerro blanco corresponden al Oligoceno (arcillas de diatomeas). Cuando se practicó este sondeo existía el prejuicio de que el relleno del estuario del Guadalquivir pertenecía al Plioceno inferior ó Plasenciense, y que el Oligoceno y el Eoceno de las colinas que bordean á la marisma, correspondían, sin distinción, al Plioceno medio ó Astiense.

8.º *Manifestaciones petrolíferas en Barbate.*—Al O. de Barbate, á lo largo de la costa, asoman las arcillas del Flysch eoceno, cubiertas junto al pueblo por las arenas de las dunas, y en la Mesa del Tajo por las calizas toscas del Helvético. Las arcillas, recién partidas, despiden ligerísimo olor á gas de alumbrado, fenómeno que se observa también en las arcillas del Mio-

ceno de otros puntos, sin que por ello pueda decirse que contienen petróleo. Probablemente ese olor es debido á la existencia de hidrocarburos gaseosos en su masa aunque en cantidades pequeñas; pero ese detalle, unido á que las arenas de las dunas que vienen encima presentan coloración negruzca, ha hecho suponer que las arcillas eran petrolíferas y que las arenas contenían productos bituminosos. Respecto á las arcillas ya hemos dicho que no contienen ni indicios de petróleo, y respecto á las arenas podemos asegurar que la materia orgánica que contienen y les comunica la coloración negruzca no puede considerarse, en modo alguno, como resto de sustancias bituminosas.

9.º *Otras emanaciones de gases combustibles.*—Además de los puntos ya indicados, se observan emanaciones gaseosas en diversas *salinillas*, como por ejemplo, en las de Santo Domingo y la Jara, en término de Jerez. En el primer punto afloran las margas y las arcillas del Mioceno inferior, pero, dada la constitución general de la comarca, la sal de aquellos manantiales debe proceder del Trias subyacente. Una Sociedad belga hizo allí un sondeo que, según datos fidedignos, á poca distancia de la superficie cortó el Triásico continuando en este terreno hasta la profundidad de 600 metros, máxima alcanzada por la sonda. Este sondeo no dió resultado favorable.

En las *salinillas* del cortijo de la Jara asoman las capas triásicas, aunque por corto trecho, pues las capas miocenas y oligocenas tienen bastante desarrollo por esa parte de la provincia de Cádiz.

Otro punto donde también se observan emanaciones gaseosas es la marisma del «Hato de la carne», entre Jerez y Puerto de Santa María. En los bordes de la marisma quedan al descubierto las margas y calizas cavernosas del Keuper, y también moguillos de calizas blancas del Titónico con fósiles abundantes; todo este conjunto de rocas está cubierto, en los cerros inmediatos, por las capas de diatomeas.

Excusado es decir que todas estas emanaciones gaseosas no reconocen otro origen que las arcillas salíferas del Keuper.

CAPÍTULO CUARTO

GEOLOGÍA DE LAS ZONAS PETROLÍFERAS DE ANDALUCÍA
E INDICACIÓN DE LOS PUNTOS MÁS ADECUADOS
PARA SITUAR LABORES DE EXPLORACIÓN

A. Zona de Villamartín.—El río Guadalete sigue desde Puerto Serrano hasta Bornos la dirección marcada por un anticlinal mioceno, que en su mayor parte ha sido derrubiado. Entre Villamartín y Puerto Serrano sólo quedan algunos restos aislados de las capas que formaban la envolvente, pero entre la primera de estas poblaciones y Bornos se conservan sin solución de continuidad las faldas del anticlinal y puede comprobarse que, en grandes extensiones, afectan dirección y buzamiento constantes.

El núcleo del anticlinal pertenece al Numulítico y al Triásico, y, por efecto de una enérgica denudación, ha perdido gran parte de sus materiales, por lo que á medida que se avanza desde Villamartín en dirección NE., van escaseando los restos de la formación eocena, y ya en las inmediaciones de Puerto de Serrano sólo aparece ante la vista una gran mancha triásica en la que no es posible apreciar las huellas de los plegamientos terciarios.

Saliendo de Villamartín por el camino de Sevilla (1), y después de atravesar la llanura que se extiende al pie de la colina sobre que está edificado el pueblo, cubierta por los acarreos del Guadalete, se penetra inmediatamente en terreno triásico. En el mismo cauce del río, unos 100 metros aguas abajo del cami-

(1) Advertimos al lector que todos los montes, caminos, arroyos y case-
ríos que se citan en esta Memoria están representados en nuestros mapas, de
modo que las descripciones pueden seguirse íntegramente teniendo aquéllos
á la vista.

no, se ve el primer afloramiento de dicho terreno, consistente en unas arcillas verdes y rojas, con intercalaciones de delgados lechos de areniscas micáceas de los mismos colores, que se dirigen al N. 40° E. con buzamiento de 50° al SE. Estas mismas capas, aunque con distinta dirección y buzamiento, afloran, también por corto trecho, más al O., junto á los cortijos indicados en el mapa al S. del camino de los Recoberos.

En la margen izquierda del Guadalete, al S. del primer afloramiento, forman el subsuelo las arcillas abigarradas, que, debajo de la capa aluvial, fueron cortadas en el sondeo número 3 de la «Petrolífera de Villamartín», perforado junto al arroyo de Serracín, entre los caminos que arrancan de aquel pueblo en dirección á Sevilla y á Montellano.

Pasado el río, á la derecha del camino de Sevilla, se eleva una pequeña colina, de 30 á 35 metros de elevación sobre el valle, cubierta por restos de los conglomerados pleistocenos y por gravas procedentes de su desagregación, pero formada por capas triásicas, como puede observarse en el corte natural producido por un regajo que la limita al N., y según se ha comprobado también con los trabajos de exploración del petróleo, pozos y sondeos, perforados casi todos en su falda SE.

Dejando, poco después de cruzar el río, el camino de Sevilla y tomando el de El Coronil, se pasa cerca de varios afloramientos triásicos de caliza magnesiana tabular, roca que forma también el cerro que queda al N. de los Ranchos de Escuchagrano. Varios asomos de calizas se observan igualmente en los cerros situados al SO. del cortijo de las Gateras con buzamiento y dirección tan variados que no cabe establecer la menor correspondencia entre unos y otros. Predomina, sin embargo, la orientación NE-SO., y, aunque no haya posibilidad ni remota de reconstituir la tectónica del conjunto á causa de las profundas modificaciones debidas á los movimientos orogénicos terciarios, se puede afirmar que los primeros pliegues del Trias estuvieron orientados en aquella dirección.

Continuando hacia el N. por la vereda de Montellano, antes de llegar al cortijo de las Gateras, en el mismo borde del camino asoman unas areniscas micáceas que se dirigen del NE. al SO.

con buzamiento de 25° al SE. Los bancos inferiores son de color pardo amarillento y los superiores rosáceos, unos y otros con profusión de restos del *Equisetum Columnare* Brong. y otras especies del mismo género, difíciles de determinar por el borroso estado de sus impresiones. Las de color rojo contienen en los planos de crucero infinidad de restos vegetales, transformados en una substancia carbonosa que se desprende con facilidad, y cuya determinación genérica no es posible precisar á causa de su misma aglomeración.

Pasado el cortijo de las Gateras, á la derecha del camino asoman las margas abigarradas con delgados lechos de areniscas multicolores y alguna que otra capa de dolomia amarillenta. Pueden seguirse estas capas por sus afloramientos en un recorrido de 200 metros con dirección constante del NE. al SO. y buzamiento de 70° al NO. Más al N., frente al codo del río, asoman las mismas capas orientadas de NO. á SE. con fuerte buzamiento al NE. Este cambio radical de orientación, debido á uno de esos trastornos secundarios tan frecuentes en el Trias, parece hallarse relacionado con una potente brecha de fricción que aparece en la orilla opuesta del Guadalete entre el cortijo de la Vega del Rey y el olivar de la Mediana, cortada verticalmente por el río en una escarpa de 20 á 25 metros de altura. Predominan en esa brecha los yesos de segunda formación, de colores vivos, empastando trozos de calizas, de areniscas y de yesos estratificados.

Cerca de los «Higuerones», por debajo de los conglomerados diluviales, asoman las arcillas y calizas triásicas, y continúa la misma asociación de rocas hasta el cortijo del Algarrobo, donde la faja triásica que nos ocupa se enlaza con la gran mancha que se extiende hacia al N. y se interna en la provincia de Sevilla.

Al NO. del cortijo de las Gateras, como á medio kilómetro del caserío, están atravesadas las capas triásicas por un dique offítico de bastante extensión, y en la orilla izquierda del río, en terrenos del cortijo del Novillero, existe otro asomo de ofita, en forma de chimenea cilíndrica. Entre el caserío de este cortijo y el asomo de ofita afloran las calizas tabulares del Trias, cuyas capas forman la colina situada al N. de la estancia del susodicho

cortijo: los estratos se dirigen al NE. con buzamiento al SE. y forman un mogote aislado sobrepuesto á las arcillas yesíferas y á los yesos. En el cerro que queda al E. del Novillero, predominan las areniscas amarillentas, que vuelven á asomar más al S., en el arroyo de la Mediana baja.

Dos kilómetros aguas abajo del acantilado que forma la brecha de fricción á que antes nos referimos, al que se adapta el río en un corto trayecto con dirección E. SE. á O. NO., vuelve el Guadalete á describir otra curva abandonando de nuevo su dirección general. Estos cambios bruscos de dirección obedecen indudablemente á la existencia de fracturas de alguna importancia, que en la superficie se acusan en el primer punto por la referida brecha de fricción, y en el segundo por un retazo pequeño de arcillas abigarradas del Flysch eoceno que aparece comprimido entre las ramas de un pliegue secundario. Estas arcillas del Flysch asoman también más al S., en las inmediaciones del Rancho de Pavón, á orillas del arroyo Serracín, y en ambos sitios dan lugar á un talud rapidísimo cubierto de partículas de la misma arcilla muy brillantes, verdosas y rojizas, que resbalan sobre la parte no descompuesta de la roca y con su movimiento incesante impiden que la vegetación arraigue. Por debajo de la capa superficial alterada se encuentra una arcilla verde tan sumamente comprimida que sus fragmentos, al menor choque, se dividen en pedacitos muy pequeños con caras irregulares alabeadas y brillantes. A medida que van perdiendo la humedad, estos pedazos se transforman á su vez en escamas idénticas á las de la capa superficial.

A pesar del gran desarrollo del terreno numulítico en los alrededores de Villamartín, las arcillas de Flysch de facies abigarrada sólo se encuentran en los puntos indicados y 10 kilómetros más al N., en Torre Lopera, debajo del Mioceno, y al O. del cortijo de «La Higuera Caída».

Entre el «Molino de Ríos» y el puente de la carretera de Jerez á Ronda, sigue el cauce del Guadalete entre yesos y arcillas abigarradas del Trias, que forman algunos acantilados en la margen derecha, pero que apenas presentan afloramientos por la margen izquierda, donde quedan ocultas bajo un manto bas-

tante potente de tierra vegetal y arrastres cuaternarios que se extiende hasta la base de la colina donde está edificado Villamartín y las alturas que, más al SO., se hallan junto á la carretera. Los últimos afloramientos triásicos de la margen derecha del río se presentan al SO. del cortijo de la Laguna, en las trincheras del kilómetro 33 de la carretera de Las Cabezas á Ubrique.

Por el N. de Villamartín aparecen varias manchas numulíticas bastante separadas entre sí, pero á medida que se camina hacia el S. van uniéndose las unas con las otras, quedando así reducida la parte vista del *substratum* triásico hasta el punto de que, á partir del puente sobre el Guadalete y en dirección al cortijo de Alperchite, el terreno está formado, no por una mancha triásica salpicada de retazos eocenos, sino por una mancha eocena atravesada á trechos por pequeños asomos de yesos y calizas triásicas.

Basta echar una ojeada sobre el mapa de la lámina 5, para cerciorarse de que este ocultamiento progresivo del Trias se debe exclusivamente á la presencia de las capas miocenas. En efecto, donde estas capas, por efecto del plegamiento, resultaron agrietadas en gran escala, fueron arrastradas totalmente hasta dejar al descubierto el terreno eoceno, que á su vez fué barrido por completo; en tanto que cuando el agrietamiento del Mioceno fué más reducido, las aguas pluviales, mejor encauzadas, dieron lugar á que la denudación sólo se manifestara á lo largo del eje del anticlinal.

Es de suponer que la base de la colina sobre que está edificado Villamartín esté formada por las arcillas eocenas, mas como el terreno firme se halla oculto por los depósitos diluviales, no es posible comprobarlo directamente. Al NE. del pueblo, á orillas del arroyo de Serracín, asoman las referidas arcillas, y en la central de transformación del Guadiaro (kilómetro 53 de la carretera de Jerez á Ronda) se encontró la caliza numulítica al abrir los cimientos del edificio; es indudable, pues, que la formación eocena continúa entre los dos puntos citados, por debajo del Mioceno, que debió preservarla de la denudación.

Entre los kilómetros 52 y 53 de la carretera, en una cantera

abierta para sacar balasto, asoman las calizas numulíticas en bancos doblados en un anticlinal agudo, cuya dirección exacta es imposible fijar con exactitud dado lo reducido del asomo. Sobre las calizas, que son un verdadero conglomerado de *Nummulites* con algunos granillos de cuarzo blanco y escamitas de arcilla verdosa, reposan unas arcillas verdes en lechos delgados y calizas tabulares silíceas, rocas que, adquiriendo desarrollo considerable en toda la zona comprendida entre el puente y el arroyo de Alberite, forman la línea de colinas que arranca del cerro de la Gloria y muere en el referido arroyo.

El cerro de la Gloria está constituido por las arcillas verdes eocenas con intercalación de delgados lechos de caliza gris cuajada de fucoïdes, areniscas calíferas y calizas amarillento-rosáceas, que se esfolian fácilmente en lascas de 1 á 3 centímetros de espesor, y cuyos fragmentos, semejantes á trozos de ladrillo, cubren la superficie del suelo. En ocasiones, las calizas tabulares y las de *Nummulites*, que forman siempre capas subordinadas á las arcillas, adquieren mayor espesor, y entonces, por efecto de su mayor dureza, sobresalen en la superficie formando mogotes, aunque siempre de dimensiones reducidas.

La dirección y buzamiento de las capas en esta mancha eocena no pueden precisarse de un modo absoluto, aunque en general los estratos se alinean de N. 10° E. á S. 10° O., según resulta comprobado por los asomos de la caliza tabular y en especial por un haz de estas capas que cruza el arroyo Alberite, al SO. del cortijo de Alperchite, buzando fuertemente al E. 10° S.

Por el otro lado del río, al S. SO. del cortijo de la Laguna, forma el Eoceno algunas colinas de escasa altura, totalmente cubiertas por el manto de tierra vegetal.

Desde el cortijo de la Laguna hacia el N. corre una faja numulítica formando los cerros que separan las aguas del Guadalete de las del arroyo Almarda. Esta faja está compuesta por dos zonas paralelas: una, al E., constituida exclusivamente por las calizas con *Nummulites*, las tabulares y las margas silíceas y blanquecinas del Flysch; y otra, al O., formada por las margas blancas y rojas inferiores. La primera se prolonga al NE., según la dirección general de las capas, por los cerros de Garcilechuga

y los Mármoles, terminando en el cortijo de los Pozuelos. La segunda continúa por los cerros de Illescas y Carpintero. Los múltiples pliegues que dislocaron la formación eocena hacen que las capas que constituyen esta mancha, especialmente las margas blancas inferiores, presenten su estratificación bastante confusa.

En el camino de Sevilla, en la confluencia del arroyo de las Salinillas con el de Garcilechuga, asoman las calizas tabulares negruzcas del Trias cubiertas por las margas blancas numulíticas, algunos de cuyos bancos ofrecen la coloración rojo ladrillo característica del nivel inferior de la formación. Estas margas se dirigen aproximadamente de E. á O., buzando al N. unos 20°, pero más al E. se doblan en un anticlinal y buzan al S. En el eje de este anticlinal, que tiene 8 ó 10 metros de amplitud, salen á luz las arcillas yesíferas del Trias.

En las calizas y en las margas superiores del Eoceno pueden determinarse, aunque en recorridos cortos, direcciones y buzamientos bien definidos: los dos cerros situados al N. de la laguna inmediata al cortijo de este nombre están formados por las calizas tabulares del Eoceno, con dirección N. á S. y buzamiento de 30° al E. en el más próximo á la laguna, y de N. 45° E. á S. 45° O. con buzamiento 40° al SE., en el otro. Esta última dirección es también la de unos bancos de caliza marmórea numulítica que corren á lo largo de la cañada que limitan aquellos cerros y los que más al E. rodean la mancha eocena: el buzamiento de estas calizas es de 35° al SE. Sobre estas capas se apoyan, buzando en el mismo sentido, las margas silíceas blanquecinas del Flysch, que forman algunas lomas al S. del camino de Sevilla.

Las margas blanquecinas silíceas forman también una mancha apoyada directamente sobre el Trias, en el cerro situado al O. del Rancho de la Rfa, y á juzgar por los datos que figuran en el informe del Sr. Mallada, de que hicimos mención en el Capítulo primero, deben también encontrarse estas margas en el cerro donde hizo los sondeos la «Petrolífera de Villamartín», aunque no queden al descubierto por ocultarse bajo los depósitos diluviales.

Al O. del cortijo de Illescas se encuentra el cerro de la Per-nagosa, formado por potentes bancos de calizas marmóreas del

Eoceno, que alternan con los conglomerados de *Nummulites* y con capas de calizas arenosas. La base del cerro es triásica, y las capas eocenas son un retazo muy alabeado de un sinclinal.

La gran mancha eocena que desde el arroyo de Garcilechuga se extiende hasta los cortijos del Mármol está formada exclusivamente por las margas blancas y rojas inferiores, muy plegadas, pero conservando la dirección general NE. SO.

Entre los cortijos de la «Cierva Nueva» y la «Cordillera», al O. del arroyo de las Herrerías, hay tres colinas alineadas de N. NE. á S. SO., formadas por las capas del Eoceno superior. En la más cercana al último de aquellos cortijos, las margas silíceas se dirigen de N. 10° E. á S. 10° O. y buzan 85° al E. 10° S. Por último, entre el cortijo de la «Cordillera» y el vértice topográfico «Manoterás» se extiende otra mancha numulítica en la que se asocian las margas blancas inferiores, las calizas marmóreas y las margas silíceas del Flysch, profundamente plegadas.

Tal es la composición y estructura del núcleo del anticlinal formado por las capas miocenas, cuyo eje determina aproximadamente el curso del Guadalete; veamos ahora la naturaleza y el régimen de las capas que forman el anticlinal en cuestión.

La colina sobre que está edificado el pueblo de Villamartín está formada por las capas arenosas del Mioceno inferior ó Burdigaliense, que descansan, como ya dijimos, sobre las del Flysch eoceno. Los estratos miocenos, según se observa en algunas canteras de arena abiertas en el mismo cerro, al S. del pueblo, presentan inclinación bastante acentuada al SE.; las arenas son incoherentes y entre ellas se intercalan algunos lentejones de areniscas muy duras que sobresalen en los tajos de las explotaciones. Los fósiles son muy escasos en este punto; sin embargo, se encuentran algunos *péctenes* de pequeño tamaño y restos de otros bivalvos que no es posible determinar con certidumbre. Estas capas cruzan la carretera de Jerez entre los kilómetros 54 y 55.

La inclinación de las arenas inferiores del Mioceno en el cerro de la población coincide aproximadamente con la pendiente de la ladera sobre que se asientan las casas, y las cabezas de las capas dan origen al brusco desnivel que existe entre la calle de Alvarez Troya y las paralelas que quedan al NO.

Continúan los estratos del Mioceno inferior, con dirección SO. y buzando al SE., hacia el cerro de la Gloria, donde se puede apreciar perfectamente el contacto de la formación miocena con las arcillas y calizas con fucoides del Flysch eoceno. La cumbre de este cerro coincide aproximadamente con el eje del anticlinal mioceno, pues las capas de este terreno aparecen allí en posición casi horizontal. En este punto contienen, entre otras especies fósiles, el *Flabellipecten expansus* Sow., el *Echinolampas San Micheli* Lovisato y algunos *Clypeaster* de gran tamaño.

En el cerro de Alberite, las mismas capas presentan la dirección normal de NE. á SO., con buzamiento al SE., y sus afloramientos pueden seguirse por los cerros de la Borracha y de Alperchite, con la misma dirección y buzamiento en los estratos.

Al S. del cortijo de Alperchite, y pasado el arroyo Alberite, se reduce la pendiente á 20 ó 25°, y al mismo tiempo cambia paulatinamente la dirección al SO. con rumbo al cerro de «Casa Blanquilla», pasado el cual desaparecen los asomos bajo el diluvial del arroyo de Zanjär.

Es de anotar que á medida que se avanza desde Villamartín hacia el cortijo de Alperchite, siguiendo los afloramientos del Burdigaliense, se van enriqueciendo las capas superiores en carbonato de cal, por la interposición, entre los granillos de cuarzo, de partículas de conchas de moluscos y briozoarios, y, sin que pueda establecerse una división marcada, resulta manifiesto el tránsito del Burdigaliense propiamente dicho, á las capas inferiores del Helvético. En el cerro de «Casa Blanquilla» se acentúa más este tránsito, y cuando las capas miocenas aparecen de nuevo al SO. del cortijo «La Soledad», pasado el diluvial del arroyo Zanjär, la caliza tosca del Helvético asoma ya con un espesor muy considerable.

En este punto puede decirse que termina la rama oriental del anticlinal del Guadalete, ya que inmediatamente después cambian de rumbo las capas miocenas y se incorporan á una de las ramas de otro anticlinal (anticlinal de la angostura de Bornos) que describiremos más adelante.

Al NE. de Villamartín, el Burdigaliense se apoya sobre las arcillas abigarradas del Eoceno superior y se extiende en esa

dirección, con buzamiento al SE., hasta el arroyo de la Mediana baja, en cuyo cauce asoman, como ya hemos dicho, las areniscas micáceas del Keuper.

La rama occidental del anticlinal del Guadalete sigue constantemente la dirección NE. SO. entre el cortijo de la «Norieta baja» y el vértice topográfico «Habar». Las capas del Burdigaliense que forman el tránsito entre las areniscas y la caliza tosca afloran en posición casi vertical entre los cortijos «Norieta baja» y «Norieta alta», y forman como un muro de contención que determina un gran desnivel entre la zona del E. y la del O. de sus afloramientos. Al S. de la «Norieta alta», las capas presentan ya su pendiente normal (25° á 30°), con la misma dirección NE. SO. Al llegar al cerro del «Habar» se alinean al S. para recobrar un kilómetro más allá su dirección NE. SO., mas sólo en corto trecho, pues de nuevo se orientan al S. y quizás al S. SE., por bajo de los arrastres aluviales del Guadalete, ya que, en la orilla opuesta, el primer afloramiento visible se halla cerca del cortijo del Melero. En todo este trayecto predominan las areniscas del tramo inferior.

Desde el cortijo del Melero empiezan á arquearse las capas hasta quedar orientadas al SO., y luego de pasar por cerca del cortijo la «Tablilla», bajo el diluvial, desaparecen definitivamente, ocultas por las calizas helvéticas, cuyas capas, orientadas de E. NE. á S. SO. y con buzamiento al O. NO., forman ya parte del anticlinal de Bornos.

Al N. del cortijo de la «Norieta baja», los estratos miocenos están verticales, y quedan interrumpidos bruscamente por las arcillas triásicas en el arroyo de las Salinillas; pero un kilómetro y medio más al O., aparecen de nuevo con la misma dirección y buzamiento que entre las dos Norietas, y continúan así hasta más allá del cortijo de la Cordillera, formando un cordón que resalta en el terreno por efecto de la mayor dureza de las capas. Aunque se ha de tratar más adelante de la tectónica general de la zona, es conveniente hacer mención de este salto brusco de las capas miocenas que, unido á la verticalidad de las mismas, indica claramente las grandes presiones producidas por los últimos plegamientos.

Continuando el estudio estratigráfico, nos ocuparemos ahora de los terrenos posteriores al Helvético, y que fueron depositados en el fondo de los sinclinales formados por las capas de este último.

Saliendo de Villamartín por la carretera de Algodonales se cruza, poco después del kilómetro 56, el arroyo de Serracín. Debajo del puente, en el cauce, afloran unas arcillas grises en capas casi horizontales que, aguas abajo de este punto, en la margen derecha del mencionado arroyo, quedan al descubierto en unas trincheras abiertas para su explotación como tierras de alfarería. Estas arcillas son las que hemos clasificado como sarmáticas (arcillas con *Pecten Ugolini*). La continuidad de esta formación resulta comprobada por sus innumerables afloramientos, que por regla general aparecen en los cauces de los arroyos.

Al entrar en Villamartín por la carretera de Jerez, en las márgenes de un arroyuelo que corre paralelo á la carretera, á la derecha de ésta, se ven otras canteras de las mismas arcillas. Afloramientos de la misma roca pueden observarse entre los cortijos de Alberite y Los Villares, en el cauce del arroyo de Alberite, en la margen izquierda del arroyo Zanjar, al S. de Casa Blanquilla, y asoman también por entre el diluvial, á orillas del río Guadalete, junto al cortijo de las Pitas y en diferentes puntos del cauce del arroyo Almarda que, como puede apreciarse en el mapa, sigue el eje de un sinclinal formado por las capas del Helvético.

Sobre las arcillas que cubren la rama E. del anticlinal de Villamartín descansan unas areniscas de grano grueso, que en ocasiones pasan á conglomerados de grandes elementos y que rara vez presentan fuertes inclinaciones. El camino marcado en el mapa á unos 2 kilómetros al SE. de Villamartín, con el nombre de «cañada del Higuierón», sigue precisamente en todo su recorrido las cabezas de las capas de esta formación, y, por lo tanto, la línea de contacto con las arcillas

Entre el cortijo de la Perdiz y el de la Vega del Rey, el río Guadalete corre al pie de una escarpa formada por las areniscas de que se trata, las cuales descansan directamente sobre el Trias, y cerca del último de los cortijos citados se ven algunos bancos

formados por trozos rodados de caliza tosca del Helvético. En el mismo punto, los lechos inferiores se inclinan hasta 30° al E. 30° S., mientras que la inclinación de los superiores sólo es de 5 á 10°, lo mismo en este punto que á lo largo de la cañada del Higuierón. En el cerro del Convento aparecen las areniscas en posición horizontal, así como también entre la «Sevillana baja» y el rancho de las Palomas.

La línea de contacto de las areniscas con las arcillas se dirige desde el cortijo de los Chopos al del Regantío, en cuyas inmediaciones las areniscas se hacen muy duras y compactas, y contienen abundantes ejemplares de *Ostrea* de gran tamaño.

Entre los arroyos Zanjar y Albalá, al NO. del rancho de Cantarrana, las mismas areniscas aparecen en la parte alta de los cerros y están apoyadas sobre las arcillas con *Pecten Ugolini*.

Las areniscas del tramo superior descansan transgresivamente sobre las arcillas, y al E. de Villamartín, entre Puerto Serrano y Prado del Rey, se apoyan sobre las calizas y arcillas del Trias. Lo mismo ocurre en la zona del límite N. de nuestro mapa, en el cerro de Torre Lopera; sobre las arcillas abigarradas del Flysch eoceno descansa la caliza tosca helvética, y, sucesivamente, vienen encima, las arcillas con *Pecten Ugolini* y las areniscas con grandes *Ostrea* que, hacia Levante, se apoyan directamente sobre el Trias.

Los primeros movimientos orogénicos que dislocaron la zona de que estamos tratando son de edad anterior al depósito del Jurásico, según indicamos en el Capítulo segundo de esta Memoria. Sobre las capas ya plegadas del Trias se depositó el Eoceno, representado por sus tres pisos: el inferior, de margas blancas y de color ladrillo; el medio, de calizas marmóreas; y el superior, de calizas tabulares, arcillas, margas abigarradas, margas silíceas, etc., ó Flysch. Todo este conjunto de capas ha sido plegado energicamente, ajustándose los pliegues, en conjunto, á la dirección N. NE. á S. SO. Los depósitos inferiores del Mioceno rara vez se hallan en contacto inmediato con el Trias, lo que demuestra que en los comienzos de aquella edad las rocas eocenas de esta parte de la provincia no habían sido denudadas hasta dejar al descubierto la formación triásica.

Aun cuando es difícil precisar la tectónica primitiva del Numulítico, á causa de los trastornos producidos por los plegamientos postmiocenos, se puede afirmar que ninguno de sus anticlinales coincidió con el valle actual del río Guadalete, pues ni la dirección del río es paralela á la de los pliegues eocenos, ni las capas de este terreno buzan con inclinación contraria á las vertientes del valle.

Las únicas capas que forman anticlinal en la zona de Villamartín son las del Mioceno inferior y medio, y este anticlinal, ya derrubiado, determina el curso del Guadalete por largo trecho; pero dada la falta absoluta de concordancia entre las formaciones geológicas de la envolvente y del núcleo del anticlinal, resultaría más exacto el decir que el río *Guadalete sigue, al cruzar la zona de Villamartín, una brecha abierta por la denudación en el núcleo triásico-numulítico de un anticlinal de capas miocenas.*

El hecho de que este núcleo no esté formado por capas plegadas simultáneamente, sino en épocas distintas, y por un terreno compuesto de sedimentos de muy diversa cohesión, ha sido la causa determinante de la desigual resistencia opuesta al plegamiento en los distintos puntos del anticlinal, y esto, unido al poco espesor del Mioceno, ha originado en las capas de la envolvente grandes fracturas que han facilitado su rápida denudación.

Además, y según se representa en los cortes números 4 y 6, la parte del núcleo correspondiente á la clave de la bóveda ha conservado durante el plegamiento su posición primitiva, mientras que descendían las partes laterales, produciéndose fallas paralelas á la dirección del anticlinal, y á consecuencia de ello aparecen hoy, entre los cortijos de la «Norieta alta» y la «Norieta baja», las capas miocenas en contacto inmediato con el Triásico, y las margas blancas numulíticas en discordancia con el Flysch, á un kilómetro al S. del puente sobre el Guadalete en la carretera de Jerez á Ronda.

Aunque esta disposición especial de los terrenos obedece al descenso de los estribos de la bóveda mientras la clave permanecía fija, el mismo hecho puede explicarse también suponiendo que los estribos permanecían fijos mientras el núcleo propiamente dicho del anticlinal, comprimido lateralmente, subía per-

forando la envolvente: de aquí que se aplique á los anticlinales en que esto ocurre el nombre de anticlinales de núcleo perforante (*Anticlinaux à noyau de percement*). Esta clase de anticlinales es frecuente en la vertiente rumana de los Cárpatos, siendo de notar que en las fallas que separan al núcleo del resto del anticlinal suelen existir grandes depósitos de petróleo, cuando los terrenos que han perforado la bóveda corresponden á formaciones petrolíferas.

Además de las fallas miocenas paralelas á la dirección del anticlinal que nos ocupa, existen otras normales ó casi normales á esa dirección. Cuando estas líneas de fractura transversales quedan limitadas al Triásico y al Eoceno no es posible reconocerlas, pero cuando afectan también á las capas del Neogeno se les puede seguir sobre la superficie con bastante aproximación: en este caso se encuentra la que comienza al S. del cortijo de la «Cierva nueva» y, pasando por el de la «Norieta baja», continúa hacia el Molino de Ríos y el rancho de Pavón, aun cuando no sea posible fijar su posición exacta por ocultarla la tierra vegetal y los terrenos de acarreo. A esta línea de fractura transversal se debe el salto brusco de las capas miocenas entre la «Norieta baja» y el cortijo de la «Cierva nueva», y también, probablemente, la profunda alteración de las capas arcillosas del Flysch eoceno en las cercanías del rancho de Pavón.

El empuje que ha dado origen al anticlinal de Guadalete, como también á otro paralelo á él que se encuentra entre Villamartín y Espera, procede del SE., y coincide con el levantamiento definitivo de la Serranía de Ronda. Por esto, en ambos anticlinales la rama NO. está mucho más inclinada que la rama SE. En el de Villamartín, ya hemos dicho que entre el cortijo de la Norieta alta y el de la Cordillera las capas miocenas están verticales; en el de Espera, como luego veremos, ocurre lo mismo á Levante del pueblo.

Los depósitos posteriores al Helvético, tanto los sarmáticos como los cuaternarios, carecen de interés desde el punto de vista de los yacimientos de petróleo, toda vez que se han depositado después del último plegamiento que puede haber influido en la distribución de dicha substancia.

Los sondeos llevados á cabo en la zona de Villamartín para la exploración del petróleo y que han encontrado este líquido, están situados en las inmediaciones del Molino de Ríos. Todos se han emboquillado en el Trias, á excepción de un pozo hecho á mano, que cortó, después del diluvial, dos metros de margas blanquecinas silíceas del Eoceno. Los que se han abierto más al N. ó más al S. (sondeo número 2, á un kilómetro de «la Ría», junto al camino de Montellano, y sondeo número 3, á orillas del arroyo de Serracín) no han encontrado vestigios de petróleo, lo cual hace pensar si la existencia de éste estará relacionada con la falla de la «Norieta baja», pero aun suponiendo que así fuera, no es de creer que sea esa línea el lugar más indicado para situar trabajos de exploración, pues aunque en una falla que atraviesa una formación petrolífera se pueden acumular grandes cantidades de petróleo, es á condición de que existan capas permeables que puedan haberse impregnado y, como se ha dicho repetidas veces, en el Trias no existen capas con el desarrollo necesario para formar depósitos de interés comercial. Por otra parte, la tectónica especial del Trias hace que no existan tampoco mantos impermeables capaces de preservar cualquier depósito que en grietas ó cavidades pudiera haberse formado.

La existencia del anticlinal, como línea de mayores presiones, y muy especialmente la de las fallas que, paralelas á su dirección, han puesto al Trias en contacto con terrenos terciarios, son circunstancias que deben estimarse como muy favorables para las acumulaciones de petróleo, y, por lo tanto, los trabajos de reconocimiento que se lleven á cabo en la zona de Villamartín deberán situarse sobre el Eoceno ó el Mioceno de las ramas del anticlinal para cortar en profundidad las fallas que las separan del núcleo. El petróleo podría encontrarse en las capas permeables del Terciario ó en el contacto de éste con el Trias.

Atendiendo á estas consideraciones, el Instituto Geológico ha emprendido un sondeo en la localidad emboquillándolo en las arcillas del Flysch eoceno, al borde de la falla que separa la vertiente SE. del anticlinal, del núcleo. Por los mismos motivos, sería interesante reconocer con la sonda otros puntos del anticlinal más lejanos aún de la zona desnuda, por ejemplo, algún

punto del arroyo Alberite, en la parte comprendida entre el cortijo de Alperchite y el del Melero.

B. Zona de Bornos.—Comprendemos bajo esta denominación la zona ocupada por la gran mancha miocena que se extiende entre Espera, Bornos, Arcos y Algar, donde adquiere gran desarrollo el nivel de la caliza tosca helvética, cuyas capas dan origen á una serie de pliegues, relacionados entre sí y sin solución de continuidad, que vamos á describir tomando como punto de partida el anticlinal de la Angostura de Bornos.

La dirección del eje de este anticlinal es de N. NO. á S. SE. Las capas que forman la rama NE. están cortadas por el río Guadalete un kilómetro al SO. de Bornos, siendo su buzamiento en este punto 35° al NE. La rama SE., junto al molino de la Hoz, buza 40° al SO.

Forman la envolvente del anticlinal las calizas toscas del Helvético, con espesor que no bajará de 80 á 100 metros y que dan lugar frecuentemente á escarpas como la representada en la fotografía núm. 10. Debajo de la caliza tosca vienen unas arcillas grises en capas de poco espesor y que son más bien lentejones subordinados á la potente serie de areniscas que sigue á la caliza en orden descendente. En estas arcillas se encuentran, aunque no con frecuencia, diatomeas y radiolarios. Las areniscas son silíceas con cemento calizo, tienen de 100 á 120 metros de espesor, y concuerdan con las arcillas y las calizas toscas. Formando el núcleo del anticlinal, asoma, junto al molino de la Gredera, otra serie de arcillas grises idénticas á las del segundo nivel y que, como en éstas, se encuentran también diatomeas y radiolarios.

El anticlinal de la Angostura conserva por corto trecho la dirección N. NO. á S. SE.; las capas de caliza tosca que forman la rama NE. dan por intersección con un plano horizontal trazado á nivel del Guadalete, una curva parabólica cuyo vértice coincide con el punto donde el río corta á dichas capas. Por efecto de esto resulta que desde este punto hacia el E., las capas de caliza se dirigen hacia el cortijo de los Frailes, y luego al de la Tablilla, si bien perdiendo en espesor á medida que se alejan del punto de partida, hasta que en el último de los citados cortijos faltan

ya por completo. Hacia el N., las mismas capas, con espesor constante, se orientan primero al N. NO., después al N., más adelante al N. NE. y por último al NE., formando la vertiente oriental de la Sierra de Carija. En todo este trayecto (unos 10 kilómetros) los estratos conservan la misma facies é idéntico buzamiento (35° á 40°). Pasada la carretera de Las Cabezas á Villamartín, las capas de la caliza tosca se adelgazan considerablemente, hasta desaparecer por completo al llegar al cortijo de la Cierva.

Atendiendo á lo expuesto y también á lo consignado al describir la zona de Villamartín, se deduce que las capas miocenas de las Sierras del Calvario y de Carija forman un sinclinal con las de la vertiente occidental del anticlinal del Guadalete, y que unas y otras se unen cerca de Bornos para formar la rama NE. del anticlinal de la Angostura.

Veamos ahora cómo se desarrolla la rama del SO. de este anticlinal: desde el molino de la Hoz, en la orilla del Guadalete, las capas de caliza tosca forman un arco de elipse cuya convexidad mira hacia Bornos, y se dirigen hacia el kilómetro 38 de la carretera de Jerez, desde donde continúan por el cortijo de la Zorrilla y desde este punto hacia el pueblo de Arcos. En este último trayecto la inclinación de las capas se reduce á 15° ó 20°.

En Arcos, las capas de caliza tosca se arrumban de NO. á SE., con buzamiento de 15° al E. NE., y están cortadas á pico por el Guadalete en un tajo de 130 metros de altura, donde, por ser paralelos á la dirección de las capas, los lechos de estratificación quedan marcados por líneas horizontales, resultando así disimulada la pendiente efectiva de los estratos.

Pasado el pueblo de Arcos, las capas corren al E. con buzamiento septentrional hasta llegar á las «Casas de la Sierpe», desde donde se dirigen al N., con inclinación al O., por los cerros de «La Escalera» y «Los Barrancos», y, por último, se arrumban al N. NO. hasta enlazar en el río con las capas que nos sirvieron como punto de partida.

Forman, pues, las capas en cuestión una cuenca completamente cerrada de forma elipsoidal, tangente á la cuenca parabólica de Villamartín en la Angostura de Bornos, y produ-

ciendo entre las dos, en su tangencia, el anticlinal de este último punto.

Consignaremos ahora algunos datos que no carecen de interés relativos á la situación especial de la ciudad de Arcos.

Según se representa en el mapa, el río Guadalete describe al llegar á Arcos dos lazos sucesivos, en el primero de los cuales deja aislada una lengua de tierra larga y estrecha y de considerable altura, pues alcanza en su cumbre 170 metros de altitud, en tanto que la del río es solamente de 40 metros. Aprovecha el Guadalete para describir estas curvas tan pronunciadas dos profundas cortaduras, probablemente de origen tectónico, de bordes muy escarpados. (Véase la fotografía núm. 8.)

Estos dos precipicios, totalmente inaccesibles, tienen alturas muy distintas por efecto de la pendiente de las capas de caliza tosca que los forman, con uno de cuyos lienzos coincide el plano superior del espolón que sirve de asiento al pueblo; el tajo que mira á Poniente (fotografía núm. 8) tiene 40 metros más de elevación que el que mira á Levante. Como el buzamiento de las capas de caliza es algo pronunciado, las calles del pueblo perpendiculares á la dirección de los estratos tienen una pendiente tan exagerada que se hace imposible el tránsito de toda clase de carruajes. Si se mira el pueblo de Arcos desde las orillas del Guadalete, parece que los tajos se han producido posteriormente á la construcción del pueblo, pues las casas están tan al borde de aquéllos que las fachadas de la primera línea de edificios están al plomo de la cortadura.

Volviendo ahora á la mancha miocena en las inmediaciones de Bornos, indicaremos que la carretera de Jerez, entre los kilómetros 41 y 42, corta á las capas de caliza tosca que están en posición horizontal por corresponder este punto á la cumbre del anticlinal de la Angostura.

Estas mismas capas asoman, con buzamiento al SE., entre la casa de la dehesa de Saucedilla y unos cerros que quedan como un kilómetro más al SO., para cambiar en seguida de pendiente y aparecer inclinados al NO. entre la casa de la dehesa de Grijuela y un cerro de 260 metros de altitud situado unos 2 kilómetros más al NE. En este trayecto no se ve debajo de la caliza

tosca ninguna otra capa más antigua, pero lo mismo por el NE. que por el SO. del nuevo anticlinal asoman pronto las areniscas inferiores que forman su relleno.

Este anticlinal puede seguirse en dirección NE., desde la dehesa de Grijuela hasta el cortijo del Infierno, y por el SO. hasta el cortijo de la Zorrilla, desde donde se dobla al S., coincidiendo entonces su eje con el arroyo «Salado de Espera.»

Las capas de caliza tosca buzan al NO. entre el molino de Azadén y el cortijo «Cruz de la Legua,» formando el flanco O. del anticlinal, y vuelven á levantarse al poco tiempo entre el rancho de «Vista Alegre» y el mismo cortijo, constituyendo así un retazo sinclinal sumamente estrecho y alargado.

El borde NO. de este retazo forma anticlinal con el borde SE. de otra mancha que se halla representada en nuestro mapa al S. del cerro «Guijos de Espera», mancha que es á su vez retazo de otro sinclinal cuyo borde NO., buza al SE. y da origen á uno de los picos del citado cerro.

Estos dos anticlinales son ondulaciones más ó menos acentuadas de las capas de caliza helvética, que en definitiva quedan buzando á SE., á lo largo de una línea que va desde los «Guijos de Espera» hasta el cortijo de Matajacas, al O. de Arcos. Estas capas forman un anticlinal perfectamente caracterizado con las que afloran, buzando á NO., entre Espera y el cortijo de Jaramil, pasando por la cumbre izquierda de los Guijos (véase el corte número 1). Cerca del cortijo «Cruz de la Legua» la denudación ha puesto al descubierto á las margas blancas numulíticas, al Triásico y á las capas de diatomeas.

En los montes de Espera, los estratos miocenos estuvieron sometidos á violentos empujes que originaron pliegues muy agudos: en el cerro de los Guijos buzan en dos sentidos opuestos con pendiente de 70°, y al cruzar el arroyo Salado aparecen en posición vertical y en contacto inmediato con el Trias por efecto de una falla (véase el corte número 3).

La caliza tosca en todos estos montes es mucho más consistente que de ordinario, porque el carbonato de cal ha cristalizado en los poros de la roca primitiva dando mayor solidez á la masa. También presentan los bancos de caliza tosca de los Guijos una

particularidad que no se registra en ningún otro punto de la mancha miocena, y es que la masa de la roca empasta con frecuencia trozos angulosos de calizas marmóreas del Jurásico con perforaciones de *Lithodomus*; esto demuestra que en algunos puntos formaban los macizos jurásicos la costa del mar mioceno.

Desde el cerro donde está el pueblo de Espera, las capas de la caliza tosca, con buzamiento de 60° al SE., continúan por los cortijos de «San Antón» y «Las Peñas» formando la Sierra Gamaza, y terminan en el cortijo de Jaramil. En todo este trayecto forman sinclinal con la rama antes descrita, y el pliegue, cerca de Espera, está relleno por las arcillas superiores.

El arroyo Salado de Espera, que empieza á recoger sus aguas en la hoya triásica limitada por la Sierra de Carija y los cerros de Tochera, penetra en este sinclinal cortando las capas de la caliza tosca al N. de los Guijos, y lo abandona en el cortijo de «Las Peñas» para entrar en el anticlinal de «Cruz de la Legua» y seguir por él hasta la carretera de Jerez á Arcos.

Volviendo ahora al punto de partida, es decir, al anticlinal de la Angostura, donde se forma una especie de nudo al que vienen á confluír todos los pliegues de la caliza helvética, consignaremos que las capas de la rama NE. de este anticlinal, que, según vimos, se arquean paulatinamente hasta unirse á la rama O. del de Villamartín, se doblan á su vez en un anticlinal hacia el cortijo de «La Soledad», quedando orientadas de N. NE. á S. SO., con fuerte buzamiento al SE. Siguiendo este haz de capas hacia el S. (por el N. se enlazan con la rama E. del anticlinal de Villamartín), se observa que disminuye su pendiente poco á poco y van desviándose de su dirección primitiva hasta quedar arrumbadas de E. á O. y en posición casi horizontal, en el Rancho de la Boleña.

Continúa la horizontalidad de los estratos en todo el llano del «Alcornocal», si bien se levantan algún tanto en la falda E. de los cerros del «Bachiller» y de «La Escalera» para formar anticlinal con las de la cuenca de Arcos. Continúan también dichas capas, siempre casi horizontales, á través de los pagos del «Hornillo» y «Fuensanta», hasta que se apoyan en el macizo jurásico de Prado del Rey. En todo este trayecto suelen asomar las arci-

llas inferiores en los cauces de los arroyos más profundos. El contacto de las calizas helvéticas con las jurásicas puede apreciarse con toda claridad en el cauce del arroyo Zanzar: las capas jurásicas se dirigen de N. NO. á S. SE., con inclinación de 60° al NE., en tanto que las capas miocenas tienen el rumbo al N. 20° E. y buzán 20° al NO.

Al S. de los llanos del Alcornocal, el curso del arroyo Matite sigue el eje de un anticlinal de la caliza tosca, cuyo anticlinal, derrubiado más al S., da origen á la gran depresión del arroyo Mazorcán, que discurre ya sobre las margas y yesos del Triásico.

La Sierra de Aznar es un macizo desgajado de la meseta formada más al N. por las capas miocenas y que acabamos de describir. Los estratos en esta Sierra están orientados al NO., con buzamiento al NE.

Resulta de lo expuesto, que la comarca de Bornos está formada por una serie de pliegues de las capas helvéticas en los que, según haya sido el avance de la denudación, asoman ó no las areniscas y arcillas del Burdigaliense. Conviene hacer constar que ni las areniscas ni las arcillas son capas que se extienden con regularidad de un extremo á otro de la cuenca, sino que, por el contrario, varían mucho de un punto á otro en naturaleza y en espesor.

A las arcillas miocenas siguen en orden descendente, en toda la zona de Bornos, las capas numulíticas y el Triásico. No es posible precisar el régimen de las capas numulíticas que rellenan los anticlinales miocenos, puesto que se trata de un terreno plegado con anterioridad al depósito del Mioceno y con anterioridad, también, denudado en parte.

En Espera, las capas del Flysch asoman bajo el Mioceno, lo mismo que en Villamartín, al S. del pueblo, en tanto que en Arcos, en el arroyo Matite y en la cañada de Jerez á Bornos, son las capas de margas blancas inferiores las que afloran cuando la denudación ha barrido los sedimentos del Mioceno. Por último, en algunos puntos, aunque siempre en reducida extensión, asoman también las capas de diatomeas, que sólo adquieren gran desarrollo, por esta parte de la provincia, al O. de Espera.

Según esto, un sondeo abierto en un punto cualquiera de

la zona de Bornos encontraría: primero el Mioceno; luego el Flysch eoceno, ó las margas blancas inferiores, ó los dos terrenos tal vez (menos probablemente las capas de diatomeas); y siempre, debajo de estos terrenos, invariablemente el Trias. El espesor del Eoceno ha de variar mucho de unos puntos á otros según el tramo dominante y la pendiente de las capas, pero por lo que puede apreciarse en los anticlinales denudados no debe pasar de 300 metros, y por término medio puede estimarse en unos 200.

Considerados los anticlinales de la región de Bornos desde el punto de vista de los yacimientos petrolíferos, hay que convenir en que todos ellos reúnen las condiciones necesarias para la acumulación y conservación del petróleo; para la acumulación, porque á causa del calor y de las presiones que han dado origen á los pliegues puede haber sido expulsado el petróleo de la roca madre, que, según se ha dicho, es el terreno triásico, y haberse almacenado, bien en el contacto con el Eoceno, bien en los estratos permeables de esta misma edad; para la conservación, porque las arcillas de la base del Mioceno, por su impermeabilidad, constituyen un excelente nivel estratigráfico.

Pero si en los anticlinales mencionados concurren tales circunstancias, ninguno entre ellos tan indicado como punto á propósito para las exploraciones como el de Angostura: en primer lugar, porque en él concurrieron varios empujes de distinta dirección, pudiendo considerarse como un centro de máximas presiones; y segundo, porque la denudación ha avanzado hasta el nivel de las arcillas inferiores y, por consiguiente, se pueden llevar á cabo los trabajos de exploración economizando muchos metros de sondeo.

De todos modos, debe estimarse como indicio desfavorable para la existencia del petróleo en estos anticlinales y en el anteriormente descrito de Villamartín, la falta absoluta en las rocas del Eoceno de impregnaciones de petróleo, asfalto ó betún, en los puntos en que la denudación ha puesto ese terreno al descubierto.

C. Zona de Arcos.—Unos 5 kilómetros al SO. de esta población, y dentro del triángulo formado por las carreteras de Jerez

á Medina, Jerez á Arcos y Arcos á Medina, se levantan los cerros del Guijo y los Aviones, formados por los yesos, margas y calizas tabulares triásicas y algún que otro retazo de rocas neocomienses y numulíticas encajado entre los repliegues de las capas del Keuper. En ningún punto de esta mancha triásica forman las capas anticlinales que merezcan la denominación de *característicos* como asegura Mr. Petit en el informe de que se ha tratado en el Capítulo primero de esta Memoria, y la estratificación típica del Trias está bien de manifiesto para que puedan caber dudas respecto á este punto. Por lo demás, esta zona corresponde, desde el punto de vista tectónico, al núcleo del anticlinal del arroyo Salado de Espera. A la derecha del kilómetro 5 de la carretera de Arcos á Medina, y como á 500 ó 600 metros de distancia de la misma, se han hecho algunos trabajos de exploración consistentes en un pozo y un sondeo de escasa profundidad, y en ellos, según informes fidedignos, se ha encontrado un poco de petróleo. A pesar de este hallazgo hay fundamento para suponer que esta zona no ofrece el menor interés desde el punto de vista de los yacimientos petrolíferos.

D. Zona de Algar.—Otro tanto puede decirse de los alrededores de Algar, á pesar de que también se ha considerado esta zona como indicada para investigaciones de yacimientos de petróleo. Hállase edificado el pueblo de Algar sobre una colina de areniscas con *Equisetum* (Keuper), rodeada de otras en que predominan indistintamente las arcillas, las calizas y los yesos, también triásicos. La tectónica es la propia del Trias gaditano, y los estratos están atravesados por infinidad de asomos ofíticos.

La mancha eocena representada en el mapa al SO. de Algar está constituida por las margas blancas y rojas de la base de la formación, muy plegadas y comprimidas entre las capas triásicas. Al N. del pueblo asoman las calizas del Flysch eoceno apoyadas sobre el Trias, y sobre ellas se apoyan las capas oligocenas de la arenisca del Algibe en lechos horizontales de poco espesor. Corona esta manchita terciaria la caliza tosca del Helvético en el cerro de Babuche.

La mancha triásica de Algar está limitada, por el E., por una falla orientada de N. á S. que la pone en contacto con las calizas

eocenas y la arenisca del Algibe, rocas que asoman repetidas veces como otras tantas series de capas superpuestas por efecto de varias fallas de tejado. (Véanse los cortes números 8 y 9 y la fotografía número 5.)

Toda esta región ha debido estar en otro tiempo cubierta por los depósitos miocenos, como lo demuestra el gran número de restos ó testigos que todavía existen y tan distantes entre sí como la «Cabeza de Hortales», al S. de Prado del Rey (véase el corte número 10), Cerro Babuche, junto á Algar, y otros varios manchones situados en la margen izquierda del Majaceite, uno de ellos al O. de los manantiales de Tempul, donde las capas neogenas, orientadas de O. NO. á E. SE., con fuerte buzamiento al SO., se apoyan sobre las calizas del Titónico.

E. Zona de Lebrija.—La zona de Lebrija difiere de la de Bornos, desde el punto de vista estratigráfico, en que en ella las capas de diatomeas (Oligoceno) son las que cubren al Numulítico y al Trias, mientras que en la zona de Bornos estos terrenos se ocultan siempre bajo un manto de capas neogenas. Además, sobre las capas de diatomeas descansa un conjunto de arcillas arenosas grises y arenas amarillas con muchos restos bien conservados de lamelibranquios, coronado por un depósito lacustre de arcillas, arenas y calizas.

El Eoceno está representado en Lebrija por el tramo superior ó Flysch, compuesto de arcillas, calizas tabulares, maciños y areniscas de grano fino en capas delgadas: el macizo montañoso de Gibalbín es el único punto en donde asoman las margas blancas inferiores y las calizas con Nummulites.

Los asomos triásicos forman una faja orientada de NE. á SO., interrumpida de vez en cuando por las manchas terciarias, que arranca de la «Dehesa de Merlina», en las Cabezas de San Juan, y termina entre los kilómetros 82 y 84 de la vía férrea de Sevilla á Cádiz. El Triásico de la dehesa de Merlina, compuesto de margas abigarradas y yesos, en estratificación muy revuelta, se oculta por el N. bajo las capas del Flysch eoceno, integrado por arcillas grises, maciños y calizas arenosas tabulares, en tanto que por el S. y por el O. desaparece bajo el cuaternario de una ensenada de la marisma. Pero la denudación pleistocena que ori-

ginó la depresión de esa ensenada, hoy rellena de tierras arcillosas, no fué tan enérgica como la del estuario propiamente dicho del Guadalquivir, y quedaron como testigos de la composición del subsuelo algunos islotes que sobresalen en medio de la llanura. Entre ellos merece citarse el conocido con el nombre de «Peñón», al N. de la laguna de «Valdelejo», formado por un mogote de caliza triásica de unos 20 metros de largo por 8 de alto y 4 de ancho, compuesto por capas que buzán unos 70° al NO. En la laguna de «Candilejo» sobresale otro mogote de caliza triásica, aunque de dimensiones más reducidas. Por el otro lado de esta marisma, que, como se ve en el mapa, está cruzada por el arroyo «Salado», asoma el Triásico en los cerros de «Melendo» y «Campiña», predominando los yesos abigarrados y las calizas tabulares. En ambos puntos se oculta el Trias bajo las capas plegadas del Flysch eoceno.

Más al S., en el cerro del «Horcajo», asoman los yesos triásicos entre las capas de diatomeas, y 3 kilómetros al S. de Lebrija, en el cerro de la «Pedrera», vuelven á aflorar en forma de faja alargada y orientada de NE. á SO. En este último punto se han abierto muchas canteras para la explotación del yeso.

La faja triásica de la «Pedrera» atraviesa la vía férrea entre el kilómetro 82 y el cortijo de Quincena, y en las trincheras abiertas en este trayecto quedan al descubierto las margas abigarradas con intercalaciones de areniscas amarillentas. Hacia esta parte, el Trias se oculta bajo las capas del Flysch eoceno que forman el cerro de los «Villares» y el pequeño toruño (1) de «Casquete», situado 2 kilómetros más al N. En ambos cerros predominan las arcillas verdosas y las areniscas bastas calíferas ó maciños, que en el toruño citado son objeto de explotación como balasto para la vía férrea. En el cerro de la «Pedrera», el Trias queda cubierto, al N., por las capas de diatomeas.

Otro asomo triásico, muy reducido, y atravesado por una ofita, se encuentra al S. del rancho de las «Alberquillas» rodeado por las capas de diatomeas.

(1) Llámase *toruño* en Andalucía á los montículos que se levantan en medio de las marismas.

El Flysch eoceno forma, según ya se ha indicado, los cerros de los Villares, Casquete y Melendo, y está constituido principalmente por arcillas verdosas y capas de bastante espesor de areniscas arcillosas y calíferas que se dividen con facilidad en delgados lechos, resultando la roca de textura tabular. A veces predomina totalmente el elemento arcilloso como, por ejemplo, en los cerros situados al S. de las Cabezas de San Juan y en los cortijos de Monteroja y Paternilla, á orillas del Salado; á veces se desarrollan en el seno de las arcillas unos bancos de areniscas grises ó amarillentas que, por ser más consistentes, han resistido mejor los efectos de la denudación y asoman al contacto de las capas de diatomeas; tal se ve, entre otros puntos, al pie de la vertiente N. del cerro de «San Benito», donde dichas areniscas buzán 40° al N. NO., si bien el asomo es tan reducido que no se ha representado en el mapa.

Como á kilómetro y medio al NE. de la estación de Lebrija, al SO. del «Cerro Blanco», que, como su nombre indica, está formado por las capas de diatomeas, corta el canal de Bazorque una arenisca amarillenta que por su posición respecto á la formación diatomífera y por sus caracteres petrológicos parece corresponder á las referidas capas del Flysch eoceno. Esta arenisca no asoma á la superficie como los mogotes calizos de Valdelejo y Candilejo, sino que está totalmente cubierta por las arcillas aluviales. En la parte cortada en el canal y puesta al descubierto recientemente por unos trabajos de la Compañía Petrolífera de Pambanco, se ve que la superficie de la roca está corroída y redondeada y con muchas perforaciones de *Petricola lithophaga* Retzius, cuyas conchas se hallan tan perfectamente conservadas que parecen corresponder á individuos vivientes. Todo esto demuestra que las aguas del mar han ocupado el estuario del Guadalquivir en época muy reciente y que el relleno arcilloso de la marisma es realmente muy moderno.

Al S. del cerro Blanco, á la izquierda del camino del río, ha practicado la Compañía Petrolífera de Pambanco un sondeo, que á la profundidad de 167 metros, máxima alcanzada, cortó unas capas de margas calíferas de color gris con fajas blanquecinas, rocas que se intercalan á distintos niveles entre las arcillas del

Flysch eoceno. A profundidades menores sólo cortó dicho sondeo unas arcillas gris verdosas que también, por el aspecto de los testigos, parecen corresponder al Flysch, y así debe ser, pues de no pertenecer a este terreno, dada la constitución geológica de la zona, sólo podrían atribuirse a las capas del Oligoceno, y el análisis microscópico de varios de ellos no acusa la existencia de diatomeas en su masa.

El Oligoceno, representado por las arcillas de diatomeas ó *albarizas*, cubre grandes extensiones en los términos de Lebrija y Jerez, y en los alrededores del primero de estos pueblos presenta gran número de afloramientos, ya naturales ya artificiales, donde se puede estudiar la formación y apreciar su naturaleza, régimen, etc. Tal ocurre entre otros puntos: en las trincheras del ferrocarril de Sevilla á Cádiz en los kilómetros 76,500 y 78; en el camino de Lebrija á Utrera, un kilómetro antes de llegar al vértice topográfico «Melendo» (punto llamado albarizones de Toribio); en el cerro del Horcajo, cerca de la casilla de este nombre; en la cañada de Lebrija á las Cabezas, 500 metros al NE. del cortijo del Hierro; en la misma cañada, al N. del rancho de los Rasillos; entre el pueblo y la estación, á la derecha del camino, donde existen unas canteras abiertas para la explotación de la arcilla diatomífera como material refractario; en el cerro de Obejuelo; en el de la Pedrera, en contacto con los yesos del Keuper; en varios puntos de los cerros situados al NE. del rancho «El Aceituno»; en el rancho de las Alberquillas, en contacto con un asomo de ofita; y en la vertiente S. de los «Escobonales». Por lo demás, se reconoce fácilmente esta formación por la arcilla blanquecina, producto de la descomposición de la roca *in situ*, que generalmente la cubre, y que contiene, como es natural, muchas diatomeas.

Las capas de diatomeas en los alrededores de Lebrija están casi siempre horizontales, como lo atestiguan algunas capitas de areniscas que á veces se intercalan entre las arcillas. El espesor total de la formación es aproximadamente de 100 metros. Los cerros de Trebujena y Espartina, que tienen próximamente esta altura, están formados en su totalidad por las capas de diatomeas, aparentemente horizontales.

La sedimentación de los depósitos oligocenos en esta zona tuvo lugar en un fondo de mar que posteriormente sólo ha sido afectado por movimientos sucesivos de hundimiento y elevación, que han permitido el depósito de los niveles superiores del Terciario. En el último movimiento de emergencia, quedó la base de la formación diatomífera, en conjunto, al nivel actual de las marismas; por esto, cuando la denudación profundiza en ella hasta este nivel, asoma invariablemente una formación más antigua: el Flysch eoceno ó el Trias.

Las capas superiores del Terciario quedan al descubierto en la falda occidental de la colina sobre que se asienta Lebrija, y descansan sobre las arcillas de diatomeas. Las arcillas grises tienen en la localidad muy poco espesor y casi puede decirse que la serie de capas *post-helvéticas* comienza por las arenas amarillentas, entre las que se intercalan algunos bancos de conglomerados conchíferos. Coronan esta colina capas de arcilla muy pura cuyo color varía del blanco al pardo, y que se explota como clarificante para los vinos. La propiedad de clarificar los líquidos turbios que tienen estas arcillas se debe exclusivamente al grado de división de sus elementos; mezclada con el vino y agitada bien la mezcla, la arcilla, al irse depositando, arrastra al fondo de la vasija todas las impurezas que empañaban la transparencia del líquido; además, la insignificante proporción que contienen de carbonato de cal hace que el vino conserve á pesar de la operación su acidez normal. Sobre las arcillas se extienden unas capas de caliza lacustre blanca muy cargada de sílice, hasta el punto de transformarse á veces en verdadero silex. También esta caliza es objeto de explotación, como piedra de cal.

Todo este conjunto de capas se ha desviado poco de la posición en que se sedimentó: en la colina de Lebrija buzan los bancos unos 5° al E.; en el cerro de San Benito forman un retazo sinclinal ligeramente alabeado (véase el corte núm. 18); y en la mancha de El Cuervo están totalmente horizontales.

De lo expuesto se deducen las conclusiones siguientes: 1.ª El terreno diluvial de la marisma, al O. de Lebrija, descansa sobre el Flysch eoceno. 2.ª En otros puntos del mismo término, el diluvial descansa directamente sobre el Trias. 3.ª Ni las capas del

Trias ni las del Eoceno forman anticlinales propiamente dichos en la región de Lebrija, y, á semejanza de lo que ocurre en otras zonas que se han descrito, las capas de los dos terrenos están muy dislocadas y con frecuencia verticales. 4.^a Dada la horizontalidad de las capas de diatomeas, ningún plegamiento *post-helvético* ha afectado á esta zona, y, por lo tanto, no cabe suponer que estos plegamientos hayan influido en la distribución del petróleo que pudiera contener el *substratum* triásico. 5.^a La tectónica de toda la zona pone de manifiesto que el Trias debe formar, á la profundidad de 200 á 300 metros, una masa continua; por consiguiente, á esta profundidad se encontraría casi con seguridad dicho terreno en cualquier sondeo que se practicase; y 6.^a Dada la falta absoluta de líneas de plegamiento bien definidas en la zona de Lebrija, no procede hacer en ella ningún trabajo de exploración por el momento, y sólo en el caso de que se demostrara de un modo evidente la existencia de yacimientos de petróleo en otras zonas, debería intentarse el investigar ésta, y siempre con el riesgo de que resultaran los trabajos costosísimos, pues el éxito dependería de un verdadero azar.

F. Zona de Jerez.—La mancha oligocena de Lebrija se prolonga por el S. hasta las márgenes del Guadalete, dejando aparecer unas veces las rocas triásicas y ocultándose otras bajo las arcillas grises del Mioceno inferior. Sobre estas formaciones descansa indistintamente un banco de arenas con *Pecten excisus*, de 10 á 15 metros de espesor: la superficie de esta mancha tiene forma de paralelogramo, con sus lados mayores paralelos á la línea férrea de Cádiz á Sevilla entre los kilómetros 95 y 110. Estas capas de arena son sincrónicas de las de Lebrija, pues hacia el extremo NE. de la mancha, en la dehesa de Majarazotán, están cubiertas por las de la caliza lacustre que tanto desarrollo adquiere en aquella localidad y en El Cuervo.

La ciudad de Jerez está situada al borde de esta mancha de arenas, que, en la bifurcación de la línea férrea de Andaluces y la de Sanlúcar, asoman en capas inclinadas 5° al N. y sobrepuestas á las arcillas del Mioceno inferior. La altitud de la meseta sobre que se asienta Jerez es de 50 metros y corresponde al espesor total en esta parte de la provincia, del Oligoceno, del Mioceno

inferior y de las arenas con *P. excisus*, conjunto de capas que, concordantes entre sí ó casi concordantes, descansa sobre el Trias.

El terreno triásico aflora en Jerez á lo largo del cauce del Guadalete, y, un kilómetro al S. de la población, á la derecha de la carretera del Puerto de Santa María. En relación con esta última manchita está el balneario de San Telmo, donde mediante un sondeo se descubrió una fuente sódico-sulfurosa que brota entre las capas triásicas y donde también pudo notarse la presencia del petróleo.

A unos cuatro kilómetros al NO. de Jerez, junto al cauce del arroyo de la Loba, brotan, entre las arcillas del Mioceno inferior, algunas fuentes saladas acompañadas de emanaciones de gases combustibles. En este punto se practicó un sondeo de 600 metros de profundidad que no obtuvo resultado satisfactorio y que cortó el Trias á poca distancia de la superficie.

La falta de anticlinales definidos en la zona de Jerez induce á considerarla como de poco interés desde el punto de vista de las exploraciones de petróleo. Cualquier trabajo que al efecto se intente en aquella región, donde no existen indicaciones petrolíferas en la superficie, habría que situarlo al azar.

G. Zona de Rota.—Entre el Puerto de Santa María y Rota no se observa ningún asomo triásico á pesar de que, atendiendo á la dirección general de las manchas triásicas de Lebrija y Jerez, puede asegurarse que el Trias continúa hasta el mar formando el *substratum* general de toda la zona comprendida entre Cádiz y Sanlúcar de Barrameda (1). A lo largo de la costa, los terrenos más antiguos que asoman á la superficie son el Flysch eoceno y las capas de diatomeas; el primero, compuesto de arcillas y calizas tabulares, forma un acantilado de 300 á 400 metros de largo en los confines de Rota y el Puerto de Santa María, en la dehesa de la Mata, y se oculta, tanto por el E. como

(1) En una expedición efectuada el verano último, hemos encontrado, junto al cruce del camino del Rizo con el arroyo de Villarana, en término del Puerto de Santa María, un asomo de la caliza triásica, de dimensiones reducidas, entre las arcillas del Flysch.

por el O., bajo las arenas astienses. (Véase el corte núm. 19.)

Tierra adentro, al N. de este asomo, forma de Flysch eoceno los cerros de Villarana, La Negra y Vafna, y está cubierto á veces por las capas de diatomeas en posición horizontal.

Desde Rota hacia la desembocadura del Salado de este nombre, por espacio de 3 kilómetros, forman el acantilado marino las capas de diatomeas muy plegadas, en unión de las arcillas verde-oscuras del Flysch eoceno. En Rota, este conjunto de capas paleogenas desaparece bajo un manto de areniscas del Plioceno, que contienen muchos cantos rodados de cuarcita é innumerables restos de *Ostrea*, *Pecten*, *Pectunculus*, etc., y que en la localidad se designan con el nombre de piedra ostionera.

El terreno plioceno tiene muy poco espesor en la costa de Rota y éste va disminuyendo á medida que se avanza hacia el interior, por lo que se observan á través del Plioceno repetidos asomos de las arcillas del Flysch.

Entre Puerto de Santa María y Rota, y lo mismo entre Rota y Chipiona, toda la faja costera está cubierta de dunas que ocultan el terreno firme, viéndose éste sólo en los arroyos. Las manifestaciones petrolíferas que se observan en Rota parecen proceder de las capas del Trias, que, según se ha dicho, sirve de base al Eoceno, y que se encontrará, casi seguramente, á una profundidad que puede estimarse en 300 metros, como máximo, atendiendo al régimen general de las manchas numulíticas en la provincia.

Se comprende por lo expuesto, que no es la zona de Rota de las más apropiadas para hacer exploraciones de petróleo, puesto que no hay manera de determinar de un modo preciso las líneas de mayores presiones. Un plan de investigación de estos terrenos exigiría forzosamente el planteamiento de un crecido número de sondeos, y, por consiguiente, sólo podría pensarse en realizarlo si la existencia de yacimientos importantes se comprobase en otros puntos.

H. Zona de Conil y Vejer.—El río Salado de Conil (véase el mapa de la lámina 6.^a), que corre de NE. á SO. y desemboca junto al pueblo de este nombre, abre su cauce á lo largo de una faja triásica que sigue el curso del río con un ancho medio de

2 kilómetros; su borde SE. es casi recto, en tanto que el borde NO. presenta varias escotaduras debidas á la denudación producida en los terrenos modernos por varios afluentes del Salado.

La faja triásica se oculta al SE. bajo las arcillas y calizas tabulares del Flysch eoceno diversamente plegadas y con dirección, en conjunto, al N. 70° E. Estas rocas, entre Medina, Vejer y Casas Viejas, cubren grandes extensiones, y con frecuencia presentan el abigarramiento característico del terreno eoceno en el Mediodía de la provincia de Cádiz. Al NO. del Salado, el Trias desaparece bajo terrenos muy distintos según el punto de la faja que se considere: en Conil, bajo las arcillas del Flysch eoceno, abigarradas y manganesíferas; al N. de la carretera de Algeciras, bajo las arcillas del Mioceno inferior; en los cerros de Algarrobillo, por debajo de la caliza tosca helvética; y desde aquí hacia el NE., se oculta bajo las capas de la arenisca del Algibe. Estas capas están en posición casi horizontal, y cuando las cubre la caliza helvética forman las mismas ondulaciones de esta última.

A lo largo de la línea de contacto con el Paleogeno y el Trias, entre Conil y los cerros de «Puerto de Hierro», que sigue aproximadamente paralela al cauce del Salado, el Mioceno buza constantemente de 15 á 20° al NO., formando anticlinal con las capas de la misma edad que descansan sobre el Flysch en la meseta de «La Muela», entre Conil y Vejer. (Véase el corte número 13.) El Salado de Conil sigue, por lo tanto, á semejanza del río Guadalete en las inmediaciones de Villamartín, una brecha abierta en el núcleo triásico de un anticlinal mioceno.

Las rocas de la mancha triásica del Salado de Conil presentan el mismo aspecto que las de todo el terreno triásico de la provincia: las mismas arcillas abigarradas, los mismos yesos y las mismas calizas y areniscas, con estratificación tan confusa que no es posible determinar su régimen general. Además existen, á la izquierda del camino de Conil á Medina, algunos asomos ofíticos.

Hacia los azufrales, la mancha triásica se ensancha por efecto de la denudación producida por varios afluentes del Salado,

resultando aislados algunos retazos de la arenisca del Algibe. En el fondo de la depresión producida por uno de estos arroyuelos, y en el contacto con la mancha oligocena que bordea al Trias, nacen varias fuentes sódico-sulfurosas, frías, cuyas aguas se utilizan durante el verano en un establecimiento balneario próximo a la carretera. Al SE. de estas fuentes, y como a un kilómetro de distancia, se encuentra el yacimiento de azufre donde se notó por primera vez, en la provincia de Cádiz, la presencia del petróleo, flotando sobre las aguas de la mina. En sus inmediaciones se hicieron también las primeras investigaciones por sondeo, llegando a encontrar petróleo aunque en pequeñas proporciones.

Las emanaciones petrolíferas naturales, en este punto, no han podido tener importancia en ninguna época, pues en los alrededores yace sobre el Trias la arenisca del Algibe, roca excesivamente permeable, y nunca se le ve impregnada de sustancias bituminosas ni de asfalto.

Al S. de la carretera de Algeciras, en la llanura que se extiende hasta la orilla del mar, la faja triásica desaparece bajo tierras diluviales, pero queda jalonada por algunos pequeños mogotes de caliza negra que, como roca más compacta y dura, ha resistido a la denudación.

Entre Conil y Vejer, el Trias continúa cubierto por el Flysch eoceno, entre cuyas capas asoman tan sólo algunos crestones de caliza triásica. Las capas eocenas, orientadas en conjunto al N. 70° E., soportan una gran mancha del Mioceno, terreno que imprime a la comarca su peculiar topografía. Marchando del primero al segundo de los citados pueblos, la carretera atraviesa primeramente la faja triásica del Salado de Conil, cubierta en la llanura por depósitos diluviales, pero que aflora en el cerro de las «Yeseras», que, como su nombre da a entender, está formado por los yesos del Keuper. A partir de este punto, la carretera empieza a subir, primero por las arcillas del Flysch, y por las del Mioceno después, hasta que al alcanzar la altitud de 130 metros corta a las calizas del Helvético, que cubren estos depósitos y dan origen a la amplia meseta de la Muela, que está formada por una hoya hacia cuyo centro buzan siempre las capas que afloran

en los bordes. Pasada esta meseta, la carretera desciende de nuevo por las arcillas miocenas hasta el arroyo de Montecote, afluente del Barbate, a 20 metros de altitud, y en el kilómetro 63 corta por segunda vez a las calizas helvéticas que forman una faja no interrumpida que va de NE. a SO., con buzamiento al SE., desde los «Puertos de Mediana» a los «Altos de la Meca», a orillas del mar.

Resulta de esta disposición general de los estratos, que entre Conil y Vejer existen dos anticlinales miocenos: el primero, totalmente derrubiado, tiene por eje el Salado de Conil, y el segundo, el arroyo de Montecote. En una longitud de 6 kilómetros contada a lo largo del eje de este segundo anticlinal, en la región que se corresponde con el sinclinal de la Muela, no asoma ninguna roca de edad anterior al Mioceno, mientras que por el N. y por el S. de las líneas que limitan dicho sinclinal se ven algunos afloramientos eocenos y aun triásicos. (Véase el corte n.º 13.)

Al S. de Vejer, en la playa de Barbate, debajo de las calizas toscas, orientadas al N. 20° E., con pendiente de 15° al NO., y formando por lo tanto anticlinal con las capas del cerro de Vejer, asoman las arcillas grises del Flysch eoceno en posición vertical ó casi vertical, alternando con algunos lechos de areniscas y calizas del mismo color, cuyas rocas ofrecen superficies alabeadas que demuestran las grandes presiones que han sufrido, y de las cuales las arcillas, por su plasticidad, no han conservado huellas tan marcadas.

Una línea de dunas se extiende desde la desembocadura del Barbate hasta las alturas de la Meca; las arenas se apoyan primero sobre las arcillas del Flysch, y después sobre las capas de caliza tosca. (Véase el corte núm. 14.) En el primero de estos recorridos, las capas de arenas más inmediatas a las arcillas están teñidas de negro, y aunque a primera vista parece ser el óxido de manganeso el causante de esta coloración, el análisis sólo acusa en las arenas una pequeña cantidad de *humus*, sin vestigios, por otra parte, de asfalto ó betunes minerales.

Respecto a las probabilidades de que en los terrenos descritos de Conil y Vejer puedan existir yacimientos de petróleo, sólo cabe decir que el anticlinal mioceno inmediato a Vejer (véase el

corte geológico núm. 18) (1), en la parte no denudada, es una zona que reúne las condiciones necesarias y suficientes para la formación y conservación de depósitos de petróleo, y sin que esto signifique que por el momento se deban emprender en ella trabajos de reconocimiento, es indudable que se trata de un punto interesante, donde deberían practicarse exploraciones si se llegase á demostrar la existencia, en otros parajes de la región andaluza, de yacimientos explotables de petróleo.

(1) En este corte se lee meseta de la Mesa, en vez de meseta de la Muela, que es su verdadero nombre.

CAPÍTULO QUINTO

DESCRIPCIÓN DE LOS CORTES GEOLÓGICOS

Por consecuencia del gran número de subdivisiones que hemos establecido en cada uno de los terrenos de la región estudiada, no parece necesaria una descripción detallada de los cortes geológicos, ya que con ello no haríamos sino repetir lo que desde luego puede apreciarse sin más que consultar la nota explicativa de los signos; por lo tanto, nos concretaremos á poner de manifiesto algunos de los rasgos más salientes de la tectónica, de interés capital para el objeto de nuestro estudio.

En el *corte núm. 1* se han representado los diversos plegamientos del terreno mioceno, entre los cerros de Espera y la Sierra del Pajarete. El anticlinal de los Guijos deja aparecer más al N., en la parte denudada, el Flysch eoceno, sin la interposición de las capas de diatomeas, que quedan limitadas á la región occidental de Espera. Al N. de la línea que sigue el corte, las capas miocenas y numulíticas están totalmente derrubidas, y forman el subsuelo las rocas triásicas atravesadas por asomos ofíticos, tal como aparece representado, en parte, en el *corte núm. 3*, en el cual se ve, además, que la rama occidental del anticlinal de los Guijos ha descendido á lo largo de la línea de falla indicada en el plano y que merced á ello quedan en contacto la caliza tosca del Helvético y el Keuper. En el *corte número 1* se destaca además, entre el río Guadalete y el arroyo de Alberite, el anticlinal de Villamartín, cuyo núcleo, en esta parte, aparece formado exclusivamente por las capas del Flysch. La costa oriental de la cuenca miocena estuvo formada por el acantilado de calizas jurásicas de la Sierra del Pajarete, y sobre ellas y el Trias subyacente se apoyan las capas neogenas, según se ve en dicho corte.

El corte núm. 2, trazado á través de la cuenca miocena, al S. de los anteriores, pone de manifiesto la falla que corta á las capas del anticlinal de la Cruz de la Legua, á lo largo de la cual ha descendido su rama O., desapareciendo, entre el Mioceno y el Trias, el nivel de margas blancas numulíticas y las capas de diatomeas que asoman en la rama E.

Los cortes núm. 4 y núm. 6, trazado el primero al N. del segundo, indican principalmente la constitución del anticlinal del Guadalete á la altura de Villamartín. En el núm. 4 se ve cómo el núcleo triásico-eoceno, comprendido entre las dos fallas extremas, ha conservado su posición inicial durante el descenso de las ramas, y cómo por efecto de la falla más occidental, las capas miocenas, entre los cortijos de la Norieta alta y la Norieta baja, del mismo modo que se ha indicado en los cortes anteriores, han quedado verticales y en contacto directo con el Trias.

El corte núm. 7 representa la estructura del anticlinal de la Angostura de Bornos á la altura del vértice topográfico «Barrancos», la del anticlinal que sigue el arroyo Salado de Espera, que más al S., junto á la carretera de Jerez á Arcos, deja aparecer el Eoceno, el Neocomiense y el Trias, y la situación de las arcillas y areniscas sarmáticas respecto á las capas helvéticas y al macizo jurásico de Prado del Rey.

El corte núm. 8 da á conocer la disposición de las capas miocenas y numulíticas entre el Guadalete, al N. de Arcos, y el monte jurásico la «Dehesilla de Algar». El arroyo Matite, afluente del Mazorcán, corre á lo largo de un anticlinal derrubiado de núcleo perforante, como los de Villamartín y Espera, cuyas ramas están formadas, por un lado, por las lomas que se extienden al N. de la Sierra de la Rábita, y por el otro, por las estribaciones occidentales de la Sierra de Aznar.

Como puede apreciarse en este corte, lo mismo que en los núms. 9 y 10, la faja jurásica separa dos zonas muy distintas en cuanto á su constitución geológica: una, ocupada por la cuenca miocena marina, y otra, por la arenisca del Algibe. Además, es sumamente interesante la estructura de los montes que quedan al E. y SE. de Algar, debida, según ponen de manifiesto los cortes núms. 8 y 9, á una serie de fallas paralelas.

El corte núm. 11, paralelo al tajo de la Peña de Arcos, representa el régimen de la caliza helvética y de las arcillas inferiores, entre el Salado de Espera y la Sierra de la Rábita, formada en gran parte por las calizas marmóreas del Eoceno y las margas blancas y rojas inferiores. El Trias subyacente forma el valle del arroyo Mazorcán.

El corte núm. 12, trazado transversalmente á la dirección de las capas miocenas en Arcos, indica la posición relativa de las capas terciarias y secundarias entre el Salado de Espera, en las inmediaciones de la carretera de Jerez, y el río Guadalete, al E. de Arcos. Por el examen de algunos afloramientos terciarios y triásicos situados más al S., se deduce que el Eoceno y el Neocomiense no continúan hacia el E., sino que forman un retazo sinclinal, recostado y comprendido entre las capas del Keuper, y que las arcillas de diatomeas pierden en espesor á medida que avanzan hacia Arcos hasta terminar en cuña.

El corte núm. 13, trazado entre los cerros de Puerto Hierro, en Conil, y el río Barbate, al pie del cerro de Vejer, muestra la estructura del anticlinal derrubiado del río Salado de Conil, la del retazo sinclinal de los altos de la Mesa ó de Patria (1), y la del anticlinal mioceno comprendido entre estas alturas y los cerros de Vejer. Las capas pliocenas cubren los extremos de las ramas de estos anticlinales.

El corte núm. 14 sirve para representar la relación entre las capas neogenas, arcillas y caliza tosca, y las arcillas del Flysch eoceno, en los altos de la Meca y en la playa de Barbate. Las dunas invaden la cumbre de las mesetas de la Meca y el Tajo y las vertientes E. y SE. de estos cerros.

El corte núm. 15 va desde el cerro de los Villares, en Lebrija, hasta la cumbre de la Sierra de Gíbalbín, y muestra la estructura de esta Sierra, la relación de las capas eocenas con las triásicas en las inmediaciones de los Villares, y la de las capas de diatomeas con el Trias, con el Flysch eoceno, con las arenas pliocenas y con las calizas lacustres. Al SE. de Gíbalbín mués-

(1) Llamamos la atención acerca de este último nombre, que los habitantes del país pronuncian cargando el acento en la *i*.

trase la potente formación de travertinos que ya se describió en el lugar correspondiente.

El corte núm. 16, trazado entre el cerro Blanco y el cortijo de Paternilla, del término de Lebrija, pone de manifiesto las relaciones estratigráficas y tectónicas entre el Flysch eoceno, las capas de diatomeas y el *substratum* triásico. Como se indica en este corte y en los restantes del término de Lebrija, debajo del diluvial de las marismas se encuentran el Trias y el Flysch eoceno. Al O. de la población debe tener este terreno más de 200 metros de profundidad según puede deducirse de la disposición general de sus capas y de los datos suministrados por el único sondeo profundo llevado á cabo en la región.

Los cortes números 17 y 18 muestran la disposición de las capas de arenas neogenas y las de la caliza lacustre en el cerro de Lebrija y en el de San Benito, y su relación con las de diatomeas, las del Flysch y las del Trias.

El corte núm. 19, trazado entre Rota y el Puerto de Santa María, paralelamente á la costa, indica cómo el *substratum* en esta zona lo forman las capas del Flysch eoceno, y la poca importancia que en la constitución geológica del país desempeñan los terrenos más modernos.

Por último, los cortes números 20, 21 y 22 dan á conocer la estructura del subsuelo en los alrededores de Jerez, donde las capas de los terrenos terciarios forman manchas interrumpidas y de poco espesor, apoyadas sobre una masa sumamente dislocada de arcillas, yesos y calizas triásicas.

CONCLUSIÓN

Las manifestaciones de petróleo y gases combustibles en la región gaditana proceden de las arcillas salíferas del Trias, terreno que forma el *substratum* de toda la comarca. El petróleo ha debido formarse en el seno de estas arcillas por la descomposición de la materia orgánica contenida en ellas, bajo la acción del cloruro sódico que todavía las impregna y de las grandes presiones á que el terreno ha estado sometido.

El terreno triásico de las provincias de Sevilla y Cádiz, de *facies* lagunar y salobre, reúne las condiciones necesarias para la formación del petróleo por la descomposición de sustancias orgánicas, y, por lo tanto, no es preciso suponer que el petróleo y los gases combustibles que allí se presentan deban su origen á emanaciones de origen interno, de las cuales, y á pesar de cuanto se ha asegurado en contrario, no existe el menor vestigio en la comarca. Igualmente debe desecharse la idea de que la presencia del petróleo esté relacionada con las rocas hipogénicas que cortan á los estratos del Trias.

Las arcillas salíferas, que en la región gaditana constituyen la roca madre ó yacimiento primario del petróleo, se presentan en forma de masas lenticulares de poca potencia y escasa extensión, limitada, además, por el sinnúmero de pliegues y fallas de los estratos triásicos, consecuencia de los movimientos orogénicos que han determinado el levantamiento de la Serranía de Ronda.

No todas las masas de arcillas salíferas que á distintos niveles se intercalan entre los estratos del Trias contienen petróleo, antes por el contrario, las impregnaciones de esta substancia son verdaderos accidentes de carácter local. Además, por ninguna parte se observan afloramientos de capas de arcillas triásicas fuertemente impregnadas de petróleo ó de productos resultantes de

su descomposición, tales como betunes, asfaltos, etc., y ello indica que aquella substancia se ha formado en proporciones muy reducidas. A esto se debe, sin duda, el que la presencia del petróleo haya pasado inadvertida hasta el presente para los habitantes del país, quienes, de otro modo, hubieran intentado seguramente su explotación por medio de pozos y otras labores subterráneas abiertas en los afloramientos de las capas, análogamente á lo ocurrido desde tiempo inmemorial en la mayor parte de las regiones petrolíferas de Europa y América.

Esta extremada escasez en petróleo de los yacimientos *primarios* de la región gaditana induce á desconfiar en la existencia de yacimientos *secundarios* de importancia, para cuya formación se requiere, ante todo, la presencia de capas arcillosas fuertemente impregnadas de petróleo de las cuales, por compresión, haya sido expulsada dicha substancia. Claro es que la riqueza de los yacimientos secundarios se debe precisamente á que son el resultado de la acumulación en un solo punto del petróleo que impregnaba primitivamente grandes masas de rocas arcillosas, y que, por lo tanto, aun con yacimientos primarios relativamente pobres se pueden originar yacimientos secundarios de gran riqueza, pero en el caso de que se trata, además de la pobreza en petróleo de las capas arcillosas del Triásico, tenemos el dato negativo del escaso desarrollo de estas capas.

Las demás condiciones que se estiman necesarias para la formación de yacimientos secundarios, como son: existencia de capas permeables que hayan servido de receptáculo al petróleo expulsado del yacimiento primario, y la de capas impermeables que hayan impedido la pérdida de los aceites acumulados y su descomposición por efecto de las aguas aireadas de la superficie, aparecen bien manifiestas en determinados lugares de la región gaditana, especialmente en la parte comprendida entre Espera, Arcos, Bornos y Villamartín, donde las capas miocenas, plegadas, cubren la formación eocena, que contiene determinados horizontes permeables, y que á su vez descansa sobre el *substratum* triásico.

En esta zona es donde cabe en lo posible que se haya formado algún depósito de petróleo de relativa importancia; por tal

motivo, las labores de exploración deben situarse, de preferencia, en ella, y, además también, porque es fácil, por el estudio de la superficie, determinar con grandes probabilidades de acierto los puntos más favorables para las acumulaciones del petróleo.

Entre los anticlinales formados por las capas miocenas, hay algunos, como el del Guadalete, que están casi totalmente derrubiados, y otros, como el de la Angostura de Bornos, que conservan aún íntegra su bóveda. El anticlinal del Guadalete se extiende entre Puerto Serrano y el cortijo de Casa Blanquilla, en término de Arcos, y su núcleo está formado por las capas del Keuper, muy dislocadas, y algunos isleos numulíticos. En la parte derrubada, donde el Trias aflora, es donde se encontró por primera vez el petróleo en esta zona de la provincia de Cádiz; por esto tiene interés reconocer por medio de sondeos el mismo anticlinal allí donde el Trias está cubierto por terrenos más modernos, y donde, por consiguiente, puede haberse conservado algún depósito de petróleo formado á raíz de los plegamientos terciarios.

Siguiendo este criterio, el Instituto Geológico de España está practicando actualmente un sondeo junto al puente de la carretera de Jerez á Villamartín, sobre el río Guadalete, donde comienza el Trias á desaparecer bajo las capas numulíticas (1). Igualmente sería interesante ejecutar otro sondeo al SO. del cortijo de Alberite. Ambas perforaciones, emboquilladas en terreno Eoceno, deben encontrar el Trias á los 150 ó 200 metros de profundidad, y es posible que el petróleo se halle almacenado en algún horizonte permeable del Eoceno ó en el contacto de éste con el terreno triásico.

El anticlinal de la Angostura de Bornos ocupa el centro de la cuenca miocena; es un pliegue que enlaza á otros muchos que se extienden entre Espera y Arcos, y es, además, el punto hacia el cual convergen las presiones que han originado los últimos plegamientos de la región gaditana: por tales motivos debe

(1) Este sondeo, que se terminó en el mes de Julio de 1915 con resultado negativo, ha alcanzado la profundidad de 377 metros, habiendo cortado el Triásico á 151 metros de la superficie.

considerarse la zona del referido anticlinal como la más interesante para las investigaciones del petróleo.

El anticlinal de la Angostura de Bornos es, por su constitución, idéntico al del Guadalete, con la diferencia de hallarse su bóveda casi intacta. Para el reconocimiento en profundidad de este anticlinal sería preciso ejecutar, por lo menos, dos sondeos: uno, en las inmediaciones del Molino de la Gredera, que á la profundidad máxima de 300 metros alcanzaría el terreno triásico; otro, al lado de la carretera de Jerez hacia el kilómetro 41. Este último tendría que atravesar toda la formación miocena, y encontraría al Trias á los 500 ó 550 metros de profundidad.

Si un éxito feliz coronara estos trabajos sería llegada la ocasión de practicar algunas investigaciones en las cercanías de Vejer, donde también aparece un anticlinal de las capas miocenas apenas derrubiado. Pero por ahora no resulta pertinente el llevar á cabo labores de exploración en este punto, y en cuanto á las zonas de Lebrija, Arcos y Rota, hay que observar que la tectónica del terreno no es favorable á la formación de yacimientos de petróleo, y en tales condiciones es evidente que los reconocimientos no reportarían utilidad ninguna, y ni aun siquiera podrían deducirse consecuencias de interés de los resultados negativos que llegaran á obtenerse.

Madrid, Marzo de 1915.

JUAN GAVALA.

ÍNDICE

	Páginas.
Obras consultadas.....	3
CAPÍTULO PRIMERO	
Manifestaciones de petróleo y gases hidrocarbурados en la superficie.—Estudios y trabajos de exploración llevados á cabo.	
Consideraciones generales.....	7
Informe del Sr. Sanz.....	10
Informes del Sr. Marshall. } 1.º Zona de Villamartin.....	14
} 2.º Zona de Rota.....	16
Descripción de las labores de exploración de la Sociedad «Petrolifera de Villamartin», hecha por el Sr. Gillman..	17
Estudio del Sr. Mallada.....	19
Informe del Sr. Velázquez.....	24
Informe de Mr. Petit acerca de la zona petrolifera de Arcos.	25
Informe de Mr. Petit sobre Conil y Vejer.....	27
Zona de Lebrija.—Informe de D. Lucas Mallada.....	28
— — Informe de Mr. Lewes.....	29
— — Primer informe de Mr. Victor Petit.....	30
— — Segundo informe de Mr. Victor Petit....	31
Resumen.....	34
CAPÍTULO SEGUNDO	
Geología de la comarca donde radican las zonas petroliferas.	
A. Resumen orográfico y tectónico.....	36
B. Resumen estratigráfico.	
SERIE SECUNDARIA.—1.º Sistema triásico.....	46
— — — 2.º Sistemas jurásico y cretáceo	57
SERIE TERCIARIA.—1.º Sistema eoceno.....	63
— — — 2.º Sistema oligoceno.....	69
— — — a) Arenisca del Algibe.....	71
— — — b) Capas de diatomeas.....	73
— — — 3.º Sistema mioceno.....	75
— — — 4.º Sistema plioceno.....	82
N	209

	Páginas.
SERIE CUATERNARIA.....	84
— — 1.º Época pleistocena.	
— — a) Conglomerados antiguos del río Guadalete.....	84
— — b) Depósitos de <i>loess</i> y légamos arcillosos de las mesetas....	85
— — c) Travertinos de los alrededores de Gíbalbín.....	86
— — d) Diluvium rojo.....	86
— — 2.º Época actual.	
— — e) Aluviones y légamos actuales de los ríos.....	87
— — f) Dunas.....	90

CAPÍTULO TERCERO

Origen de los hidrocarburos en la región gaditana.—Capacidad productora de la formación de donde proceden.—Yacimientos secundarios de petróleo.—Descripción de las emanaciones de petróleo y gases combustibles observadas en la región.

A) Origen de los hidrocarburos en la región gaditana.....	93
Teorías emitidas acerca del origen de los petróleos.....	105
B) Capacidad productora de la formación geológica de donde proceden los hidrocarburos.....	118
C) Yacimientos secundarios de petróleo.....	120
Conclusiones.....	128
D) Descripción de las emanaciones de petróleo y gases combustibles comprobadas en la región.....	129
1.º Volcanes de lodo de Coripe, al S. de Morón.....	129
2.º Petróleo y ozoquerita de Villamartín.....	130
3.º Criadero de azufre de Arcos de la Frontera.....	132
4.º Criadero de azufre de Conil.....	132
5.º Otras fuentes sulfurosas de la región.....	133
6.º Manifestaciones petrolíferas en Rota.....	133
7.º Gases combustibles en las marismas de Lebrija.....	134
8.º Manifestaciones petrolíferas en Barbate.....	138
9.º Otras emanaciones de gases combustibles.....	139

CAPÍTULO CUARTO

Geología de las zonas petrolíferas de Andalucía, é indicación de los puntos más adecuados para situar labores de exploración.

A. Zona de Villamartín.....	140
B. Zona de Bornos.....	155
C. Zona de Arcos.....	161

	Páginas.
D. Zona de Algar.....	162
E. Zona de Lebrija.....	163
F. Zona de Jerez.....	168
G. Zona de Rota.....	169
H. Zona de Conil y Vejer.....	170

CAPÍTULO QUINTO

Descripción de los cortes geológicos.....	175
Conclusión.....	179

FE DE ERRATAS

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
4	31	parallélismes	parallélisme
5	2	terrains	terrain
8	23	de lodo, y la de	de lodo y la de
36	22	1.091	1.093
37	24	un	su
43	12	infrayente	infrayacente
46	27	Colomb	Collomb
49	32	gráfico unido	gráfico, unido
50	36	los yesos, que en	los yesos; que en
53	37	royas	rayas
54	3	fajado	fajeado
95	1	y que vulgar-	y son las que vulgar-
116	1	también hubieran	también se hubieran
146	21	buzamiento 40°	buzamiento de 40°
155	13	rama SE.	rama SO.
173	19	anticlinal	sinclinal
Fotografía IX (pie)		helvéticas, integrada	helvética, integradas

INVESTIGACIONES DE PETRÓLEO

EN LA

EXTREMADURA PORTUGUESA

CONFERENCIA DADA POR

MR. PAUL CHOFFAT

en la Asociación de Ingenieros civiles de Portugal, y publicada en la
"REVISTA DE OBRAS PUBLICAS E MINAS,, T. XLIV. Lisboa, 1914.

Traducción del original francés por J. G.

NOTA DEL TRADUCTOR

La Memoria que precede acerca de las regiones petrolíferas de Andalucía fué redactada á fines del año 1914, después de un estudio detenido de la geología de varias comarcas de Cádiz y Sevilla; poco antes de darla á la publicidad llegó á nuestro poder el texto de una conferencia dada por el Sr. Choffat en la Asociación de ingenieros civiles de Portugal, en la que trató de una cuestión análoga, referente á la Extremadura portuguesa.

Nos propusimos de primera intención tomar nota únicamente de los puntos esenciales tratados en dicha conferencia, y dar cuenta de este trabajo, en el cuerpo del nuestro, según hemos hecho con otros que versan sobre regiones petrolíferas de distintos países de Europa y América. Sin embargo, la gran analogía que, al parecer, existe entre la constitución geológica de la Extremadura portuguesa, á que se refiere el estudio del Sr. Choffat, y la de la parte de Andalucía donde radican las zonas estudiadas en nuestra Memoria, nos ha inducido á transcribir aquél íntegramente, para que puedan compararse mejor los resultados, análogos en el fondo, á que el estudio detenido de la estratigrafía y la tectónica nos ha conducido á ambos.

Las zonas que el Sr. Choffat describe con el nombre de *áreas tifónicas*, donde, según él, asoman casi siempre rocas eruptivas, generalmente ofitas, y donde abundan los depósitos de yeso, el cuarzo bipyramidal y las fuentes saladas y sulfurosas, son, sin género alguno de duda, el equivalente del terreno que en la provincia de Cádiz describió el Sr. Mac-pherson con el nombre de terreno ofítico ó metamórfico, y que, según se ha comprobado después, no es más que el Triásico superior ó Keuper, muy dis-

locado por efecto de las grandes presiones á que ha estado sometido, principalmente durante los plegamientos terciarios.

El terreno que integra las *áreas tifónicas*, en parte clasificado por el Sr. Choffat como correspondiente al Infraliásico, es, en opinión de este geólogo, el yacimiento primario del petróleo en Portugal, si bien admite la *posibilidad* de que ese producto se haya formado también, en dicho país, en terrenos correspondientes á otros sistemas geológicos.

En resumen, el trabajo del Sr. Choffat pone una vez más de relieve la relación íntima que existe entre el terreno triásico y los yacimientos de petróleo que se manifiestan en las fajas de terrenos secundarios y terciarios que rodean á la meseta ibérica por el Norte, por el Oeste y por el Sur.

Esto viene á confirmar nuestra creencia de que dicho petróleo procede siempre de las margas salíferas del Keuper, fuente harto exigua, como se ha puesto de manifiesto por cuantos trabajos de exploración se han llevado á cabo, para dar nacimiento á depósitos de aceites minerales de valor industrial.

Al trabajo del Sr. Choffat acompañan tres láminas en negro con diversos planos y cortes geológicos de las regiones de Portugal por él estudiadas, que no figuran en esta traducción por la imposibilidad de grabarlas, hallándose ya en prensa el presente tomo del *Boletín*.

Madrid, Marzo de 1916.

JUAN GAVALA.

SUMARIO

A. - Historia y consideraciones geológicas generales.

Enumeración de los lugares donde se ha observado la existencia del petróleo en la Extremadura.—Antiguas explotaciones de betún.—Primeras investigaciones del petróleo.—Memorias y conferencias relacionadas con este asunto.

Principios fundamentales acerca de la formación y del modo de yacer el petróleo.—Consideraciones geológicas relativas á la región.—Áreas tifónicas.

B.—Meseta situada entre Nazareth, Monte-Real y Figueira da Foz.

Generalidades.—Cuadro de los terrenos.

Canto d'Azeche.—Región de Monte-Real.

a) Granja.—b) Sismaria.—e) Viña de José Marques.

Deducciones.—Investigaciones que se deben efectuar.

C.—Región de Torres-Vedras.

I.—*Estudio geológico de la región.*

Cuadro de los terrenos.—Disposición estructural.—Rocas eruptivas.—Fuentes termales.

II.—*Estudio de los estratos que presentan indicios de petróleo.*

a) Calizas y pizarras oxfordienses.—b) Pizarras bituminosas intercaladas en las calizas de Cabaço.—c) Bolsas de petróleo en las calizas.—d) Areniscas bituminosas del nivel de Abadia y del Coralino de Amaral.

III.—*Origen de los hidrocarburos que se encuentran en los alrededores de Torres-Vedras.*

1. Pizarras oxfordienses.—2. Masas coralinas en las calizas compactas.—3. Grietas en las calizas compactas.—
4. Areniscas bituminosas del nivel de Abadia y de la base del Coralino de Amaral.—Conclusiones.

IV.—*Investigaciones del petróleo en profundidad.*

- 1 y 2. Investigaciones del petróleo en el Triásico.—3. Investigaciones en las pizarras oxfordienses.—3 bis. Un sondeo emboquillado en las calizas puede alcanzar una grieta en comunicación con el depósito principal.—
4. Descripción de los dos sondeos efectuados en las calizas. Análisis del agua termal que se ha encontrado en ellos.—5. Consecuencias deducidas de la calidad del petróleo.—6. Sondeos en las calizas de Abadia.

Conclusiones referentes á las dos regiones.

INVESTIGACIONES DE PETRÓLEO

EN LA

EXTREMADURA PORTUGUESA

A.—Notas históricas y consideraciones geológicas generales.

La presencia de hidrocarburos más ó menos oxidados se ha señalado, en Portugal, en varios puntos de la faja de terrenos mesozoicos que se extiende, al Norte del Tajo, entre el Océano y los terrenos antiguos de la meseta. También se ha citado la existencia del petróleo en el Alentejo, pero no he tenido aún ocasión de comprobar este hallazgo.

Los puntos concretos en que, según mis noticias, existen manifestaciones petrolíferas son los siguientes, procediendo de Sur á Norte:

Sacario, al Norte de Cintra.

Secavem, Villa-Franca de Xira, Meca.

Alrededores de Torres-Vedras.

Canto d'Azeche (Pataias) y la región de Monte-Real.

SACARIO (1).—La aldea de Sacario está situada á 7 kilómetros al Norte de Cintra, cerca de S. João das Lampas.

En 1893, unos obreros que trabajaban en una posesión de Miguel Ballea, nivelando la superficie del terreno, encontraron un bloque bastante grande de basalto que trataron de arrancar, pero al partirlo se esparció un olor tan intenso á petróleo que los obreros se vieron obligados á abandonar la excavación. El propietario del terreno, en la esperanza de haber encontrado una

(1) Este descubrimiento fué señalado por Choffat: *Le Portugal au point de vue agricole*, 1900, lámina de perfiles, fig. II, y por Engler y Höfer, según comunicado de Choffat: *Das Erdöl*, Leipzig, 1909, pág. 147.

mina de petróleo, dió cuenta del hallazgo al ingeniero Sr. Rattier, residente en Cintra, quien me remitió un trozo del referido basalto. Esta roca presentaba en la fractura fresca pequeñas geodas tapizadas de cristales de aragonito teñidos de color verde obscuro por una substancia aceitosa que despedía fuerte olor á petróleo y que formaba aureolas alrededor de las geodas: al cabo de algunos días se evaporaba dicha substancia, desapareciendo el color verde y las aureolas.

En 1899 tuve ocasión de pasar por Sacario, y visité el terreno de donde se había extraído el bloque de basalto en cuestión, situado á 200 metros al O. SO. de la aldea, pero sólo pude arrancar fragmentos pequeños de la roca, que no despedían ya olor á petróleo.

La región de Sacario está formada por margas calíferas del Cretáceo medio atravesadas por diques de basalto; éste está muy descompuesto, y entre la parte alterada se destacan bolas más compactas de la misma roca en las que se pone de manifiesto la descomposición esferoidal. Este basalto forma también filones-capas entre los estratos sedimentarios, como puede verse un poco más al O., en Lomba de Pianos, en la misma orilla del mar. Geikie, en su obra *Textbook of Geology*, cita casos análogos, que atribuye á la destilación de capas de carbón, producida por rocas eruptivas.

SACAREM.—El pueblo de Sacarem está situado en una zona formada por terrenos terciarios, que, como se sabe, constituyen una de las fuentes principales de petróleo en Europa y fuera de Europa; sin embargo, en Portugal no parece que reúnen esos terrenos condiciones favorables para la formación de dicha substancia. No sé á ciencia cierta cuáles han sido los indicios de petróleo observados en Sacarem, pues, por una parte, Neuberger, que recorrió la localidad, no encontró ninguna manifestación, y por otra, tampoco se observó la más ligera señal durante la perforación, en dicho punto, de varios pozos artesianos.

VILLA-FRANCA DE XIRA.—En la colección de geología aplicada del Servicio geológico, figura una muestra de caliza jurásica con geodas rellenas de betún, que procede, según la etiqueta, de Villa-Franca, y el Inspector de Minas Fr. d'Albuquerque

d'Orey, me ha manifestado que en Castanheira se ve brotar de la roca betún líquido.

MECA.—Está situada en una región formada por arcillas y areniscas lignitíferas que corresponden al Lusitaniense superior.

Al perforar un pozo en esta localidad, se sintió un fuerte olor á petróleo, y, debido á esto, el propietario del terreno denunció el paraje donde está situado el pozo; tuve ocasión más tarde de visitar esta localidad y de ver las tierras que, según me dijeron, habían sido extraídas de aquella labor, pero no observé en ellas el menor indicio de betún.

También he oído hablar, aunque con bastante vaguedad, de unos sondeos que se hicieron, al parecer para buscar petróleo, cerca de Batalha, en cuyo punto el Jurásico superior contiene capas de lignito; los resultados obtenidos no debieron ser interesantes puesto que apenas se conserva en la localidad memoria de ellos y sólo hace veinticinco años que se hicieron.

Las únicas regiones importantes son, pues, por ahora: la de Torres-Vedras y la que se extiende entre Pataias y Monte Redondo. En la primera se explotaron, hace cuarenta años, unas pizarras bituminosas que se destilaban en la fábrica de asfalto de Cucos, instalada en Lisboa en el sitio que hoy ocupa el estanque del parque de Eduardo VII.

Hacia el año 1857, se explotó, por medio de galerías, la arenisca bituminosa que forma los acantilados marinos al Oeste de Pataias, en el paraje llamado «Mina» ó «Canto d'Azeche». Más tarde, se explotó la misma arenisca en la aldea de Calvide, cerca de Monte-Real, pero estas explotaciones tuvieron una vida efímera.

Hace veinticinco años, cuando se construyó la línea férrea de Figueira da Foz, se abrieron varias trincheras y canteras en la caliza de Cucos, cerca de Torres-Vedras, y hasta se perforó en ella un pequeño túnel antes de llegar á esta última localidad, encontrándose, tanto en las excavaciones como en la parte septentrional del túnel, grietas y geodas llenas de hidrocarburos líquidos. Quince años pasaron, sin embargo, sin que se concediese importancia á estos descubrimientos, hasta que un comerciante de Lisboa, el Sr. Lezameta, que pasaba temporada en los baños de Cu-

cos, habló del asunto al Sr. Cell Taylor; éste estimó que los indicios observados en la superficie eran pruebas manifiestas de la existencia del petróleo en profundidad, y á consecuencia de ello hicieron una denuncia en aquel terreno.

Al año siguiente, en Diciembre de 1902, el Sr. Lazameta me encomendó un estudio geológico de la zona en cuestión, estudio de que trataré luego, y que fué hecho con objeto de someterlo á la consideración de especialistas en investigaciones de petróleo; contiene dicho estudio varias figuras y cortes intercalados en el texto y dos láminas impresas; una, que aun no se ha puesto á la venta, es un mapa de la cordillera del Montejunto en escala de 1 : 100.000, con varios perfiles transversales, y lleva por título: Montejunto pl. I; otra es el plano, en escala 1 : 20.000, de la región de Cucos-Cabaços, publicado en 1893 en el folleto: *Contribution a la connaissance geologique des sources minero-thermales des aires mesozoïques du Portugal*.

A partir de esta fecha, las noticias del descubrimiento del petróleo corrieron de boca en boca; se puso de nuevo sobre el tapete el asunto de las antiguas explotaciones de betún de Canto d'Azeche y de Carvide; la menor mancha irisada en la superficie de las aguas estancadas se consideraba como indicio seguro de la existencia del petróleo, y el país se cubrió de denuncias mineras desde Monte Redondo hasta el Tajo, tanto que en 1907 había 215.

La mayor parte de los denunciadores no han intentado siquiera hacer trabajos de exploración, pero otros, en cambio, han hecho estudios y sondeos, y han dado toda clase de facilidades á los investigadores y á los capitalistas que se han querido ocupar del asunto. Desgraciadamente, las primeras investigaciones se llevaron á cabo en malas condiciones, y se redujeron á varias calicatas hechas en Torres y á un sondeo de 58 metros de profundidad practicado en Sismania.

En los meses de Febrero y Marzo de 1905, Mr. Ruby Thomson recorrió la región litoral y redactó una Memoria que firmó en unión de Mr. Hunter; observó dicho geólogo que, en los alrededores de Torres, los habitantes del país empleaban como combustible arenisca bituminosa, lo que le llevó á descubrir un segundo horizonte petrolífero en aquella región.

Al año siguiente, Mr. Henry Neuberger (1), ingeniero de París, visitó, entre el 23 de Junio y el 10 de Julio, las regiones que rodean á Torres-Vedras, Leiria, Obidios y Sacarem, y entregó á la *Sociedad portuguesa de terrenos petrolíferos* una Memoria bastante voluminosa, tratando la cuestión desde diversos puntos de vista. Aunque el estudio de este ingeniero se refiere principalmente á la región de Torres, se ocupa, sin embargo, de una extensión de terreno demasiado grande para ser examinada en diez y ocho días por una persona que no tenía otras noticias acerca de la geología de Portugal que las que pudo adquirir al leer mi Memoria sobre Cucos; no es extraño, pues, que la parte concerniente á la zona de Monte-Real deje bastante que desear.

En 1907 (2), Mr. William Jones publicó un resumen de las Memorias de Thomson y Neuberger, precedido de un informe basado en el contenido de dichas Memorias.

Es fácil comprobar que la parte geológica de todos estos trabajos contiene bastantes errores, tanto en el texto como en las láminas, y lo mismo ocurre con los de otros investigadores que han recorrido el país.

La causa de los errores que contienen estos trabajos no estriba en la incompetencia de sus autores, sino en que la geología de estas regiones difiere esencialmente de la del resto de Europa, tanto por lo que concierne á los caracteres estratigráficos como por lo que respecta á la tectónica, toda vez que los indicios de petróleo están por regla general en relación con las áreas tífónicas, que sólo tienen semejanza con algunas zonas del Norte de Africa cuya formación tampoco se ha explicado hasta ahora de modo satisfactorio.

Las diferencias estratigráficas, si bien se acentúan á partir del Jurásico superior, son ya bastante marcadas en la época liá-

(1) Mr. Neuberger ha publicado la obra siguiente en colaboración con Mr. H. Noalhalt: *Technologie du pétrole. Etude de gisement. Recherches et exploitation. Le sondage des puits*.—París, 1900. 1 vol. 24 × 16.

(2) Reports on petroleum properties in Portugal. Núm. 1. By William Jones. Núm. 2. By Messrs. Thomson and Hunter. Núm. 3. By Mr. Henry Neuberger. London, Hepburn and Sons L. T. D., en 4.º, 19 p., 5 vistas fot., 2 planos. No está puesto á la venta, y parece haber sido impreso en 1907.

sica, no sólo con relación al resto de Europa, sino también en las distintas regiones de Portugal.

El Lias del Cabo Mondego presenta pocas analogías con el de la región de Thomar, y es totalmente distinto del de la Arrabida, del de San-Tiago de Cacem y del de Algarbe, que difieren, á su vez, entre sí, y del de Norte del Tajo.

Por mucha que sea la experiencia adquirida por un observador en otros países, y por grande que sea su disposición para esta clase de estudios, no puede hacerse cargo en unas cuantas semanas de la complicada estructura geológica de esta parte de Portugal; no es extraño, pues, que las Memorias redactadas por ingenieros extranjeros contengan errores, hasta cierto punto inevitables. Citaremos, como ejemplo, la edad suprajurásica atribuída á los yesos infraliásicos de Pedras-Negras y de la costa, al O. de Pataias; la supuesta edad cretácea de las calizas que asoman entre Torres-Vedras y Paul; el haber clasificado como granito las rocas ofíticas de los alrededores de Leiria; el haber atribuído determinadas dislocaciones á los basaltos de Runa, cuya erupción, toda vez que afectan la forma de capas, ha desempeñado un papel hasta cierto punto pasivo, y, por último, y esto no tiene explicación, el haber tomado como yeso la calcita que rellena las grietas de la caliza de Cabaços.

Estas diferencias son algo más que cuestión de nombres, pues influyen considerablemente en las deducciones que se pueden sacar de los datos geológicos, y, por ello, el estudio de la geología del país debe preceder siempre al de los especialistas, para los cuales constituye aquél una ayuda importante.

En 1908, Mr. Augusto Abres de Veiga, ingeniero de la *Companhia Petrolifera*, dió una conferencia acerca del tema *Problemas mineiros en Portugal: O petroleo*, en la Asociación de ingenieros civiles portugueses (1).

Al estudiar la región de Torres, me ocuparé de los sondeos efectuados por dos Sociedades inglesas y por la *Companhia Petrolifera Portuguesa*.

(1) *Problemas mineiros de Portugal: O petroleo*. «Revista de Obras publicas e Minas», t. 39. 1908, pág. 240-244.

En 1910, á instancias de un comerciante inglés, hice un estudio de la región de Monte-Real; por esa época, los sondeos de Torres estaban bastante adelantados y me hubiera sido muy conveniente conocer sus resultados, pero se guardaba acerca de ellos la mayor reserva, y hasta el año 1911, en que fui llamado por la *Sociedad de terrenos petrolíferos* para describir las condiciones geológicas de la región, no tuve conocimiento de los resultados obtenidos.

Principios fundamentales acerca de la formación y yacimiento del petróleo.

El conocimiento de las condiciones de formación y de yacimiento del petróleo presenta aún bastantes puntos oscuros y es asunto que reserva no pocas sorpresas; «cada región petrolífera tiene su *facies* especial», me decía hace poco uno de los grandes maestros de esta ciencia. Sin embargo, las hermosas obras sintéticas publicadas en estos últimos años demuestran que la cuestión del origen de los petróleos ha hecho progresos importantes, y que las investigaciones no se llevan ya á cabo por tanteos empíricos, sino basándose en las condiciones geológicas: la composición del suelo y su tectónica.

Pero antes de exponer las condiciones geológicas de las dos regiones que nos ocupan, voy á recordar algunos puntos teóricos que son hoy generalmente admitidos.

1.º Los hidrocarburos conocidos con los nombres de petróleos, ozoqueritas, betunes, asfaltos, etc., tienen idéntico origen, y son productos oxidados cuya composición depende de las circunstancias en que se encuentran sus yacimientos: mayor ó menor profundidad, naturaleza de la roca absorbente, contacto más ó menos fácil con el agua y con el aire, etc. La composición del petróleo ó del betún recogido cerca de la superficie del suelo tiene, por lo tanto, poca importancia desde el punto de vista de la calidad del petróleo que se encuentra en profundidad, y puede decirse que los aceites son tanto más pesados cuanto más cerca de la superficie se encuentran.

2.º Existen dos hipótesis principales acerca del origen del

petróleo: una lo atribuye á la destilación de materias orgánicas, otra á reacciones químicas sobre carburos metálicos.

Es indiscutible que las erupciones volcánicas contienen hidrocarburos, pero en cantidad demasiado pequeña para explicar el origen de los yacimientos de petróleo; la teoría de origen orgánico está casi generalmente admitida.

3.º Los yacimientos de petróleo están casi siempre en relación con depósitos de agua salada, de yeso y de azufre.

4.º Los depósitos de petróleo que deben su origen á acumulaciones de organismos de gran tamaño son casos excepcionales: la mayor parte de las veces se forman dichos depósitos por acumulaciones de materias tenues que flotan en el agua (plankton), y cuya precipitación tiene lugar, de preferencia, en las lagunas, debido al encuentro de las aguas saladas y las fluviátiles. Esto ocurre en el estuario del Tajo, donde los légamos están cargados de materias en putrefacción que dan lugar á la formación de aguas sulfurosas muy estimadas en terapéutica.

Pero si el petróleo debe su origen, como decimos, á la putrefacción de materias minúsculas, no hay que sacar por ello la consecuencia de que se ha formado en las rocas que lo encierran y que no contienen restos orgánicos, porque en la generalidad de los casos se puede demostrar que proviene de la destilación de un depósito mucho más profundo, y que se ha condensado en las capas del terreno que ofrecen condiciones favorables tanto desde el punto de vista físico como desde el químico. A veces la composición de estas capas no permite suponer que hayan contenido restos orgánicos en cantidad suficiente para producir el petróleo que encierran.

Estas impregnaciones posteriores al depósito de las capas explican por qué se encuentran, con relativa frecuencia, estratos petrolíferos á distintos niveles geológicos en la misma región.

Consideraciones geológicas referentes al Norte del Tajo.

Aunque daremos después una lista de los terrenos geológicos que afloran en cada una de las regiones á que nos vayamos refiriendo, diremos por anticipado que el estudio de las ma-

nifestaciones petrolíferas demuestra que el horizonte de donde procede el petróleo es inferior al Jurásico superior, puesto que ya en este terreno no se encuentran indicios de él.

No hay que olvidar que el Paleozoico de algunos países contiene yacimientos importantes de petróleo, y que, en Portugal, los terrenos primarios contienen á veces areniscas permeables y, además, grafito, ora formando masas, ora finamente dividido y disperso en las pizarras (pizarras ampelíticas de Beira-Baixa), que puede considerarse como residuo de la destilación de hidrocarburos.

El conjunto de capas pertenecientes al período comprendido entre el Carbonífero superior y el Infralías parece, sin embargo, reunir en mayor grado las condiciones consideradas como favorables para el depósito del plankton, como son: lagunas en que se han encontrado las aguas fluviales y las marinas; macizos de arenisca bastante potentes cubiertos por un macizo arcilloso que hace muy difícil la evaporación, etc. Este manto es mucho más impermeable que el formado por pizarras paleozoicas, más rígidas, y, por consiguiente, más fisuradas.

ÁREAS TIFÓNICAS

Los terrenos mesozoicos que forman el borde occidental de la Meseta de Portugal presentan en algunas zonas una tectónica especial que les ha valido el ser descritas con el nombre de valles ó áreas tifónicas. En ningún punto son lo suficientemente extensas para permitir el estudio completo de su constitución íntima, y esto es un serio inconveniente para el desarrollo de la cuestión petrolífera portuguesa, pues los indicios de petróleo en las dos regiones que estudiamos se encuentran en conexión con dichas áreas.

Varias cordilleras, entre ellas la de Montejunto y la de Leiria, se reducen á una bóveda anticlinal más ó menos irregular, cuyo eje está formado por estratos comprendidos entre el Lias y el Jurásico superior; pero en los puntos en que la bóveda ha sido denudada, asoma un anticlinal de constitución especial: el área tifónica. El centro de área está formado por terrenos triásicos é infralíasicos dislocados por fallas y anticlinales secundarios, y

los flancos están casi siempre constituidos por el Jurásico superior. Falta, pues, en ellas, toda la serie de terrenos comprendida entre el Lias medio y el Jurásico superior.

Por regla general, las áreas tifónicas están limitadas en sus bordes por fallas más ó menos verticales, y de su estudio se saca la impresión de que los macizos de caliza de los bordes se han hundido verticalmente, provocando un movimiento ascensional del macizo triásico-infraliásico, fácilmente deformable.

En otros puntos, el Infralías parece que continúa por debajo de las calizas, y, entonces, el macizo compacto que éstas forman ha resbalado horizontalmente por encima del macizo arcilloso; esto parece deducirse, al menos, del hecho de que algunos restos de calizas jurásicas descansan directamente sobre el Infralías, en el centro de las áreas tifónicas. En estas áreas asoman casi siempre rocas eruptivas, generalmente ofitas, bien en forma de filones, bien en forma de chimeneas, que es lo más corriente; contienen además las áreas tifónicas, depósitos de yeso, cuarzo bipiramidal, fuentes sulfurosas ó saladas, frías y termales, y, á veces, indicios de minerales de hierro, cobre, etc... Las más notables son las que se encuentran á lo largo de las líneas siguientes:

- Santa Cruz—Matacães.
- Serra de El Rey—Alcobaça.
- Porto de Moz—Batalha.
- Pataias—Leiria.
- Monte-Real—Monte-Redondo.
- Canto d'Azeche.

La figura 1.^a representa, esquemáticamente, un área tifónica.

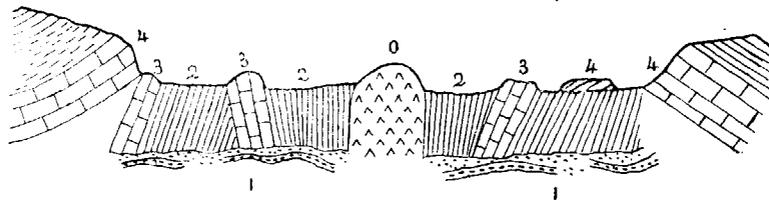


FIGURA 1.^a

1. Conjunto deformable, del Carbonífero al Triásico. — 2. Margas de Dagorda (Trias é Infralías), yesíferas. — 3. Dolomía con algunos fósiles, aunque escasos, de facies salitrosa. Infralías y Sinemuniense. — 4. Calizas del Jurásico superior. — 0. Roca ofítica en filones y chimeneas.

B.—Meseta situada entre Nazareth, Monte-Real y Figueira-da-Foz.

Monte-Real está situado á 13 kilómetros al N. NO. de Leiria, en el tercio inferior de un gran triángulo litoral formado casi exclusivamente por el Mioceno, el Plioceno y las dunas, y limitado, por la parte de tierra, por una faja de Cretáceo superior que pasa por Nazareth, Some y Figueira-da-Foz, y sigue, por consiguiente, dirección NE. primero, y O. NO. después.

Estos afloramientos cretáceos buzan hacia el citado triángulo, y forman el flanco de grandes anticlinales con núcleos jurásicos, mientras que el triángulo en cuestión corresponde, en conjunto, á un área de hundimiento.

Merced á la denudación producida por el río Liz, á las escarpas marinas de Nazareth y Pedrogão y á algunos asomos de rocas mesozóicas, se puede comprobar que esta área de hundimiento no corresponde á una cuenca sinclinal, sino que el terreno terciario cubre anticlinales desmantelados del tipo de las áreas tifónicas. Estos son:

1.º Los pequeños afloramientos de Canto d'Azeche, que se enlazan probablemente, por debajo de las arenas, á los de San Pedro de Muel (Infralías, yeso, ofita).—S. SO. á N. NE.

2.º Línea Monte-Real—Monte-Redondo, dirigida aproximadamente de N. á S. (Infralías, yesos, fuentes sulfurosas, fuentes saladas, línea de asomos ofíticos.) El afloramiento Bajociense d'Ewedeira, tal vez forme parte de esta línea.

3.º A 10 kilómetros al NO. de Monte-Real, los acantilados del mar ponen de manifiesto, en el lugar llamado Pedrogão, una sucesión de estratos (Bathonienense, Calloviense y Lusitaniense), orientados al N. 20° O. y con buzamiento de 30° al SO., que forman la rama occidental de un anticlinal cuya rama opuesta acaso se corresponda con el pequeño afloramiento lusitaniense de Alecreira, situado dos kilómetros más al O., en medio de las dunas.

Sucesión estratigráfica.

Como las dunas, las arenas, las areniscas y las arcillas del Plioceno y del Mioceno cubren la mayor parte de la región, no podemos formar juicio acerca de las rocas mesozoicas más que examinándolas en regiones próximas donde están normalmente desarrolladas.

No nos fijaremos en los terrenos paleozoicos, que asoman 35 kilómetros al E. de Monte-Real, porque la serie triásica-infratriásica reúne buenas condiciones para la formación del petróleo.

Los espesores que asignamos a los diversos terrenos en el cuadro adjunto no deben considerarse más que como aproximados, tanto por las dificultades inherentes a tales medidas como por haber sido calculados algunos de ellos en puntos que distan bastante de Monte-Real.



CUADRO DE LOS TERRENOS

POSTERIORES AL PALEOZOICO

CUADRO DE LOS TERRENOS POSTERIORES AL PALEOZOICO

		AFLORAMIENTOS EN LA REGIÓN	ESPESOR APROXIMADO
Aluviones.....	Arenas y léngamos.		
Dunas.....	Arenas actuales ó removidas del Plioceno.		
Plioceno.....	Arenas movedizas, ó más ó menos cimentadas por arcilla.....		
Mioceno.....	Arenisca verdosa.....	Souto, Amor.....	? 100 metros.
Oligoceno.....	Brechas y conglomerados calizos.....	Souto, Serra do Porto do Urso.....	± 30 metros en Souto.
Turonense.....	Calizas blancas y rojizas con silex.....	Souto, Beijouca.....	± 10 metros en Souto.
Albense y Cenomanense....	Areniscas blancas y amarillentas, en general de elementos gruesos.....	Souto, Granja, Sismaria.....	200 metros Serra de Buarcos.
Kimeridgiense.....	Areniscas rojizas ó verdosas y margas.....	Granja.....	300 á 450 m. Serra de Buarcos.
Lusitaniense.....	Calizas marinas, que en la base contienen capas de lignito y fauna de agua salobre.....	Granja, Pedrogão, Alecrieira.....	160 á 240 » » »
Calloviense.....	Calizas margosas.....	Pedrogão.....	70 m. » »
Bajociense y Batoniense....	Calizas blancas en el Sicó y en Pataias, oscuras en Buarcos.....	Arvedeira.....	250 m. » »
Lias medio y superior.....	Calizas grises, más o menos arcillosas.....	San Pedro de Muel.....	250 á 400 m. » »
Lias inferior.....	Calizas dolomíticas en la base; después calizas muy duras, negras ó amarillas.....	Monte-Real — Malhadouro, Riba-d'Aves.....	100 á 150 m. Sam Pedro de Muel.
Infralias.....	Arcillas con yeso, y placas de calizas con fósiles de agua salobre.....	Farzeas, Granja, Pedras-Negras.....	100 á 125 m., Coimbra.
Triásico.....	Areniscas más ó menos arcillosas, rojas y blancas	No afloran en la región.....	300 á 400 m., Coimbra.
ROCAS ERUPTIVAS			
Ofitas.....	Masas y filones.....	Monte-Real, Granja y Santo Antonio.....	

Canto d'Azeche.—Caminando de Norte á Sur, se encuentra, á 7 kilómetros de Sam Pedro de Muel, en los acantilados del mar, el afloramiento de rocas triásico-infraliásicas de Canto d'Azeche; y un kilómetro más al Norte, el de Nuestra Señora da Victoria. Ambos asoman sólo por corto espacio en el acantilado, porque las dunas y las arenas pliocenas cubren toda la meseta. El Plioceno inferior (fosilífero) rodea el afloramiento de Nuestra Señora da Victoria, y está en contacto, por el lado Norte, con el de Canto d'Azeche, mientras que al Sur asoman las areniscas fosilíferas del Cretáceo medio (1).

Es probable que estos afloramientos formen parte de una misma área tifónica, dirigida hacia el N. NE., á la cual es probable que correspondan también los afloramientos de Infralias y de ofita situados al E. y al NE. de Sam Pedro de Muel. En este caso los afloramientos turonenses situados á 6 kilómetros al E. de Sam Pedro formarían la falda oriental del anticlinal, pero los terrenos modernos que lo cubren tienen demasiado espesor para poder asegurarlo.

Según el catálogo de la Exposición de minas (1), el asfalto impregna capas arcillo-calizas, margosas y arenáceas que están orientadas al N. 70° E. é inclinadas, entre 5° y 45°, al S. 12 á 20° E. Este dato no concuerda con la hipótesis de correspondencia con los afloramientos de Sam Pedro, pero tampoco puede deducirse de él ninguna conclusión dada la irregularidad de las dislocaciones en las áreas tifónicas.

Según el catálogo citado, la mina no estuvo en explotación más que durante los años 1857 y 1858, y se extrajeron 50.000 kilos de asfalto que se vendieron en 2.300.000 reis y 7.000 kilos de caliza bituminosa que fueron vendidos á razón de 6 reis el kilo.

En 1879 aun se podía entrar en la galería, donde recogí una muestra de arenisca basta, muy bituminosa, con impresiones de pequeños fósiles del Infralias, pero el betún parece impregnar

(1) Choffat.—*L'Infralias et le Sinémurien en Portugal*, figuras 8 y 9 de la lámina. (*Communicações*, t. V, 1913.)

(1) *Exposicao nacional das industrias fabris. Catalogo descritivo da secção de minas*. Lisboa, 1889.

también las arenas pliocenas, hecho que está corroborado por el yacimiento de la Viña de José Marques, en Sismaria, donde dicha substancia impregna la arena de las dunas.

Región de Monte-Real.—El río Liz corre aproximadamente de Sur á Norte entre Leiria y Monte-Real donde se acoda y se dirige al O. hasta su desembocadura en el Océano.

El eje del anticlinal está jalonado por una serie de afloramientos del Infralias (margas de Dagorda), del Sinemuriense inferior (dolomias) y de ofitas que se encuentran en las dos orillas del río, desde Riba d'Aves y Amor hasta más allá de Monte-Redondo, es decir, en una extensión de 10 kilómetros. En la falda oriental (Riba d'Aves á Agua-Formosa, 13 kilómetros), el Cretáceo está en contacto con el Sinemuriense cuando este último no está oculto por el Plioceno.

El contacto está menos marcado en el flanco occidental; no obstante, en la Sierra do Porto do Urso asoman calizas que parecen corresponder al Cretáceo.

En el valle del Liz, hacia el Oeste, al Norte de Monte-Real, asoman las ofitas, el Infralias, el Jurásico superior (calizas y areniscas de grano fino) y areniscas blancas que corresponden al Cretáceo á juzgar por su analogía con el Cretáceo medio de la región.

La línea principal de asomos ofíticos se extiende, de Sur á Norte, en una longitud de cinco kilómetros (Monte-Real á Monte-Redondo), mientras que otra serie de asomos comprendidos entre Granja, Picoto y Aroteia (4 kilómetros) forma una línea transversal á la primera.

El cruce de las dos corresponde á un ensanchamiento del área tifónica y al codo del río. En su extremidad meridional, esta área tiene 2.500 metros de anchura, y 6 kilómetros al Norte de Monte-Real, lo cual se debe á la separación de las faldas, que toman la dirección SO. á NE. en vez de la N. á S.

Sobre la misma línea transversal, cerca de la capilla de San Miguel, se encuentra un afloramiento de ofita fuera del borde turonense del área tifónica y á 1.200 metros de él: esto es, en medio de las areniscas que considero terciarias. Se presenta, pues, el problema de si la ofita ha atravesado el terciario ó si el

asomo se debe á una dislocación; el mal estado del tiempo me impidió ver si las condiciones del terreno permiten resolverlo.

También se encuentran en la susodicha línea, la fuente sulfurosa de Covões (entre Monte-Real y Granja) y una fuente salada al N. de la aldea de Picoto.

En esta región, el betún, que impregna rocas de distintas edades, ha sido observado en tres puntos: uno situado al Sur del Liz (Granja) y otros dos al Norte, en Sismaria.

a) **Granja.**—La aldea de Granja está situada á 2 kilómetros al O. de Monte-Real, en el camino de Vieira.

En 1865 una compañía inglesa hizo varias calicatas en sus alrededores y comenzó una explotación que tenía que fracasar forzosamente por la falta de medios de comunicación.

Las calicatas pusieron de manifiesto el betún hasta en los aluviones del Liz, en una línea de 1.200 metros de longitud dirigida de N. NE. á S. SO., es decir, hasta el límite de la concesión. La explotación sólo tuvo lugar en una longitud de 100 metros.

El pozo está actualmente hundido, pero en el año 1879 tuvo ocasión de ver su boca, y el Sr. Vasconcellos, que estudió la mina en calidad de ingeniero del Estado, ha puesto á mi disposición el plano de la concesión, un perfil del terreno en su extremidad septentrional y algunas muestras recogidas en las galerías.

En esta roca he podido comprobar la presencia del betún en el Infralias, tanto en las grietas de la caliza dolomítica como en la superficie de placas muy fosilíferas y en las areniscas toscas del Cretáceo, pero la roca explotada fué una arenisca fina, poco consistente, completamente impregnada de betún, que debe pertenecer el Kimeridgiense y que puede verse en el paraje llamado «Mata-Redonda».

La disposición de los estratos podía observarse hace algunos años en la escarpa del Liz llamada «Valla-da-Pedra», que actualmente está cubierta por las labores de cultivo. La ofita aflora al E. de Granja, en medio de las arenas pliocenas, y á 500 metros al SO. se encuentra la fuente sulfurosa de Covões, utilizada en un modesto establecimiento balneario.

b) **Sismaria.**—La aldea de Sismaria, situada al N. del Liz, á 3 kilómetros de la estación de Monte-Redondo, se compone de

unas cuantas casas dispersas, edificadas sobre el Plioceno, entre cuyas capas asoman areniscas bastas que, por sus caracteres litológicos, deben ser referidas al Cretáceo. La iglesia está edificada á 800 metros al N. de los aluviones del Liz, y á 2.900 al N. NE. de Granja.

A 50 metros al S. SO. de la iglesia, las areniscas han sido explotadas en una cantera que en el momento de mi visita estaba llena de agua; sólo se podía ver la parte superior de la roca siendo imposible apreciar su régimen. La parte visible de la roca *in situ*, así como un montón de escombros extraídos de la cantera, se componían de una arenisca basta, análoga á la arenisca

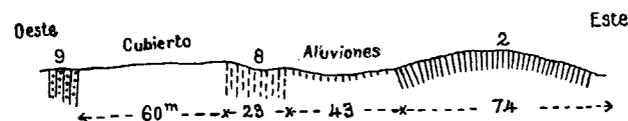


FIGURA 2.º—Perfil de la escarpa de Valla-da-Pedra.

2. Infralias con yesos y ofitas.—8. Kimeridgiense. Arenisca bituminosa alternando con aroillas.—9. Cretáceo medio. Areniscas blancas, bastas. Las capas están unas veces verticales y otras inclinadas hacia el Este.

cretácea de la región; las partes poco coherentes estaban completamente impregnadas de betún, mientras que las que estaban más cimentadas sólo contenían dicha substancia en las grietas. Un obrero me aseguró que el calor del sol hacía exudar la roca cuando se trabajaba en la cantera.

En 1905, el Sr. Oliveira, capataz de minas, dirigió un sondeo para investigación del petróleo, ejecutado por cuenta de una Sociedad cuyo director era el Sr. Mattos. Según el perfil que dicho señor tuvo la amabilidad de remitirme, el sondeo alcanzó 58 metros de profundidad y atravesó cuatro capas bituminosas: á 5,90, 36,30, 53,20 y 54,80 metros; no se pudo profundizar más porque, dada la carencia de entubado, la arena fina cegaba constantemente el taladro.

c) **Viña de José Marques.**—A 600 ó 700 metros al S. SO. de la iglesia de Sismaria, el terreno virgen está oculto por arenas finas, cubiertas, en parte, de pinares. Se trata de arenas arras-tradas por el viento, pero no se puede asegurar si vendrán de

la orilla del Océano, que parece lo más probable, ó si serán, por el contrario, arenas del Plioceno, removidas; sea lo uno ó lo otro, se trata de dunas más ó menos recientes.

Uno de los propietarios, José Marques, al hacer una labor de desfonde para plantar viña, encontró la arena impregnada de betún á 50 centímetros de profundidad; el punto donde tuvo lugar este descubrimiento se encuentra en la línea que, con dirección N. NE. á S. SO., une el yacimiento de betún de Granja al de la iglesia de Sismaria.

En una vereda que linda con la viña en cuestión, hice abrir algunos hoyos, y á 50 centímetros se encontró la arena tan impregnada de betún que presentaba la masa la flexibilidad del cuero; la misma arena contiene bolsadas de betún viscoso que se ve exudar haciendo un hoyo en la arena impregnada. Se trata, pues, de una sobresaturación de dicha arena.

El propietario del terreno me manifestó que la capa de betún tenía 1,50 metros de espesor y que descansaba sobre una caliza blanca; no tuve tiempo de comprobar por mí mismo este hecho, pero dicho señor me enseñó varios trozos de caliza análoga que habían sido arrancados con la piocha, á unos 40 metros al O. del punto donde se encontró el betún, y que no eran otra cosa que placas de caliza infraliásica ó sinemuriense inferior, cuyas grietas estaban llenas de betún.

Para poder apreciar la anchura del criadero mandé abrir dos calicatas más: una á 6 y otra á 14 metros al E. de la primera; el betún apareció á 0,50 metros en la segunda, y á 1,60 metros en la primera.

Se tienen, pues, los siguientes datos respecto al terreno que ocultan las arenas:

1.º Caliza del Sinemuriense inferior con grietas rellenas de betún. Casi al descubierto.

2.º A 40 metros más al E. Capa bituminosa á 0,50 metros de la superficie con espesor de 1,50 metros descansando sobre la caliza.

3.º A 6 metros al E. Capa bituminosa á 1,50 metros de la superficie.

El yacimiento está, de consiguiente, puesto de manifiesto en

una anchura de 14 metros, pero nada prueba que no pueda ser más extenso.

Deducciones.—En la región de Pataias—Monte-Real se encuentra el betún en horizontes geológicos muy diversos, cuales son:

Dunas.—*Viña de José Marques.*

Plioceno.—*Canto d'Azeche.*

Cretáceo.—*Sismaria, Granja.*

Jurásico superior.—*Granja.*

Sinemuriense inferior é Infralias.—*Viña de José Marques, Granja y Canto d'Azeche.*

Este cuadro demuestra que el betún que se encuentra en esta región tiene forzosamente que proceder de la destilación de petróleos situados en profundidad. La prueba más convincente es que el betún impregne la arena de las dunas, porque es evidente que no ha podido llegar hasta ellas procedente de otro terreno superior ó lateral.

Es posible que la capa originaria del petróleo sea la masa de estratos triásicos-infraliásicos, cuyas condiciones de formación son favorables á la acumulación del «Plankton», es decir, las de un estuario en el cual se depositaba yeso, sal y materias sulfuradas.

También es probable que el petróleo sea aún más antiguo, y que proceda, por ejemplo, de la parte superior del terreno permocarbonífero, cuyos afloramientos más cercanos se encuentran en el borde dislocado de la Meseta, entre Agueda y Batão, y á este propósito conviene recordar que en el túnel de Luzo y en Santa Cristina se ha encontrado hulla, y de este último punto se extrajo cantidad suficiente para alimentar un tren entre Coimbra y Oporto. Las capas son allí muy delgadas para permitir una explotación provechosa, lo que se debe, probablemente, á las dislocaciones del borde de la mencionada Meseta. En 1850, Carlos Riveiro, en el deseo de comprobar si existían capas más potentes debajo de la llanura mesozoica, hizo un pozo, continuado después por un sondeo, á 3 millas al O. de Bussaco. Dificultades de orden económico y técnico hicieron suspender los trabajos á 90 metros de profundidad, y desde entonces nadie

ha tenido la iniciativa de hacer investigaciones de esa índole.

Conviene recordar, también, la ley de la repetición de los depósitos de carbón en una misma cuenca, sentada por Marcel Bertrand. Ahora bien; en la región mesozoica de Portugal, existen capas de carbón en la base del Jurásico superior (Buarcos, Valverde); en diferentes niveles del mismo piso (Ourem, Alcobaça, Batalha, Porto-de-Moz), y aun en el Plioceno de esta última localidad y de Leiria.

Volviendo á las investigaciones de petróleo, haremos notar que las capas del Plioceno impiden que se pueda formar juicio exacto de la tectónica del subsuelo; una investigación sistemática, debería, pues, comenzar por sondeos de corta profundidad que permitiesen reconocer el régimen de los estratos debajo de las capas pliocenas.

Es difícil igualmente formular una opinión acerca del régimen subterráneo de los asomos offíticos. En ciertos puntos es lo más probable que formen lacolitos que se vayan ensanchando á medida que se profundice, pero en la región de Monte-Redondo la alineación de los distintos asomos hace suponer que la roca offítica ha hecho erupción aprovechando una falla preexistente; sin embargo, no debe deducirse de aquí que dicha roca forme una masa continua, porque podría ocurrir que se tratara de una masa extrusiva análoga á la aguja terminal de la Montagne Pelée. De cualquier modo que sea, cabe asegurar que la dirección de la línea de asomos offíticos es paralela á la que siguen las manifestaciones de petróleo.

Otra cuestión que hay que resolver es saber si se deben efectuar los sondeos cerca de estas manifestaciones, ó si es preferible alejarse de ellas ante el temor de que los depósitos subterráneos se hayan agotado en esos puntos, y también cabe preguntar si sería conveniente alejarse del eje del anticlinal y hacer los sondeos en el flanco oriental, aun cuando no se hayan visto hasta ahora en este punto manifestaciones de petróleo. Lo que está fuera de duda es que el petróleo existe en profundidad, y como las condiciones orográficas no son apropiadas para que el petróleo pueda subir por sí solo á la superficie, habría que extraerlo con bombas de las capas donde se encontrara.

Las manifestaciones de Granja y de la viña de Marques demuestran que la emisión ha tenido lugar, bien en el mismo borde del área tifónica, bien á poca distancia de la misma. En la primera de estas localidades, los estratos están levantados hasta la vertical, pero es probable que esta verticalidad no continúe en profundidad, porque las muchas dislocaciones del interior de las áreas tifónicas demuestran que los estratos han resbalado más ó menos horizontalmente sobre el terreno triásico, que constituye una base de menos solidez.

C.—Región de Torres-Vedras.

I. Examen geológico de la región.

Los terrenos que asoman en esta región son los indicados en el adjunto cuadro, que demuestra, además, el espesor aproximado de los mismos, medido en los afloramientos más próximos. Los que no afloran en los límites de la región se observará que tienen espesores muy distintos de los indicados para esos mismos terrenos en la región de Monte-Real.

DENOMINACIÓN	CARACTERES LITOLÓGICOS	PUNTO DE OBSERVACIÓN	ESPESOR APROXIMADO
Cretáceo inferior.....	Areniscas claras, con arcillas y conglomerados.....	Torres-Vedras..	,
Kimeridgiense.....	Areniscas margosas de gran espesor.....	—	,
Coralino de Amaral.....	Calizas oolíticas y areniscas en bancos gruesos.....	—	10 m.
Nivel de Abadía.....	Arcillas gris oscuras, con bancos de areniscas, impregnadas á veces de betún.....	—	800 m.
Calizas compactas.....	Petróleo en las grietas y en las geodas.	—	500 m.
Calizas pizarreñas oxfordienses.	Calizas en lechos delgados y capitas bituminosas.....	Montejunto.....	200 m.
Calloviense.....	Calizas un poco arcillosas.....	—	500 m.
Bajociense y Bathoniense.....	Calizas compactas.....	Cesareda.....	? 350 m.
Lias medio y superior.....	Margas y calizas.....	Peniche.....	? 200 m.
Lias inferior.....	Calizas dolomíticas.....	Thomar.....	? 200 m.
Infralias.....	Dolomias arcillosas, areniscas y margas rojas.....	—	? 100 m.
Triásico.....	Areniscas.....	—	,

Tectónica, rocas eruptivas, fuentes termales.—El rasgo que más caracteriza á la región de Torres-Vedras es el anticlinal de Montejunto, que comienza en las proximidades de Cercal y llega, con dirección al S. SO., hasta las orillas del Océano.

El punto culminante de este anticlinal (666 metros) es un núcleo de Jurásico medio (Bathonense y Calloviense), de reducidas dimensiones, limitado, por el N., por una falla. Las capas que forman la montaña son las más modernas; las más antiguas sólo asoman en las inmediaciones del área tífónica de Matacães.

El extremo Nordeste de la montaña presenta la forma de una bóveda cubierta por las calizas del Jurásico superior, mientras que el extremo Sudoeste está más hundido y las calizas quedan cubiertas, á su vez, por las capas de Abadía.

Al mismo tiempo, la bóveda se divide en dos anticlinales contiguos: el del E. se pierde pronto, quedando reemplazado por la cuenca de hundimiento de Runa, mientras que el del O. da origen al área tífónica de Matacães. Esta área presenta la composición indicada en el perfil esquemático de las áreas tífónicas, con la excepción de que las rocas eruptivas no forman en ésta chimeneas, sino filones, y de que tampoco brotan en ella fuentes sulfurosas, si bien abundan los manantiales salados.

El área en cuestión está limitada, por el SO., por el macizo de caliza lusitaniense de Cabaço, cortado por varias fallas que se cruzan, y en las que asoman rocas eruptivas (ortofiros); este macizo está coronado por el Jurásico superior, cuyos estratos se suceden con toda regularidad por el S. y por el O., en tanto que, por el N., el piso de Abadía parece buzar por debajo de las calizas.

Grietas.—Todas estas dislocaciones han originado infinidad de grietas, unas de pequeñas dimensiones, otras bastante largas y anchas. Las aguas que circulan por las calizas han rellenado todas estas grietas con calcita, que unas veces forma delgadas laminillas, y otras masas bastante importantes para haber merecido su explotación con destino á las fábricas de vidrio.

Rocas eruptivas.—Toda la región de Torres-Vedras está cruzada por filones de rocas ofíticas y basálticas, viéndose, además, grandes asomos de estas últimas en la cuenca de Runa y un poco

más al S. Estos asomos son en parte filones y en parte restos del manto basáltico comprendido entre el Cretáceo y el Terciario. Los filones eruptivos no deben ser considerados como la causa de las dislocaciones; por el contrario, las erupciones se han producido siguiendo grietas preexistentes.

Fuentes termales.—Las fuentes termales de Cucos están también en íntima relación con las grietas producidas por las dislocaciones. Su mineralización se debe, principalmente, al cloruro de sodio (sal de cocina) y al sulfato de cal (yeso). Su temperatura es variable, siendo la máxima de 40°. Las principales nacen en el cruce de la falla que limita la colina de Cabrito, por el Sur, con la que atraviesa la colina de Cucos, mientras que otra brota en el flanco occidental de esta colina, frente a la Quinta das Fontainhas. Esta última está muy próxima al sondeo número 1 de la Companhia Portuguesa, que encontró agua muy parecida tanto por su composición como por la temperatura; su gran riqueza en cloruro de sodio (2 y medio gramos por litro), se debe, probablemente, al Trias.

II. Estudio de los estratos que presentan indicios de petróleo.

En el borde del área tifónica, existen indicios de betún en la falla que limita al Infralías cerca de Matacães, pero las manifestaciones más importantes se encuentran fuera del área, en las calizas y en las pizarras lusitanienses que la limitan por el O.

Se encuentra también betún en las pizarras oxfordienses, en los lechos pizarreños intercalados en las calizas compactas, en las oquedades de estas calizas y, fuera ya de ellas, en las areniscas del horizonte de Abadía y en las calizas y areniscas que lo coronan.

a) Calizas y pizarras oxfordienses.—En Montejunto, la base del Jurásico superior (enteramente descubierto), está formada por delgados lechos de la caliza y placas hojosas de unos 200 metros de espesor; mientras más delgadas son las hojas más bituminosa es la roca, pero dichas hojas componen sólo una pequeña parte del espesor total.

b) Pizarras bituminosas intercaladas en las calizas, en

246

Cabaço.—La parte superior de las pizarras oxfordienses bituminosas aflora en la orilla derecha del Sizandro, aguas abajo del molino hidráulico de Cabaço; se explotaron como asfalto hace unos treinta años. La cantera, visible aún, tiene dimensiones reducidas. Estas pizarras forman un anticlinal, cortado, por la parte de Levante, por una falla que pone a las pizarras bituminosas en contacto con el horizonte de Abadía.

En la misma caliza oxfordiense existen otros dos niveles de pizarras bituminosas. El espesor normal de las calizas, entre los niveles 1.º y 2.º, es de 125 metros, y de 150 entre los otros dos. En las tres series de capas se han hecho calicatas, pero sólo la primera contiene bastante betún para ser considerada como yacimiento de asfalto.

Las calizas compactas que cubren a las pizarras oxfordienses buzan 25° al S. SO., en tanto que las pizarras presentan diversas ondulaciones, lo cual se debe, á mi juicio, á que, por el peso que soportan, parte del betún se ha desplazado lentamente, y, en consecuencia, las pizarras han experimentado una reducción de volumen.

c) Petróleo contenido en las cavidades de la caliza.—Las calizas compactas presentan muchas fisuras tapizadas con cristales de calcita, que unas veces rellenan las fisuras por completo y otras dejan un hueco ocupado por betún sólido.

Las canteras situadas á lo largo de la vía férrea, hasta 1.500 metros al E. del túnel de Cabrito, contienen cavidades ó drusas

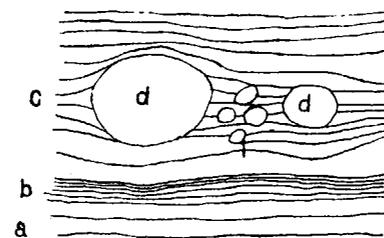


FIGURA 3.ª.—Masas coralinas en las pizarras bituminosas.

a) Calizas en bancos gruesos.—b) Capas foliáceas que destilan petróleo líquido.

c) Calizas grises, en bancos más ó menos delgados.—d) Masas de caliza blanca, con cavidades que exhuden petróleo.

tapizadas también con cristales de calcita, pero cuyo centro está relleno por un hidrocarburo líquido de color de petróleo que se vuelve viscoso y negruzco cuando lleva unos días en contacto con el aire.

Cuando se estaba construyendo la línea férrea se podía observar el corte adjunto, encima de la boca oriental del túnel de Cabrito.

Estas calizas blancas contienen algunos fósiles: *Nerineas*, *erizos*, *políperos*, etc., y son, por consiguiente, de origen coralino.

En el interior del túnel, á 20 metros de la boca de levante, goteaba el petróleo por las juntas de los mampuestos del revestimiento y con facilidad se llenaba una botella.

En 1902 y en 1911 volví á observar el mismo fenómeno aunque ya en menor proporción. Sin embargo, ha durado más de un cuarto de siglo, á pesar de que el terreno apenas mide 40 metros de espesor sobre la bóveda del túnel.

d) Areniscas bituminosas del horizonte de Abadía y del Coralino de Amaral.—Entre las calizas compactas de Cabaço y las del Coralino de Amaral se encuentra una serie de capas alternantes de arcillas más ó menos arcillosas, que forman un conjunto poco consistente en el que las aguas meteóricas han excavado valles bastante profundos. Su espesor total es de 800 metros en Abadía.

Las margas son micáceas, de color gris oscuro, que se vuelve amarillo cuando llevan mucho tiempo en contacto con el aire. Las areniscas son también micáceas, de grano fino, con cemento arcilloso-calizo y pasan á veces á calizas arenáceas. Contienen pequeños lentejones de azabache.

El *Coralino de Amaral* está formado, en la base, por bancadas de areniscas en bancos gruesos, coronadas por calizas más ó menos oolíticas, muy duras á veces, pero que se diferencian mucho de las calizas de Cabaço. Este terreno se ha explotado en Fontainhas y al O. de Torres, en la orilla derecha del Sizandro.

Las areniscas arcillosas contienen en algunos puntos betún. El banco bituminoso más inferior que he tenido ocasión de observar forma una arista sobre la que descansa el Casal da Portella; otro banco análogo cruza el camino de Serrada-Villa, pero

los más potentes son los que preceden al *Coralino de Amaral*. Las emanaciones observadas en el sondeo de Conquinhas demuestran que existen otros bancos bituminosos á más bajo nivel.

La senda que enlaza los pueblos de Torres y Charrinho, cruza, antes de llegar á la que conduce á la cota 125, unos lechos alternantes de arcillas y areniscas que sólo tienen de 1 á 2 centímetros de espesor. Estas areniscas están impregnadas de betún, en tanto que las arcillas no lo están.

Un poco más arriba, la vertiente por donde va la senda está formada por un banco potente de arenisca bituminosa. Esta arenisca es muy fina, arcillosa, y contiene pequeñas bivalvas marinas (entre otras, *ostras* de pequeño tamaño), y algunos restos vegetales.

En la superficie, la arenisca es gris ó gris verdoso claro, con mucha mica, pero en profundidad es parda. Las fracturas pierden el color pardo al cabo de poco tiempo, de suerte que no se advierte la presencia del betún. El olor á petróleo que despiden en verano, así como los rezumamientos de aceite mineral, es lo que atrajo la atención de los labradores del país.

A 100 ó 200 metros de la bifurcación de los caminos indicados se encuentra una brecha formada por trozos de arenisca, de arcillas y de nódulos de arcilla ferruginosa que apenas tiene fósiles; las areniscas son las únicas rocas de la brecha que contienen betún.

Un poco más lejos aparece un lentejón grande de arenisca dura, de 1,50 metros de espesor, que durante el verano gotea petróleo. Picando la roca se ve que es parda en su interior, salvo en la parte alta, donde el cemento es demasiado compacto para que aquélla haya podido impregnarse de petróleo.

Esta faja bituminosa empieza hacia la cota 104 y llega hasta 300 metros al S. del Casal da Portella; tiene, por lo tanto, 1.400 metros de longitud, aunque en parte está desnuda. 300 metros más al S. asoma un banco bituminoso que parece ser continuación de aquella faja y que tiene una longitud de 250 metros. Esta nueva faja está separada, por un valle, de los afloramientos del Coralino de Amaral, que forma la meseta en que se asienta Vatojo.

En la base de estas calizas se encuentran dos bancos de arenisca bituminosa, de los cuales el superior tiene entre 2 y 8 metros de espesor. Pertenecen á la misma capa que los de la faja Portella-cota 104, de la que están separados por una falla y un valle de denudación.

Por debajo de la capilla de San Antonio asoma un banco de arenisca bituminosa, separado de otro más potente por algunos bancos de caliza.

Estas areniscas aparecen aún más al descubierto por debajo de las casas del extremo NE. del pueblo de Varatojo. Este yacimiento está descrito en el capítulo siguiente: por el momento, me limitaré á consignar que la misma escarpa, en su prolongación hacia el S., no contiene areniscas bituminosas; en cambio, cerca de la Granja de Espirito-Santo se ven rocas de esta clase á un nivel superior al Coralino.

Por indicación mfa se han hecho investigaciones en el valle de Abadía (6 kilómetros al E. de Torres-Vedras). Los bancos de arenisca son tan frecuentes como en el valle de Barro, pero únicamente se les ha encontrado impregnados de betún á 700 metros al S. SO. de la aldea de Abadía, hacia la mitad de la formación, y en varios puntos situados tanto al E. como al NE. de la Granja de Bispo, en un nivel superior al Coralino de Amaral, como ocurre cerca del cortijo de Espirito-Santo. Una gran falla pasa al O. de Bispo.

III. Origen de los hidrocarburos observados en la región de Torres-Vedras.

1. Pizarras oxfordienses.—Ciertas pizarras, las del Lias por ejemplo, son bituminosas en todos los países donde se presentan, y no es posible negar que el betún que contienen procede de la descomposición de los animales pequeños de que están casi exclusivamente formadas y que son perfectamente visibles á simple vista. En otros casos los organismos que dieron origen al petróleo han sido completamente destruídos.

El examen microscópico de las pizarras oxfordienses del Montejunto y de Cabaço, sólo revela la presencia de un lodo con

restos vegetales muy menudos; por consiguiente, no permite resolver la cuestión de si el betún se ha producido en su seno, ó si forma en ellas un yacimiento secundario. El único dato que podría inclinarnos á admitir la primera hipótesis es la distancia relativamente grande (20 kilómetros) que separa á los dos afloramientos, únicos que existen. Lo mismo ocurre con los lechos de pizarras bituminosas intercalados en las calizas compactas.

2. Masas coralinas en las calizas compactas.—Los fósiles escasean demasiado en estas calizas para que pueda atribuirse á ellos la producción de la cantidad relativamente grande de petróleo que contienen, siendo también de notar que el petróleo no impregna nunca las oquedades y grietas de la roca. Otra prueba de que el petróleo no se ha formado en las calizas que nos ocupan es que, en Portugal y en otros países, se encuentran calizas coralinas incomparablemente más ricas en fósiles, hasta el punto de tocarse unos con otros en toda la masa de la roca, y que, sin embargo, conservan su color blanco por no haber sido impregnadas nunca por petróleo.

Además, si no hubiese más petróleo que el formado en las calizas, ¿cómo se explicaría el hecho de que en el túnel no haya cesado el rezumamiento de dicha substancia en treinta años, cuando el espesor de las calizas sobre la bóveda apenas llega á 40 metros, y á 150 la anchura de la colina?

La teoría de la formación del petróleo en los bancos coralinos ha sido casi desechada. El asfalto de Val-de-Travers (Cantón de Neuchâtel, Suiza), pasaba por ser una de las mejores pruebas de esta teoría, y en 1910, Mr. H. Schardt, profesor entonces de la Universidad de Neuchâtel, demostró, en una sesión de la Sociedad geológica suiza, que la presencia de asfalto en esta región está siempre en relación íntima con las fallas, por las cuales ha penetrado el petróleo en los bancos de Rudistos.

3. Grietas en las calizas compactas.—Aquí no cabe duda de que el betún que llena dichas grietas forma un yacimiento secundario, que puede tener su origen, bien en terrenos más profundos, bien en las pizarras bituminosas.

4. Areniscas bituminosas del horizonte de Abadía y del Coralino de Amaral.—Estas areniscas son muy pobres en restos fó-

siles, tanto animales como vegetales; su textura y, sobre todo, el reducido espesor de algunos de los estratos (2 á 3 centímetros), no parecen compatibles con la hipótesis de haberse formado en ellas el petróleo.

El examen de estos yacimientos demuestra que el betún se ha depositado cerca de las juntas. En el camino que pasa por debajo del Casal de Portella (fig. 4.^a), se ven bancos de arenisca que están impregnadas de betún, salvo en las partes demasiado duras.

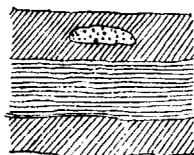


FIGURA 4.^a—Camino inmediato á Portella.



FIGURA 5.^a—San Antonio.

Areniscas impregnadas en parte por el betún.

Explicación: Trazos horizontales = arcilla. — Puntos = arenisca no bituminosa.
Trazos oblicuos = areniscas impregnadas de betún.

El yacimiento se presenta más interesante aún por debajo de la capilla de San Antonio (fig. 5.^a) y en la escarpa que corre bajo las casas de la parte septentrional de Varatojo (fig. 6.^a).

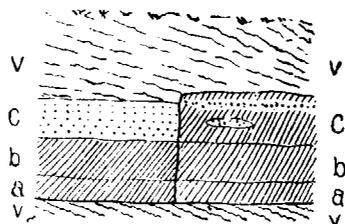


FIGURA 6.^a—Arenisca de la base del Coralino de Amaral, impregnada de betún, en la escarpa situada bajo las casas del extremo NE. de Varatojo.

a) Arenisca muy bituminosa mezclada con pequeños núcleos de arcilla amarilla, 0,40 metros. — b) Arenisca muy bituminosa, 0,80 metros. — c) (parte de la derecha). Arenisca menos bituminosa con capitas y lentejones no impregnados de dicha substancia — c') (parte de la izquierda) Arenisca no bituminosa. — d, d') Terreno vegetal y derrubios. — La grieta vertical que atraviesa estas areniscas no ha producido salto en las capas.

Este potente banco de arenisca aparece bien al descubierto en la colina de Fontainhas (NE. de Torres), donde presenta los mismos caracteres litológicos, pero sin contener betún.

En las colinas formadas por el Coralino de Amaral, al NE. de Serrada-Villa, no afloran areniscas, y lo mismo ocurre en el molino de Parafuja.

A juzgar por las observaciones hechas hasta la fecha, la impregnación de la arenisca por el betún ha tenido lugar principalmente entre Varatojo y el Casal-da-Rosa (N. de Serra-da-Villa), es decir, á lo largo de una línea dirigida de N. NO. á S. SE., de 2.200 metros de longitud. Su anchura no puede calcularse puesto que las areniscas buzan por debajo de los estratos más modernos, pero, hacia el N., pueden observarse areniscas bituminosas al N. de Varatojo, hasta cerca del Sizandro. La presencia de azabache en las capas de arenisca intercaladas entre los bancos de arcillas, permite suponer la formación de los hidrocarburos en el horizonte de Abadía, y parece confirmar esta suposición la presencia de dichos hidrocarburos en el valle de Abadía; pero, por otra parte, la manera de estar distribuido el betún en los principales yacimientos demuestra que el que contienen las areniscas procede de una destilación del petróleo.

Ahora bien; ¿se trata de la destilación del petróleo formado en estas mismas capas, ó el yacimiento primitivo de dicho producto es el mismo que el del que contienen las calizas?

Como conclusiones de este capítulo, diremos que es posible que las pizarras oxfordienses y el horizonte de Abadía constituyan yacimientos primarios, pero esto no puede afirmarse, porque pueden también haber servido de depósito al petróleo procedente de capas más antiguas, y encontrarse en aquéllas el betún, de preferencia en las cercanías de las fallas.

En cuanto á los restantes yacimientos, parece más bien que son secundarios, y en este caso el petróleo que contienen podría proceder de las pizarras oxfordienses ó haberse impregnado, al mismo tiempo que estas últimas, de petróleo de origen más antiguo. Esta emigración del aceite parece continuar en la actualidad. Para la investigación del petróleo es preciso tener presente estas diferentes posibilidades.

Es hasta cierto punto inadmisibile la posibilidad de que el betún encontrado en esta región tan pequeña se haya formado en diversas épocas, por efecto de la repetición de las mismas condi-

ciones, tanto más cuanto que en otros puntos próximos á ella no se ha encontrado petróleo á pesar de tener las capas composición idéntica. Es más razonable admitir un mismo origen para todas las manifestaciones petrolíferas, y, desde luego, puede considerarse cierta la identidad de origen para el petróleo contenido en los distintos niveles de calizas.

IV. Investigación del petróleo en profundidad.

Admitimos como indiscutible la existencia del petróleo en profundidad: la dificultad está en averiguar los puntos en que se encuentra, porque se trata de una región petrolífera nueva, de condiciones tectónicas especiales que no se asemeja á las de ninguna de las ya conocidas.

Las distintas hipótesis que se pueden emitir acerca del yacimiento primario del petróleo son las siguientes:

1.^a Que todos los yacimientos descritos sean yacimientos secundarios, y que, por lo tanto, el petróleo proceda de terrenos más antiguos que los mesozoicos. En este caso, puede ocurrir que exista un depósito importante en las *areniscas del Trias* si estas areniscas no están reemplazadas por las margas rojas del área tifónica, lo cual puede averiguarse con un sondeo.

2.^a Que el Trias constituya el yacimiento primario.

3.^a Que el yacimiento primario del petróleo sean las pizarras oxfordienses.

4.^a Que el betún de las capas de Abadía no tenga el mismo origen que el de las calizas, sino que se haya formado en estas pizarras, lo cual no está demostrado, pero, dado el gran espesor de aquellas capas, la investigación del petróleo en ellas debe considerarse como cuestión independiente de la investigación en general.

1 y 2. Investigación del petróleo en el Triásico.—Esta cuestión está íntimamente ligada á otra que aún no está resuelta, á saber: la estructura de las áreas tifónicas.

a) Lo más lógico sería comenzar por un sondeo emboquillado en las margas rojas del área tifónica, que pondría de manifiesto si las areniscas triásicas existen debajo de las margas rojas,

como ocurre entre Thomar, Coimbra y Abadía. Para no alejarse mucho de las manifestaciones superficiales de petróleo se podría situar dicho sondeo cerca de Mãchea.

b) A lo expuesto en el párrafo anterior se podría objetar que las margas rojas, por lo muy dislocadas que están, no protegen suficientemente el depósito de petróleo, y que sería, por lo tanto, preferible atravesar una parte de las calizas antes de cortar las margas.

Esta consideración nos pone en presencia de otra incógnita: ¿el área tifónica se prolonga por debajo de la colina de Cucos?

Si los flancos del área tifónica están formados por la serie completa de capas más modernas, el coste de un sondeo que pudiese atravesarla y cortar el Trias sería enorme.

c) Es muy posible, casi probable, que los terrenos que forman los flancos del área tifónica no alcancen mucha profundidad, sino que, por efecto del resbalamiento producido por un empuje lateral, dichos terrenos descansen sobre las margas infra-liásicas, como ocurre con algunos retazos del Jurásico superior que se encuentran en el interior de dichas áreas, en Cesareda y cerca de Leiria. En este caso, parece lo más indicado intentar alcanzar el depósito de petróleo atravesando parte de la caliza. Para ello haría falta colocarse, bien en los flancos de la colina de Cucos, bien hacia Boiaca, si por el sondeo núm. 2 (Cabrito) se ve que conviene situarse más cerca del área tifónica.

3. Investigación en las pizarras oxfordienses.—Estas pizarras no afloran con todo su espesor más que en Montejunto; en Cabaço no se ve más que el techo de la formación, y es muy posible que de un punto á otro su espesor varíe bastante. Los dos sondeos que describiremos más adelante la han atravesado.

3 bis. Un sondeo emboquillado en las calizas puede cortar una grieta que esté en comunicacion con el depósito de petróleo.—A este propósito voy á transcribir algunos párrafos de la obra clásica de MM. Fuchs y de Launay, profesores de la Escuela de Minas de París.

«Para que en una región existan yacimientos importantes de petróleo es necesario que en ella se hayan producido plegamientos energicos que hayan dado origen, á su vez, á fracturas bien

marcadas y sencillas, por las que puedan afluir grandes cantidades de hidrocarburos, y que existan, además, capas permeables, homogéneas y continuas para almacenarlos.» (*Tratado de los yacimientos minerales y metallíferos*, t. I, pág. 147.)

«Se ha defendido unas veces que el petróleo habría que buscarlo en los sinclinales (idea poco compatible con las grandes presiones á que de ordinario está sometido); otras, por el contrario, que en los anticlinales, donde, por efecto de las fracturas, se debe acumular de preferencia. Los partidarios de ambas teorías apoyan sus opiniones en hechos experimentales, pero hoy por hoy lo único que puede afirmarse es que los flancos inclinados de los pliegues son las zonas menos favorables para las acumulaciones de petróleo.» (*Idem*, pág. 80.)

La región Cabreira-Cabaços se encuentra, considerada en conjunto, en el anticlinal de la cordillera del Montejunto, y las emanaciones de petróleo tienen lugar, próximamente, á ambos lados de una de las fallas principales de esta región, falla que pasa por las fuentes termales y se prolonga por el pequeño valle que separa la colina de Cabrito de la de Cabaço.

Esta falla no es, ciertamente, sencilla, sino que está en conexión con pequeñas fallas secundarias, pero ¿qué fallas hay en las que no ocurra esto?

El sondeo núm. 2 está, pues, en las condiciones indicadas por MM. Fuschs y de Launay. Si la serie de estratos no está aquí completa, es decir, si el Infralías del área tifónica continúa por debajo de las calizas á una profundidad razonable, este sondeo llegará al Trias, atravesando las pizarras bituminosas oxfordien-ses, y, al mismo tiempo, está en condiciones de cortar grietas.

4. Descripción de los dos sondeos hechos en las calizas.—

Una Sociedad portuguesa (1) ha hecho dos sondeos en las calizas colocándolos todo lo cerca de las manifestaciones superficiales de petróleo que permitieron las consideraciones de propiedad del terreno. Se podía esperar que con ellos se alcanzara la masa de estratos triásicos-infraliásicos.

(1) Aprovecho esta ocasión para dar las gracias á los directores de la Companhia Petrolifera Portuguesa por su amabilidad al permitirme publicar datos de sus trabajos y para felicitar á la Sociedad por su perseverancia.

El primer sondeo se instaló, no en el anticlinal ó, lo que es lo mismo, sobre los bancos calizos más antiguos, sino fuera del núcleo, sobre el techo de las calizas y, desgraciadamente, al pie de una falla ó inflexión, de suerte que cortó las calizas al sesgo, aumentando considerablemente el espesor.

Este sondeo, el más profundo que se ha hecho en Portugal, emboquillado frente á la Quinta das Fontainhas, ha llegado ya á 723 metros, atravesando un terreno irregular, probablemente una falla.

En los 430 metros primeros atravesó calizas arcillosas más ó menos oscuras que despedían fuerte olor á petróleo; este olor desapareció cuando se empezó á cortar las calizas blancas; éstas continuaron hasta los 565 metros, donde de nuevo se cortaron calizas grises aunque sin olor á petróleo.

El ingeniero Mr. A. Alves da Veiga, que dirigió este sondeo, me ha facilitado los datos siguientes acerca de los terrenos atravesados:

0 á 15 metros.	Aluviones.
15 á 123	» Calizas más ó menos arcillosas, cuya coloración se hacía más oscura á medida que se profundizaba.
123 á 160	» Calizas muy arcillosas, de color claro, cuya proporción de arcilla disminuía á medida de la profundización, haciéndose más oscuras.
160 á 245	» Calizas duras, de matices variados.
245 á 258	» Areniscas ó arenas calíferas tiernas.
258 á 310	» Calizas más ó menos duras y más ó menos oscuras.
310 á 390	» Idem, más arcillosas y más oscuras.
390 á 400	» Pizarras arcillosas muy oscuras.
400 á 430	» Caliza dura, tránsito á caliza blanca.
430 á 565	» Caliza blanca ó de color claro, bastante dura, y arcillosa en la base.
565 á 645	» Caliza oscura, y después caliza de diversos colores y dureza variable.
645 á 685	» Caliza arcillosa muy oscura.

685 á 722,80 metros. Zona poco consistente, difícil de atravesar, y en la que la cuchara de limpieza nunca extraía lodos, sino detritus de caliza, arcilla y calcita. Falla?

Hasta los 430 metros, los lodos extraídos del sondeo tenían olor más ó menos intenso á petróleo y contenían inclusiones de aceite mineral de color pardo negruzco en distintos niveles, sobre todo á los 61, 83, 102, 178, 214 á 235, 258 á 262 y 370 metros.

El agua, que tiene una temperatura de 34 á 36°, sube en estiaje hasta cerca del suelo, y desborda en invierno, dando un caudal de 38 m³ por día. En su superficie se observa una capa aceitosa que, recogida cuando desborda, resulta ser de un hidrocarburo análogo al de las canteras, que se vuelve viscoso y negro al contacto del aire.

El agua termal es análoga á las que se utilizan en los baños de Cucos (1), cloruradas, sódicas, bicarbonatadas, sulfatadas y litínicas.

Su análisis ha dado el siguiente resultado:

Residuo á 150°.....	3.220 gramos.
Pérdida al fuego.....	0.076 »
Cloruros (en Cl).....	1.580 »
Sulfatos (en SO ₃).....	0.276 »
Sales de calcio (en CaO).....	0.220 »
» de magnesio (en MgO).....	0.064 »
» de hierro.....	en suspensión.
Acidos nítrico y nítrico.....	nada.
Nitrógeno amoniacal y albuminoide...	indicios.
SH ₂	nada.
Etcétera.	

No da color al ácido paradiázobenzolsulfúrico.

Abandonado el sondeo núm. 1, se comenzó el núm. 2, en el

(1) Mr. Ch. Lepierre ha analizado el agua de las cuatro fuentes utilizadas en el establecimiento (*Thermas dos Cucos. Analyse das aguas*. En 8.º, 15 págs. Lisboa, 1896). El cloro varía entre 1,05 y 1,57 por 1.000 gramos, y el residuo á 180°, de 2,25 á 3,18 gramos.

anticlinal, cerca de la boca de Levante del túnel de Cabrito. Está emboquillado en un horizonte geológico inferior al del primero, si bien algunas consideraciones de orden técnico y de propiedad no han permitido situarlo en el eje de la bóveda, lo que hubiese ofrecido la ventaja de atravesar los estratos en posición horizontal, mientras que en el punto elegido buzan 33° y se está cerca de una falla. Su boca está á 37 metros de altitud, esto es, unos 9 metros por debajo de la del sondeo núm. 1.

Mr. Alves da Veiga ha tenido la amabilidad de comunicarme los datos siguientes:

Aluviones	2,60 metros.
Calizas de matices y dureza variables...	2,60 á 65 metros.
Calizas más arcillosas y más oscuras...	65 á 106 »
Calizas muy duras, arenosas.....	106 á 122 »
Calizas más ó menos duras, á veces arcillosas.....	122 á 269 »
Calizas muy claras.	

Este sondeo se paró en Febrero de 1912, á la profundidad de 363 metros, á causa de un accidente ocurrido á la sonda.

El olor á aceite mineral se manifestó especialmente á las profundidades de 11,63, 67,94 y 160 metros. Cesó á los 269 metros, cuando apareció la caliza blanca.

Como estos sondeos se han hecho con trépano, no se han obtenido muestras de las capas que se han atravesado, y sólo han salido de vez en cuando algunos fragmentos de caliza entre el lodo, al limpiar los taladros; aunque esas pequeñas muestras han sido cuidadosamente conservadas por Mr. Alves da Veiga, no he podido sacar ninguna consecuencia interesante de su examen. Este confirma el hallazgo de arena silícea, fina, á 258 metros en el primer pozo y á 122 en el segundo, y la existencia de calizas blancas á 130 metros, debajo de la arenisca, en el primero y á 140 metros en el segundo. Un trozo de caliza procedente del segundo sondeo es compacto, con fractura astillosa, y no permite por su aspecto asegurar si pertenece al Bathoniense, toda vez que también se encuentran calizas blancas, aunque ello

constituya una excepción, en el Lusitaniense y en el Calloviense; no se puede, por lo tanto, asegurar que el Bathoniense se encuentre á esa profundidad, cosa que, por otra parte, me parece poco probable si se compara el espesor de los terrenos atravesados con los del Lusitaniense y el Calloviense en el Montejunto.

Lo que parece fuera de duda es que se ha atravesado toda la serie de calizas pizarreñas oxfordienses, y si las manifestaciones de hidrocarburos se han limitado al olor despedido por los lodos y al petróleo acarreado por el agua, es debido á que, por lo visto, aquél sólo existe en pequeña cantidad, ó á que es impelido lateralmente por la presión del agua subterránea.

La posición del sondeo núm. 1 era tal que no se podía esperar que alcanzara el terreno triásico; y el núm. 2 no ha avanzado lo bastante para dilucidar si el área tifónica continúa por debajo de las calizas.

5. Deducciones sacadas de la calidad del petróleo.—Sólo conozco un análisis hecho por Mr. Neuberger de una muestra tomada en el túnel. Es como sigue:

Aceites ligeros y pérdidas.....	2,80	en volumen %
» lampantes.....	24,00	»
» lubricantes.....	31,20	»
» parafinados.....	16,00	»
Mazut y residuo.....	26,00	»

En un artículo de periódico se ha dicho que el petróleo portugués, sobre todo el de Torres, es un aceite pesado, más á propósito para la calefacción que para el alumbrado, pero yo creo que este aserto es prematuro, porque sólo se conoce un producto oxidado, bien distinto, seguramente, del que se puede encontrar en profundidad. Esta opinión la comparte también Mr. Neuberger. Recordemos aquí lo dicho por Höffer: «El petróleo se transforma por oxidación y evaporación en betún, en asfalto y, por último, en asfaltita.»

6. Investigación en las capas de Abadía (margas y areniscas).—Puesto que los estratos buzan al O., es preciso colocarse al O. de los afloramientos de areniscas bituminosas para cortar

á estas rocas á profundidad suficiente para que el petróleo no se haya transformado en betún por la acción de los agentes atmosféricos.

En este conjunto de capas se han hecho dos sondeos por otras tantas sociedades inglesas.

El primero, abierto al NE. del Casal-do-Repellão, tenía indudablemente por objeto cortar las areniscas bituminosas, pero tal como fué situado es posible que las areniscas quedaran encima, ó, al menos, que las cortara muy cerca de la superficie, donde los hidrocarburos, en su mayor parte, se han evaporado ó transformado en betún.

Este sondeo se paró á los 200 metros y está ya hundido.

El segundo sondeo, situado al S. de la Quinta-das-Conquinhas, tenía por objeto cortar el punto culminante de las calizas, que por su naturaleza (margas mezcladas con calizas de textura arriñonada) son aptas para almacenar el petróleo. Se emboquilló en las capas de Abadía, cerca del arroyo, á fin de no tener que transportar agua para la alimentación de la caldera.

Es posible que para calcular la profundidad que debía alcanzar este sondeo se tomara como base el ángulo de buzamiento (20°) de uno de los bancos de la arenisca bituminosa. Lo importante, sin embargo, era observar las inclinaciones de los estratos comprendidos entre el afloramiento de aquellas rocas y el techo de las calizas. El buzamiento de este último es por término medio de 25°, lo mismo que el de las margas que le siguen hasta el vértice de la colina. El terreno está muy cubierto entre este punto y el pozo, pero en el camino que va de Torres-Vedras á Louriceira se miden buzamientos hasta de 38°.

Todo el que ha tratado de medir el buzamiento de estratos á lo largo de una línea dada, sabe cuán difícil es hallar la media; además, en un terreno cubierto puede haber pequeñas variaciones que modifiquen los cálculos, pero en el caso presente el ángulo medio de buzamiento es mayor de 20°, y, á pesar de la escasez de puntos en que poder hacer observaciones, hay que contar, por lo menos, con un espesor de 800 metros de terrenos que perforar.

La compañía inglesa profundizó este sondeo hasta los 480

metros, en que abandonó la contrata á consecuencia de que el trépano se quedó preso en el terreno y el arrancarlo exigía gastos de bastante importancia. A esa profundidad ya se habían atravesado varias capas que despedían fuerte olor á petróleo.

Con arreglo al contrato existente entre la compañía citada y la «Sociedade Portuguesa de terrenos petrolíferos», el sondeo abandonado quedó de propiedad de esta última, que logró arrancar el trépano y continuar el sondeo hasta los 518 metros, en que fué parado á causa de otro accidente ocurrido en Diciembre de 1912.

El lodo extraído olía fuertemente á petróleo: conservo dos botellas de agua y de lodo que me enviaron por aquella época, como procedentes de 514 y 518 metros de profundidad; se han abierto en distintas ocasiones, entre otras en la conferencia que di acerca de este asunto en la Asociación de Ingenieros el 12 de Diciembre de 1913, y pudo observar la concurrencia que el olor era aún muy intenso. El lodo es una arcilla muy fina y muy negra, con granos de arena pequeños y escasos que no indican en modo alguno la proximidad de bancos de arenisca. Lo mismo ocurre con dos trozos de arena aglomerada por sesquióxido de hierro que proceden también de la misma profundidad. Este lodo ha conservado el olor á petróleo aún después de seco.

A pesar del fuerte olor á petróleo que despiden las muestras, no creo que se pueda asegurar que este olor anuncie la presencia de un yacimiento importante, pues podría ocurrir que se tratara solamente de estratos más ó menos delgados impregnados de petróleo. En este sondeo no se han hecho agotamientos con bombas, y dada la configuración del terreno no puede asegurarse que el petróleo tenga presión suficiente para subir por sí solo á la superficie.

Haremos notar, por último, que el afloramiento más importante de betún del conjunto de capas arcillo-arenosas, es el de la base del Coralino de Amaral, y para que la sonda lo alcance á una profundidad suficiente para que los agentes atmosféricos no hayan oxidado el petróleo, es necesario emboquillar el sondeo en el Suprajurásico, cosa que no se ha intentado hasta ahora.

CONCLUSIONES REFERENTES A LAS DOS REGIONES

A modo de conclusiones, repetiré lo que dije al comenzar:

La cuestión del petróleo, en general, está aún llena de dudas, y de los datos de la observación directa se pueden sacar, las más de las veces, argumentos en favor de teorías diametralmente opuestas.

En cuanto á Portugal, se puede hacer el siguiente resumen:

1.º *¿Se han formado depósitos de petróleo en el subsuelo de las regiones mesozoicas de Portugal?*

Los hechos responden de un modo completamente afirmativo: en Cucos, tanto por el relleno de las grietas por el betún como por la delgada capa de aceite que se renueva sin cesar en la superficie del agua del sondeo núm. 1; en Bismaria, por la saturación de arenas recientes.

2.º *¿Cuál es la capa originaria del petróleo?*

Los afloramientos de Monte-Real demuestran que es más antigua que el Lias, es decir, que dicha capa originaria es el grupo triásico-infraliásico, ó algún terreno más antiguo.

En la región de Torres, parece á primera vista que además de la zona profunda, de la misma edad que la de Monte-Real, podrían haber existido zonas de producción menos importantes en las pizarras oxfordienses y en el grupo de Abadía-Amaral. Para la investigación del petróleo se deben tener presentes estas diferentes posibilidades.

3.º *La destilación del petróleo, que continúa aún en nuestros días, ¿ha agotado los depósitos profundos?*

Únicamente la sonda puede responder de manera indubitable; pero es lo cierto que el petróleo existe en el subsuelo, no solamente debajo de los puntos en que el azar lo ha puesto de manifiesto, sino también en otros muchos, y como los afloramientos están muy distantes los unos de los otros, se puede admitir que en los intervalos que los separan existen depósitos que no han sido agotados por la destilación natural.

Portugal es una región petrolífera desconocida aún, y cada

región tiene sus caracteres peculiares. Los sondeos ejecutados hasta ahora sólo han suministrado datos incompletos, y es de esperar que los que se hagan en el porvenir sean precedidos de una elección bien estudiada de su situación, para que por ellos sea posible darse cuenta de las condiciones del yacimiento. Únicamente entonces se podrá fijar la situación de los sondeos definitivos que ofrezcan el máximo de probabilidades de buen éxito, hasta en sitios en que ahora no existen manifestaciones exteriores.

Todos los sondeos sirven de lección para ejecutar los siguientes; pero no cabe duda de que si las investigaciones siguen un mismo plan se puede llegar antes y con menos gastos á obtener el resultado apetecido. Hay que consignar que en todas las regiones petrolíferas han tenido lugar tanteos de esta índole.

Desgraciadamente, el estar tan repartida como lo está en Portugal la propiedad minera en los terrenos petrolíferos, trae como resultado el alejamiento de las personas dispuestas á emplear capitales en una empresa de éxito tan problemático como éste.

Sería conveniente que el Estado comprendiese que los esfuerzos que tienden á implantar una industria nueva merecen su protección, y debía prestar ésta aunque sólo fuera disminuyendo los derechos de aduanas de un material que, como ocurre con el de sondeos, no se construye en el país.

Lisboa, Diciembre de 1913.

PAUL CHOFFAT.

YACIMIENTOS DE PETRÓLEO

EN

HUIDOBRO (BURGOS)

YACIMIENTOS DE PETRÓLEO

EN

HUIDOBRO (BURGOS)

Hállase situado Huidobro de Butrón á 48 kilómetros al N. de Burgos y 6 al O. de Pesadas, pueblo, este último, enclavado en la carretera de Burgos á Villarcayo á 50 kilómetros de la capital. Su elevación sobre el nivel del mar es de 850 metros, y ocupa el centro de una hoya de forma elíptica de tres kilómetros según su eje mayor, orientado de E. á O., y una anchura de 2 kilómetros según su eje menor.

Encuétrase limitada la hoya de Huidobro por una línea de montes cuya altura oscila entre 1.000 y 1.200 metros: los situados al O. y al S. del pueblo, denominados Pico de Otero y Peña Redonda respectivamente, están separados por el Collado de Nocedo de 975 metros de altitud. Entre los que se levantan al N. y al NE., llamados Altos de la Blanca y Peña del Aguila, se abre paso el arroyo Turrientes, en el que se reúnen las aguas que recoge la hondonada en cuestión; y, por último, la Peña del Aguila está separada del extremo E. de Peña Redonda, llamado Alto de San Pedro, por el collado de Villaescusa, punto de paso del camino que desde Pesadas conduce á Huidobro.

Las alturas que rodean la hoya de Huidobro por el O. y por el S. se enlazan con los terrenos inmediatos y exteriores á la hoya por pendientes muy suaves, hasta el punto de que aquéllas apenas se destacan en el horizonte observadas desde los páramos de Villalta, que se encuentran entre este pueblo y Pesadas, en tanto que las que la limitan por el N., descenden, en rápido declive hacia el valle del arroyo de Villaescusa, afluente del Ebro que nace al SO. de este pueblo y en el que desemboca el arroyo Turrientes.

En líneas generales, desde el punto de vista geológico, la

hoya de Huidobro se reduce á una bóveda formada por las calizas cenomanenses en la que las capas de este terreno, que son las que constituyen la envolvente, han desaparecido por denudación dejando al descubierto las areniscas del Aptense, que como rocas deleznales han sido en gran parte barridas por las aguas, aunque sin dejar aparecer en ningún punto otro terreno geológico inferior.

Sin embargo, estudiando con detenimiento el contacto de las calizas cenomanenses con las areniscas aptenses en los bordes de la hoya se ve que la producción de ésta se debe, no sólo á la denudación sufrida por las rocas que formaban la bóveda, sino también, y muy principalmente, á la acción combinada de dos fallas que, orientadas de E. á O., han cortado á los estratos cretácicos, y á las que ha acompañado el hundimiento de las zonas situadas más al N. y más al S. del terreno comprendido entre ambas.

La falla más septentrional (véase el plano y los cortes geológicos, láminas 8.^a y 9.^a) se inicia un poco al E. de Villaescusa de Butrón, continúa por la vertiente S. de Peña del Aguila y El Cueto, atraviesa el arroyo Turrientes, y termina entre el Alto de la Blanca y el Alto de Castrillejo; la meridional empieza á destacarse entre el Alto de San Pedro y Peña Redonda, continuando por la vertiente N. de esta altura y por el collado de Nocedo hasta el pueblo de este nombre, donde termina. Como antes dijimos, estas fallas aparecen de manifiesto en los bordes de la hoya: las líneas de cumbres de Peña del Aguila, El Cueto y el Alto de la Blanca están formadas por las calizas cenomanenses, levantadas hasta la vertical á lo largo de su contacto con las areniscas del Aptense, en tanto que su buzamiento, como puede verse más al N. de esta línea, y sobre todo en el corte producido por el arroyo Turrientes, va disminuyendo á medida que nos alejamos de dicho contacto hasta quedar en posición casi horizontal en la confluencia de este arroyo con el de Villaescusa. Observaciones análogas pueden hacerse respecto á la falla meridional, en Peña Redonda y en el collado de Nocedo.

Es digno de consignarse que, como el plano pone de manifiesto, la denudación del cenomanense y la formación consi-

guiente de la hoya de Huidobro sólo ha tenido lugar en la zona donde las dos fallas han ejercido su acción á la vez, en tanto que más al E. y más al O., donde ya no existe más que una, el Aptense no ha sido puesto al descubierto. En Villaescusa, por una parte, y en Nocedo, por otra, se reconocen perfectamente las fallas, porque á lo largo de uno de sus bordes las calizas cenomanenses están casi horizontales y á lo largo del otro verticales ó casi verticales, siendo curioso ver cómo las mismas capas cambian de régimen de manera tan radical en un espacio de 2 á 3 metros.

En el Pico de Otero y en el Alto de San Pedro, por el contrario, las calizas cenomanenses están casi horizontales y se apoyan sobre las areniscas aptenses, al parecer en perfecta concordancia con ellas.

Según se desprende de cuanto llevamos dicho, la línea que une el Pico de Otero con el Alto de San Pedro parece marcar un eje de máxima resistencia á lo largo del cual las capas han conservado su posición primitiva, en tanto que se hundían las zonas situadas más al N. y más al S.

Las calizas cenomanenses, cuyo color varía entre el gris claro y el anteaado, son marmóreas y forman bancos de 1 á 2 metros de grueso, con espesor total de 100 á 200 metros en el Pico de Otero, único punto donde dicho espesor puede apreciarse, porque á lo largo de las fallas cualquier apreciación de esta índole estaría sujeta á error. En Peña del Aguila y en Peña Redonda, en los bordes de la falla, las calizas presentan textura pizarreña ó tabular, debida probablemente á las grandes presiones sufridas.

Las areniscas del Aptense aparecen siempre en la hoya de Huidobro en posición casi horizontal; hacia su extremo E. se encuentra el punto culminante de las capas, y á partir de él buzan entre 2 y 5° hacia Levante y hacia Poniente. Su color varía entre el blanco y el amarillo obscuro con vetas ferruginosas, habiendo algunos bancos de coloración grisácea, y en cuanto á textura son bastante deleznales; algunas veces el tamaño de sus elementos constitutivos aumenta, presentando la roca aspecto de pudinga, pero sin cemento bastante para consolidar la masa.

El espesor *visible* del Aptense en Huidobro es de 200 metros, y, como veremos después, el espesor total de la formación en este punto no se ha podido averiguar hasta ahora, pues ninguno de los sondeos practicados ha conseguido alcanzar terrenos más antiguos.

Manifestaciones de petróleo.—La única manifestación de petróleo que se observa en la región que nos ocupa se encuentra en la mina «Narcisa». Parece ser que la presencia del aceite mineral fué advertida hace bastantes años en las aguas de una pequeña fuente que brota entre las arenas aptenses, en la falda Norte de Peña Redonda, puesto que ya en 1872 se hicieron en la localidad algunos trabajos de explotación consistentes en destilar las arenas impregnadas de petróleo que se extraían de una galería emboquillada junto á la fuente.

Poco éxito debieron tener estos primeros trabajos cuando la galería en cuestión apenas se avanzó unos 50 metros, y esta falta de éxito fué debida, á nuestro juicio, á que no son las arenas del Aptense, al menos en la parte puesta al descubierto, las rocas que están impregnadas de petróleo y el punto de origen, por así decirlo, del que las aguas de infiltración arrastran, sino que dicho producto acompaña á las aguas desde puntos más lejanos y más profundos y no llega á acumularse en las arenas porque la misma circulación del agua lo impide.

En la actualidad, la galería á que nos referimos está en parte hundida; no obstante, se puede llegar á la culata á través de los hundimientos, donde se observa una delgada capa de petróleo flotando sobre el agua embalsada por los escombros.

La producción de petróleo de esta labor es insignificante, pues el aceite se presenta en forma de gotas que sobrenadan en el agua que sale del frente, y la cantidad de agua que brota es á su vez pequeñísima.

Trabajos realizados.—Los trabajos de exploración llevados á cabo en la hoya de Huidobro se reducen á dos sondeos: uno, abierto cerca de la galería de la mina «Narcisa» (véase el plano, lámina 8.^a), alcanzó sólo 40 metros de profundidad; el otro, situado 400 metros más al N., llegó á 501 metros sin encontrar vestigios de petróleo. Este último sondeo, que por cierto fué ejecuta-

do en el año 1900 por la casa Hulster Frères, contratista en la actualidad de los sondeos que hace el Instituto Geológico en Asturias y en Cádiz, no llegó á atravesar el Aptense ni cortó más rocas que arenas y areniscas más ó menos arcillosas en toda la profundidad alcanzada.

Origen del petróleo de Huidobro.—Los afloramientos del Keuper en Salinillas y Poza de la Sal (Burgos), por una parte, y las manchas ya más extensas del mismo terreno que se encuentran entre Reinosa y Torrelavega (Santander), por otra, parecen indicar que el Triásico sirve de base á los terrenos jurásicos y cretáceos que tanto desarrollo adquieren en la parte NO. de la provincia de Burgos, donde se encuentra Huidobro, y si á esto se une el dato importante de haberse encontrado petróleo en el Triásico, en algunos sondeos practicados por la casa Solvay hacia Torrelavega y el no menos significativo del origen triásico de los petróleos en Cádiz y Sevilla (1) y en Portugal (2), es preciso reconocer que existen grandes probabilidades de que el petróleo de Huidobro proceda de la misma fuente.

En la hoya de Huidobro, la emigración del petróleo del Triásico, á pesar de la gran profundidad á que debe encontrarse allí este terreno, toda vez que entre él y el Aptense se intercalará probablemente el Jurásico, y aun acaso el Liásico, ha de encontrar gran facilidad para producirse, debido á las fallas que marcan los bordes de dicha hoya. Las líneas de falla son, en general, líneas de mínima resistencia de la corteza terrestre, á la vez que de presiones máximas, y por ellas se establece de preferencia la circulación de las aguas infiltradas, que traen hasta la superficie del terreno las substancias que disuelven ó arrastran en suspensión durante su recorrido subterráneo.

En Huidobro, en relación con la falla meridional, existen unos criaderos de cobre que arman en las areniscas del Aptense; desde el punto de vista industrial, poca ó ninguna importancia tienen estos criaderos, que se reducen á pequeños núcleos de cobres grises repartidos en la masa de algunos bancos de dicha

(1) Gavala. *Regiones petrolíferas de Andalucía.*

(2) Choffat. *Les recherches de pétrole dans l'Extremadure portugaise.*

arenisca y que por su escasez hubieran pasado inadvertidos si el color azul y verdoso que la roca ostenta en algunos parajes, debido á la formación de los hidrocarbonatos, malaquita y azurita, no hubiese delatado su existencia.

Sin pretender que exista relación íntima entre estos yacimientos de cobre y el petróleo, como se intenta en algunos informes emitidos hace ya algún tiempo acerca de ellos, creemos que merecen citarse porque parecen ser consecuencia de las fallas que cortan el Cretáceo en Huidobro, por las cuales ha podido establecerse también cierta comunicación entre la superficie y el terreno triásico y originarse la pequeña emanación de petróleo que junto á dicho pueblo se observa.

Importancia de estos yacimientos petrolíferos.—Los diversos trabajos de exploración llevados á cabo en las minas de petróleo de Huidobro, algunos de verdadera importancia como el realizado por la casa Hulster Frères, que alcanzó 501 de profundidad, demuestran que las areniscas del Aptense en dicha localidad no contienen petróleo en la cantidad necesaria para llegar á constituir un yacimiento industrial; y téngase en cuenta que el sondeo profundo á que nos referimos fué practicado en el punto más indicado de la hoya de Huidobro, en la cúspide del anticlinal ó, mejor dicho, en la parte culminante de la bóveda, á pesar de cuanto se asegura en contrario en un informe emitido acerca de dichas minas y publicado en un folleto titulado: *Apuntes, descripción, informes y análisis referentes á las minas de petróleo sitas en término municipal de Huidobro, provincia de Burgos*. Burgos, 1913. Se dice, en efecto, en este informe: «El sondeo que se indica, practicado, según asegura la Memoria (1), en una posición geológica indiscutiblemente buena, creo, por el contrario, que ha sido realizado en un sitio de condiciones poco favorables. En efecto, según la Memoria se hizo el sondeo de eje anticlinal; esto significa que se llevó á cabo en un punto alto de la supuesta capa petrolífera. Como es sabido, las capas de que se componen los terrenos se extienden por debajo del suelo formando ondula-

(1) Esta Memoria á que se refiere el autor del informe, está igualmente impresa en el folleto en cuestión.

ciones; los puntos altos de las ondulaciones reciben el nombre de anticlinales. Como el petróleo se encuentra en las capas permeables de los terrenos, es evidente que á través de éstas filtrará y por la acción de la gravedad se dirigirá á los puntos bajos de las mismas, ó sea los sinclinales. Por consiguiente, la posición geológica indiscutiblemente buena sería una sinclinal y no una anticlinal.»

La opinión expuesta en las líneas que transcribimos, considerada como teoría general, no sólo no ha tenido confirmación en ninguna cuenca petrolífera del mundo, sino que está en contraposición con las circunstancias que rigen á la acumulación del petróleo. Este ocupa, es verdad, las capas permeables de los terrenos, cuando *emigra* de su yacimiento primitivo, pero como aquéllas contienen siempre agua y el agua pesa más que el petróleo, este último tiene que acumularse en la parte alta de las capas permeables ó anticlinales y no en los fondos de barro ó sinclinales.

La ausencia del petróleo en las areniscas del Aptense, comprobada en los trabajos de exploración, si se exceptúa la galería abierta en la mina «Narcisa», induce á suponer que la cantidad de petróleo que ha emigrado del yacimiento primitivo, casi seguramente el terreno triásico, debe haber sido muy pequeña. Por todo esto creemos que hacer sondeos en Huidobro hasta alcanzar el terreno triásico, atravesando todo el Aptense y el Jurásico, que suman por lo menos 1.000 metros de espesor cuando parece demostrado que dicho terreno triásico no contiene petróleo explotable en ninguna zona de España ni de Portugal, sería emprender labores de investigación costosísimas sin justificación suficiente.

Madrid-Marzo 1916.

JUAN GAVALA.

UN AFLORAMIENTO DE BASALTO
EN EL
TERRENO CRETÁCEO DE NAVARRA

Por el Ingeniero de minas D. Pedro Palaos.

UN AFLORAMIENTO DE BASALTO

EN EL

TERRENO CRETÁCEO DE NAVARRA

Sabido es que existen en España tres regiones, ya de antiguo reconocidas como volcánicas, en las que muestran un importante desarrollo superficial las rocas basálticas. Estas regiones son: la comarca de Olot y Castellfollit, en Cataluña; el Campo de Calatrava, en la provincia de Ciudad Real, y el Cabo de Gata, en la de Almería. Pero aparte de esto, investigaciones que han venido efectuándose en distintas localidades de la Península, han dado á conocer otros varios yacimientos de rocas de esa misma naturaleza, los cuales, si bien sólo alcanzan extensiones mucho más reducidas, no dejan por eso de ofrecer interés, tanto desde el punto de vista petrográfico como desde el geológico.

D. Guillermo Schulz, en su *Descripción geognóstica de Galicia*, hizo mención de un filón de basalto enclavado en el gneis porfiroide de los términos de Lázaro y Las Cruces, en la provincia de Pontevedra. Un notable yacimiento de Limburgita fué encontrado posteriormente por D. Francisco Quiroga cerca de Nuévalos, en la provincia de Zaragoza (1). El mismo Sr. Quiroga indicó la existencia del basalto en Beteta, de la provincia de Cuenca (2). Varios asomos de esta misma roca á través de los estratos terciarios, se observan al NE. y no lejos de Cartagena (3). Y por último, el profesor D. Lucas Fernández Navarro ha señalado recientemente un asomo análogo en el granito del

(1) *Anal. de la Soc. esp. de Historia Natural*.—T. 14, pág. 75.

(2) *Ibid.*—T. 16, pág. 209.

(3) *Explicación del Mapa geológico de España*, por L. Mallada.—T. 1.º, página 207.

Puerto de Canencia, en la vecina cordillera de Guadarrama (1).

A la relación que precede puedo agregar otro yacimiento basáltico no menos importante, observado por mí hace algunos años en la provincia de Navarra, y cuya reseña es el objeto de la presente nota.

La roca eruptiva del yacimiento á que me refiero aflora en la ladera meridional del vallejo de Malococariz, 2 kilómetros al NO. de la villa de Acedo, próxima al confín alavés, y constituye en apariencia un gran banco interestratificado en calizas margosas del tramo cenomanense, cuyos estratos se arrumban allí con débil inclinación al S. Su presencia se acusa al exterior por el color negruzco, y á trechos pardo-rojizo, que ofrece el suelo á lo largo de una faja de cerca de 90 metros de longitud por 9 de anchura máxima. La masa de la roca en la parte accesible á la observación se encuentra descompuesta en trozos de forma más ó menos redondeada y de tamaño variable. En las superficies que han estado más directamente expuestas á la influencia de los agentes atmosféricos, presenta pequeñas oquedades que le dan un aspecto ligeramente escoriáceo; pero en las caras de fractura reciente se muestra compacta y de color negro. Con ayuda del microscopio se reconocen muy distintamente en ella microlitos abundantes de plagioclasa, augita, magnetita y gránulos de olivino, á la vez que los caracteres de textura y composición peculiares del tipo clásico del basalto.

Junio de 1916.

(1) *Comptes rendues de l'Académie des sciences*. Février 1916.—T. 162, página 7.

ALGUNOS YACIMIENTOS PREHISTÓRICOS

DE LAS

PROVINCIAS DE LUGO Y MADRID

ALGUNOS YACIMIENTOS PREHISTÓRICOS

DE LAS

PROVINCIAS DE LUGO Y MADRID

En nuestras excursiones geológicas por Galicia, hemos tenido ocasión de comprobar, repetidas veces, la existencia de interesantes documentos prehistóricos, que ponen de manifiesto la manera de cómo en aquellos remotos tiempos se construían esos curiosos recintos, conocidos ordinariamente con la denominación de dólmenes; y aun cuando en la descripción geológica de aquella región, que hemos de publicar más adelante, nos proponemos tratar del asunto con el detenimiento necesario, no estará de más que adelantemos algunas noticias que juzgamos oportuno dar á conocer por anticipado.

I

Mamoas en la provincia de Lugo.

Mamoas: femenino, provincial Galicia = *Mambla*.

Mambla: (del lat. *mammula*, der. de *mamma*, teta.) f., montecillo aislado de figura de teta.

Esta definición de la Academia da idea bastante exacta de cómo son y se presentan estos dólmenes.

La voz *mambla* no la hemos oído nunca en la provincia de Lugo, si bien tenemos entendido que se emplea en varios puntos de Castilla la Vieja, y la palabra *mamoas* sólo la usan algunas personas ilustradas; los *paisanos* ó aldeanos las llaman *madornas*, *medornas*, *medoñas*, *madorras* y *modorras*; cerca de Guimarey he oído el verbo *medornar*, significando construir un horno ó medorna para el pan.

Son construcciones redondeadas en planta y en alzada, y tan parecidas en tamaño y tan semejantes en forma, que puede afirmarse que sus contornos coinciden aproximadamente, si se superponen, y darían el siguiente patrón de forma clásica (fig. 1.ª).

Son tronco-cónicas, de generatriz muy tendida, borde superior redondeado y una pequeña depresión en su parte alta.

Desde luego están separados unos de otros y cubiertos de tierra y vegetación.

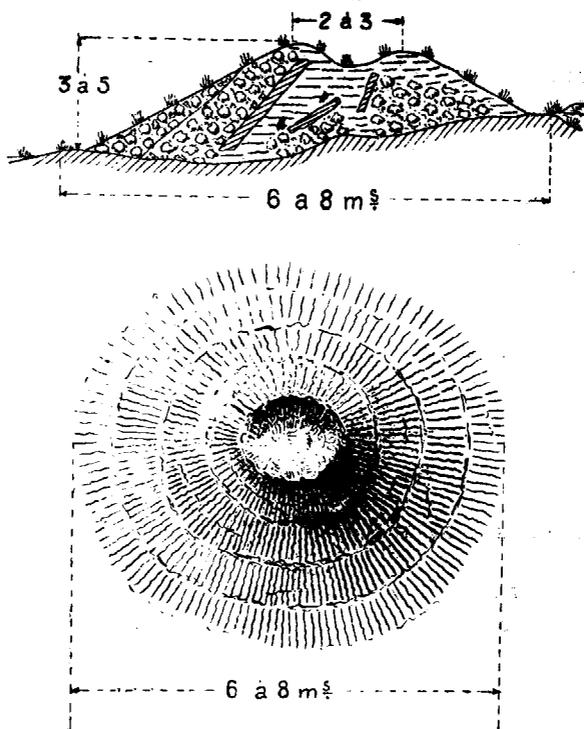


Fig. 1.ª

Su base es aproximadamente circular, de 6 á 8 metros de diámetro y altura que varía entre 3 y 5 metros; el diámetro en la depresión superior es de unos 3 metros.

Variaciones.

El diámetro de la planta llega en las mayores á unos 10 ó 12

metros y en las menores á 4 ó 5 metros, variando la altura de 2 á 6 metros en los distintos tamaños; estas dimensiones se ajustan bastante bien á las dadas por el Sr. Murguía para las mamoas de la provincia de Pontevedra.

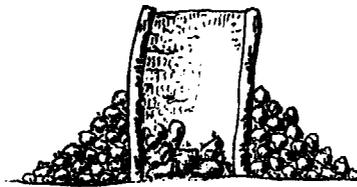
La forma que hemos señalado es la más frecuente y general, pero á veces son algo alargadas ó elípticas y su depresión superior, según sea más ó menos profunda, los hace también variar de aspecto; en un solo caso hemos visto una de grandes dimensiones en forma de herradura. Las variaciones en su perfil suelen ser pequeñas, y no creo justifiquen, como propone Caumont y parece aceptar en principio el Sr. Villaamil y Castro (Museo español de antigüedades), la clasificación de estos monumentos megalíticos con arreglo á ella, en cónicos, semiesféricos, acampanados, anchos, largos y gemelos. Y no solamente lo decimos porque la diferencia de forma sea pequeña, y no es muy grande la que de la misma relación anterior se deduce, sino porque una clasificación fundada en la disposición externa sería siempre confusa y de poco valor; estando estos dólmenes constantemente cubiertos de tierra y vegetación, y siendo suavemente redondeados, resulta que su figura actual es de deformación por la acción del tiempo y por la destrucción consiguiente al transcurso del mismo, de construcciones parecidas ó semejantes en su origen, cuyas diferencias no pueden apreciarse ni aun aproximadamente á través de la cubierta de tierra vegetal aportada por su propia destrucción y por el monte bajo, repetidas veces renovado, que crece entre ellos; y comprueba este aserto la circunstancia de que el mismo notable arqueólogo supone que en un principio todos los dólmenes debieron estar cubiertos por túmulos, lo que no se contradice con la atinada observación del Sr. Murguía cuando dice: que «así como Galicia es pobre en dólmenes aparentes ó privados de la cubierta térrea, es muy rica en los tumulares redondeados», confirmándose en ambos casos lo poco consistente que resultaría el establecer la división por figuras.

Interior.

No hemos practicado excavaciones; pero habiendo tenido ocasión de examinar gran número de dólmenes en todos los grados

de destrucción, á partir de la forma redondeada descripta como clásica, hemos podido observar algunas disposiciones muy repetidas que seguramente se extienden á un numeroso grupo, sin que con esto supongamos que disponemos de datos suficientes para generalizar, sobre todo atendiendo á la diversidad de objetos en ellos encontrados.

En su centro, y como motivo principal, debieron tener cuatro losas ó chantas, aproximadamente iguales y recias, más altas que anchas, dispuestas verticalmente y en contacto, formando una sección cuadrada de 50 á 60 centímetros de lado. Pocas veces se ve asomar el cuadro completo que dan las secciones de las chantas por la depresión superior, pero sí éstas aisladas ó reunidas con otra en ángulo, torcidas y rotas casi siempre; por eso la altura que tengan no se puede sino deducir, y puesto que las mamoas tienen como minimum unos 2 metros, habría que suponerlas, siempre con la salvedad de que hablamos solamente de una serie, por lo menos de 1,50 metros (fig. 2.^a).

Fig. 2.^a

cas eruptivas, es decir, siempre materiales duros, lo que se explica, pues los pizarreños, más blandos, habrán podido desapare-

Como variación de esta disposición principal interior, hemos visto mamoas con sólo tres chantas verticales, pero unidas en triángulo, y quizás mayores en sus dimensiones que en el caso de ser cuatro; suponemos más común la disposición en cuadrado; los ejemplos de sección triangular se encuentran en el partido de Chantada (fig. 3.^a).

Exteriormente á las chantas ó losas, en las suaves laderas del montículo, hemos visto abundantes cantos, casi siempre redondeados, de cuarcita, de cuarzo ó de ro-

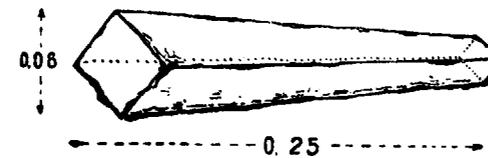
cer destruidos por los activos agentes meteóricos de esta zona. Todas las piedras y restos están mezclados con tierra vegetal.

En su interior lo que con más frecuencia hemos visto, en los pocos casos en que el túmulo estaba casi arrasado, han sido gruesas piedras de cuarzo ó de cuarcita, algo ennegrecidas, como si hubieran estado sometidas directamente al fuego, y en dos ocasiones, además de esas *piedras de hoguera*, otras al parecer labradas toscamente, en forma alargada; siendo tan contadas no sirven para deducir consecuencias (fig. 4.^a). Por noticias fidedignas sabemos haberse encontrado hachas neolíticas que aun no hemos tenido ocasión de examinar.

Vemos, pues, en el tipo de que estamos tratando, el monumento se reduciría á una urna vertical alargada, cubierta ó no, sostenida por piedras á su alrededor; esta disposición se acomoda perfectamente, al imaginar su destrucción lenta, con la forma redondeada y deprimida en la parte superior que actualmente tienen.

Fig. 3.^a

Es lo probable que estos monumentos se destinaran á enterramientos, y en tal supuesto, decimos que los cadáveres debieron colocarse en ellos verticalmente, y las lumbres interiores podrían ser testimonio de ofrendas ó votos. El Sr. Murguía conviene en que todas las mamoas sencillas encierran una urna funeraria,

Fig. 4.^a

entera ó rota, entre tierra apretada y negruzca, demostrando incineración, prueba que no nos parece decisiva, pues el humus, procedente de tanto vegetal alterado, pudiera ofrecer el mismo aspecto.

Lo que sí puede afirmarse es que su construcción se hizo cuidadosamente, tanto por la elección de sitios, como porque las losas y rocas en ellos encontradas han tenido que ser transpor-

tadas á veces de distancias considerables por no existir en las inmediaciones.

Entre los objetos encontrados en su interior cita el Sr. Murguía, además de las hachas de piedra que hemos indicado, otras de bronce, granos de piedra de collares, vasijas de vidrio, brazaletes de oro y armas y utensilios de bronce y hierro; el mismo autor dice tener referencias de que en algunas de ellas se han encontrado sepulcros enteros, uno de granito, y hasta ollas con monedas de cobre, como en una del Valle de Oro.

Aun hace pocos siglos que los aldeanos gallegos sabían que estos monumentos encerraban objetos de más ó menos valor, pues hubo necesidad de dictar órdenes prohibitivas «á los habitantes del Reino de Galicia», respecto á la apertura de los sepulcros antiguos ó mamooas, para evitar las disensiones que ocurrían entre *paisanos* de distintas parroquias; sentimos no tener á la vista el texto, pero creemos recordar que debieron darse en tiempo de Carlos III. Actualmente, en la provincia de Lugo, no hemos encontrado ningún hombre del campo que conozca el verdadero significado de las medornas: constantemente se les atribuye origen misterioso ó de encantamiento y siempre muy remoto; para los menos, son sepulcros de los *moros ó negros*, no teniendo ni idea de que pueda haber objetos de interés en su interior, ventaja preciosa, pues de lo contrario pronto vendría la destrucción de los que quedan por manos incultas.

Habiendo recorrido bastante esta zona, sabemos á cuánto llega la superstición y credulidad que los aldeanos tienen en hechos maravillosos, obsesionándose hasta el punto de trabajar de un modo ímprobo en busca de hipotéticos tesoros por sitios y procedimientos inverosímiles, y esta circunstancia hace que los datos tomados de referencia desmerezcan considerablemente.

En algunas mamooas de Portugal se han encontrado, según parece desprenderse de la relación que de su visita á este país hizo el Sr. Vilanova (1), bastantes objetos de bronce.

Edad.

En el libro titulado *Geología y Protohistoria Ibéricas*, de

(1) Congreso de Prehistoria 1880, en Lisboa.

los Sres. Vilanova y Piera y de la Rada y Delgado, incluyen estos autores las mamooas, en su cuadro de clasificación general, en el período neolítico, para el que marcan como carácter arqueológico las hachas pulimentadas, cuchillos, flechas de pedernal, cerámica y útiles de hueso, sin embargo, más adelante, al recoger los datos locales, las refieren al período ibérico del cobre, quedando así establecida una indeterminación, que se acentúa teniendo en cuenta la relación de objetos que da el Sr. Murguía. En la excelente y erudita obra *Galicia antigua* (de la que proceden los datos que consignamos á continuación), por D. Celso G. de la Riega, se refiere el autor á las palabras «sepultus in arca marmorea», con las que San Isidoro termina la relación sobre la predicación del Apóstol Santiago en España, y más adelante dice que las voces arcas, mamooas, medoñas y lobios se refieren á «tumbas y sepulcros de los usados ordinariamente en el país»; de esto parece desprenderse que en las antiguas épocas históricas serían ya bien conocidos estos túmulos, asignándoseles origen funerario en tiempos anteriores, puesto que la palabra que los designaba se habla extendido y arraigado.

El Sr. López Ferreiro, en una de sus versiones—rebatidas por G. de la Riega—para explicar la frase de San Isidoro, dice: (En el número 3 de la revista *Galicia histórica*, pág. 136) «que este historiador (Etymol, I. XIV) debió tomar la voz arca en el mismo sentido expuesto por un escritor agrónomo de la época de Trajano, llamado Higinio, el cual dice que en España se usaban las «Arcas» para limitar los terrenos y que consistían en un pequeño edificio hueco y de planta cuadrada», y en efecto—apunta el Sr. López Ferreiro—, «el arca marmórea estaba en el confín meridional de la Amaia», descripción que, aunque imprecisa, se ajusta mejor á la de los montículos que indicamos. A esa versión se opone el Sr. de la Riega, y añade: «Sería necesario también que tuviéramos la certeza de que en Galicia se usaban en el siglo primero tales arcas para designar límites de terrenos ó de territorios, sobre lo cual no hay ninguna noticia»... En resumen, no describiéndose el túmulo ni someramente, no tendrían gran valor las deducciones que se podrían hacer de discusiones filológicas, quedando, por ellas, sin aclarar la antigüedad de las mamooas.

El mismo Sr. Villaamil y Castro, tan competente en la materia, se encuentra perplejo respecto á la edad, pues aunque las supone prehistóricas, no niega la posibilidad de que correspondan á la época de los desembarcos y correrías de los Normandos por las costas gallegas y asturianas.

Colocación.

Suelen presentarse agrupadas, pero en montículos bien distintos, en series de pequeño número, 2, 3 y hasta 6 y 7; á menudo también las hemos visto aisladas completamente. Siempre suelen estar en las alturas, pocas veces en los valles cerca de los ríos, y nunca en la costa ni en sus llanuras; la regla es que se hallen en las alturas, pero no caprichosamente, sino en sus pequeñas explanadas y ensanchamientos, y como por las llanuras ó terrenos suaves de alguna elevación suelen pasar los caminos, por ser su trazado más rápido, podemos, expresándolo de otro modo, decir que fueron levantados los túmulos en las proximidades y bordes de los caminos y vías despejadas de las cumbres y lomas suaves; huelga decir que teniendo tales caminos su itinerario natural, de valle á valle ó á su largo, persiste su trazado en la actualidad y en sus cercanías se suelen agrupar, preferentemente en las plazoletas ó altozanos, donde hay cruces de sendas ú otras vías y pasos de puerto. Cuando se encuentran en los valles suelen estar en alguna explanada ó en las laderas.

De esta constante disposición, en llanuras altas, hay que deducir ó que fueron abundantísimas y desaparecieron por destrucción las inferiores, como más accesibles, ó que desde luego se elegían para su erección lugares donde pudiera reunirse gente y que se divisasen á distancia: la explicación de ambas circunstancias creemos pueda estar en que se trataba de ceremonias, reuniendo muchedumbres y después de las cuales el monumento, probablemente funerario, quedaría, por su posición, vigilado á distancia por los aldeanos y viandantes. El Sr. Murguía llama la atención respecto á la agrupación de las mamooas, las supone dispuestas en grupos de tres, en general en línea recta, ocupando el centro la mayor, que suele tener forma algo distinta, y separada comúnmente de las otras por 100 á 150 metros; en la

provincia de Lugo no hemos podido comprobar esta forma de colocación, pues en los grupos guardan entre sí distancias solamente de algunos metros, sin que se advierta relación ó ley en sus posiciones; estos campos de mamooas elevados, solitarios, y en los que sólo crece monte bajo son, en la actualidad, desolados yermos.

Distribución en la provincia.

No tenemos reunidos todavía ni ordenados todos los datos necesarios para dar noticia de la distribución de estos interesantes monumentos, pero desde luego señalaremos un hecho curioso: hemos visto bastantes por las brañas y sierras importantes, pero el mayor número corresponde sin duda á las zonas de relativa fertilidad, como son Valle de Oro, Villalba, y sobre todo de Guimarey á Puertomanán, en los partidos de Lugo y Chantada; como es natural, estos sitios, más apropiados para el cultivo, son, además, suavemente ondulados, y como los isleos cambrianos que el derrubio ha descubierto ó respetado suelen reunir estas circunstancias, puede aventurarse que, por lo general, sobre el cambriano es donde se asientan preferentemente y que los pueblos que los levantaron podrían tener nociones agrícolas.

De las manchas cambrianas pudieron extraerse con facilidad las losas groseras y recias, lastras de pizarra metamorfizada de grandes dimensiones, particularmente en el partido de Chantada, donde tanto abundan las mamooas. Los Sres. Vilanova y de la Rada, valiéndose de datos del Sr. Villaamil, afirman que algunos arqueólogos portugueses dan denominaciones distintas a los túmulos, llamándolos *antas* cuando descansan inmediatamente sobre el suelo y *mamuhas*, sin duda corrupción de mamooas, si se hallan sobre algún montículo; otros ilustrados portugueses, según el Sr. Vilanova, no aceptan esta división por estimarla infundada; el Sr. Villaamil hace derivar «la voz *antas* de chantas en gallego, palabra que significa losas grandes de pizarras ó granito que se utilizan para cerrar las heredades y abundan en el partido judicial de Chantada, provincia de Lugo». Resulta significativa la relación entre la palabra *antas*, la cantidad de mamooas en el partido de Chantada y el uso que, para su cons-

trucción, debió de hacerse de las losas fuertes de grandes dimensiones (1).

Castros.—Motas.

Según el Sr. Villaamil, los llamados Castros también están terminados á veces por montecillos que no tienen restos de enterramiento; en este caso los distingue con el nombre de *motas*. No puede haber confusión entre estos montículos terminales y las medornas, pues los Castros están colocados precisamente en los valles y ocupan con frecuencia las colinas que suele haber en los meandros, por lo cual, á lo largo de algunos ríos, se ven alternativamente en ambas orillas con distancias entre sí de 200 á 500 metros. Cuando no está en el valle el castro es casi seguro que se encuentre en alguna eminencia de laderas empinadas ó, en general, en algún sitio desde donde se domine alguna extensión del terreno y sea de difícil accesibilidad.

No solamente por su distinta colocación y figura se hacen inconfundibles, sino que se distinguen por los objetos encontrados en ellos y que según Villaamil varían desde hachas pulimentadas y otros utensilios de piedra, hasta muchos de metal y hierro; en uno de Mondoñedo apareció una daga como las que se supone usaban los celtíberos y lusitanos; y en otros castros de Riotorto y monte de Lugo, objetos de estilo romano pronunciado.

Los castros son tan frecuentes como las mamotas, y su repar-timiento es mucho más uniforme.

Es indudable que los castros, por sus condiciones estratégicas en los tiempos antiguos, fueron ocupados sucesivamente por los distintos pueblos que dominaron esas comarcas; salen fuera de nuestro objeto y no pretendemos sino señalar las diferencias, aunque sea en su terminal, con las medornas.

(1) En alguna casa hemos visto tabiques con chantas de más de 2 metros por 1,50 y varios centímetros de espesor.

II

Una estación prehistórica en Madrid.

A unos 500 metros del Puente de la Princesa, por la carretera de Extremadura, hay un grupo de casas conocido por Las Carolinas, y contiguo á él un trabajo en desmonte donde se extraen tierras para cubrir el colector de las actuales obras del subsuelo.

En el mismo tajo, con ser de poca altura, se ven gredas del Mioceno y arenas cuaternarias; por consiguiente, el sitio señalado está en el contacto de los terrenos Diluvial y Terciario (niveles del gredón y de la arena de Don Casiano de Prado), al Sur de Madrid.

En el tramo arenoso se encuentran restos de cerámica y huesos, que no se hallan diseminados en la masa arenosa, sino que aparecen agrupados en grandes espacios que forman como cue-

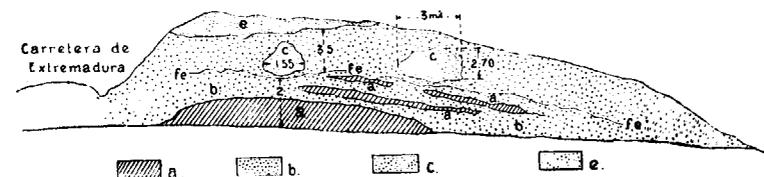


Fig. 5.

- a) Greda miocena.
- b) Arenas gruesas, intercalaciones de greda y arenas con óxido *fe*.
- c) Tramo arenoso en donde están situadas las fosas que encierran los huesos.
- e) Arena depositada en la construcción de la carretera.

vas rellenas y están limitados por una especie de maciño muy síliceo que, á manera de una costra, determina el contorno de la caverna.

Damos á continuación un corte de la cantera con la disposición relativa de las fosas en que se encuentran los restos.

Los objetos encontrados son los siguientes:

Trozos de madera carbonizada, muchos restos de cerámica tosca sin característica alguna, trozos de escoria vidriada y que-

bradiza, algún sílex groseramente tallado y abundantes huesos pertenecientes á las especies *Sus scropa*, *Cervus elaphos*, *Capra ú ovis* y *Equus Caballus*.

Sin duda se trata de una estación prehistórica, cuya edad y particularidades quizás podrán ser determinados cuando se hallen más avanzados los trabajos de excavación.

Madrid, 22 de Junio de 1916.

P. HERNÁNDEZ SAMPELAYO.

ÍNDICE

DE LAS MATERIAS CONTENIDAS EN EL TOMO XVII (2.^a SERIE)

	Páginas.
Prólogo	IX
El sondeo de Caldones en Asturias.....	1
Regiones petrolíferas de Andalucía.....	27
Investigaciones de petróleo en la Extremadura portuguesa.....	215
Yacimientos de petróleo en Huidobro (Burgos).....	265
Un afloramiento de basalto en el terreno cretáceo de Navarra....	275
Algunos yacimientos prehistóricos de las provincias de Lugo y Madrid	279

ÍNDICE

DE LAS LÁMINAS CONTENIDAS EN EL TOMO XVII (2.ª SERIE)

	Láminas.
Sondeo de Caldones. —Distribución del tiempo empleado.....	1.ª
» » Corte vertical del sondeo.....	2.ª
» » Corte transversal de Veriña á Caldones ..	3.ª
» » Gráfico de la producción diaria de gases ..	4.ª
Regiones petrolíferas de Andalucía. —Plano geológico.....	5.ª
» » » Plano geológico Conil- Barbate.....	6.ª
» » » Cortes geológicos.....	7.ª
Minas de Petróleo en Huidobro. —Plano geológico.....	8.ª
» » » Cortes geológicos.....	9.ª



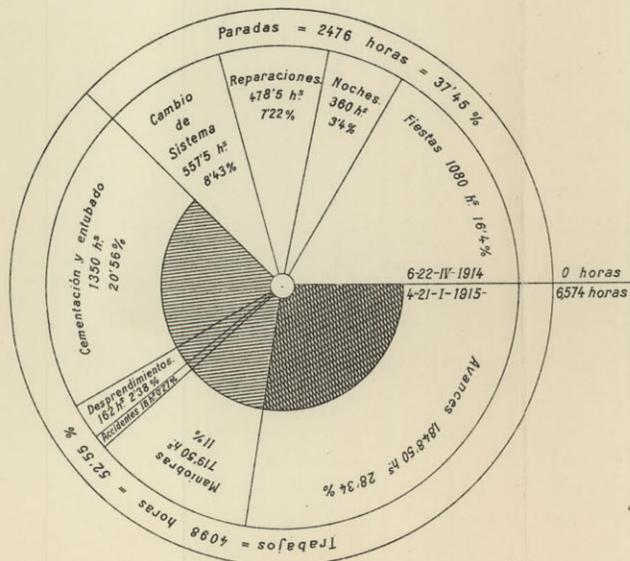


INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

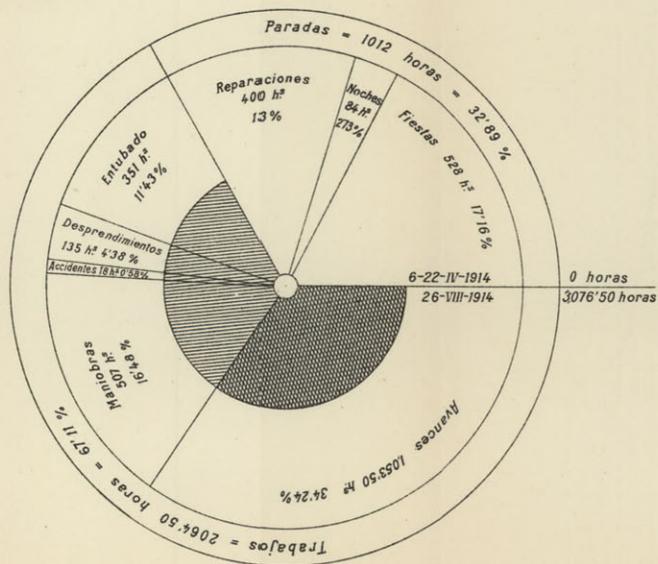
SONDEO DE CALDONES (ASTURIAS)

Distribución del tiempo empleado.

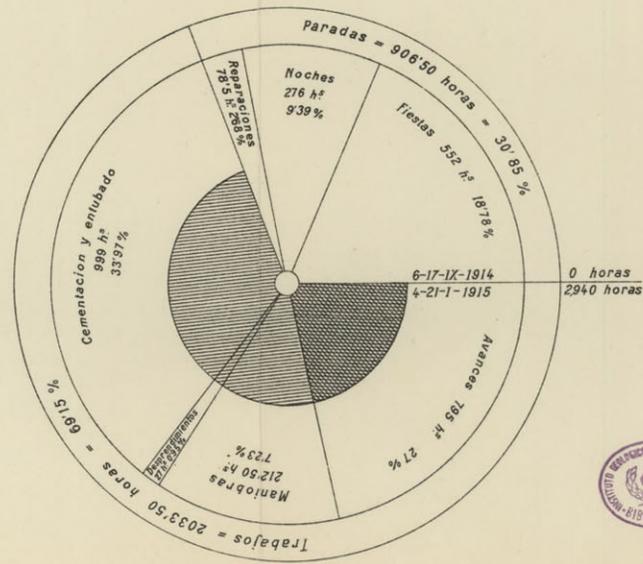
TOTAL



PERCUSIÓN



ROTACIÓN



INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

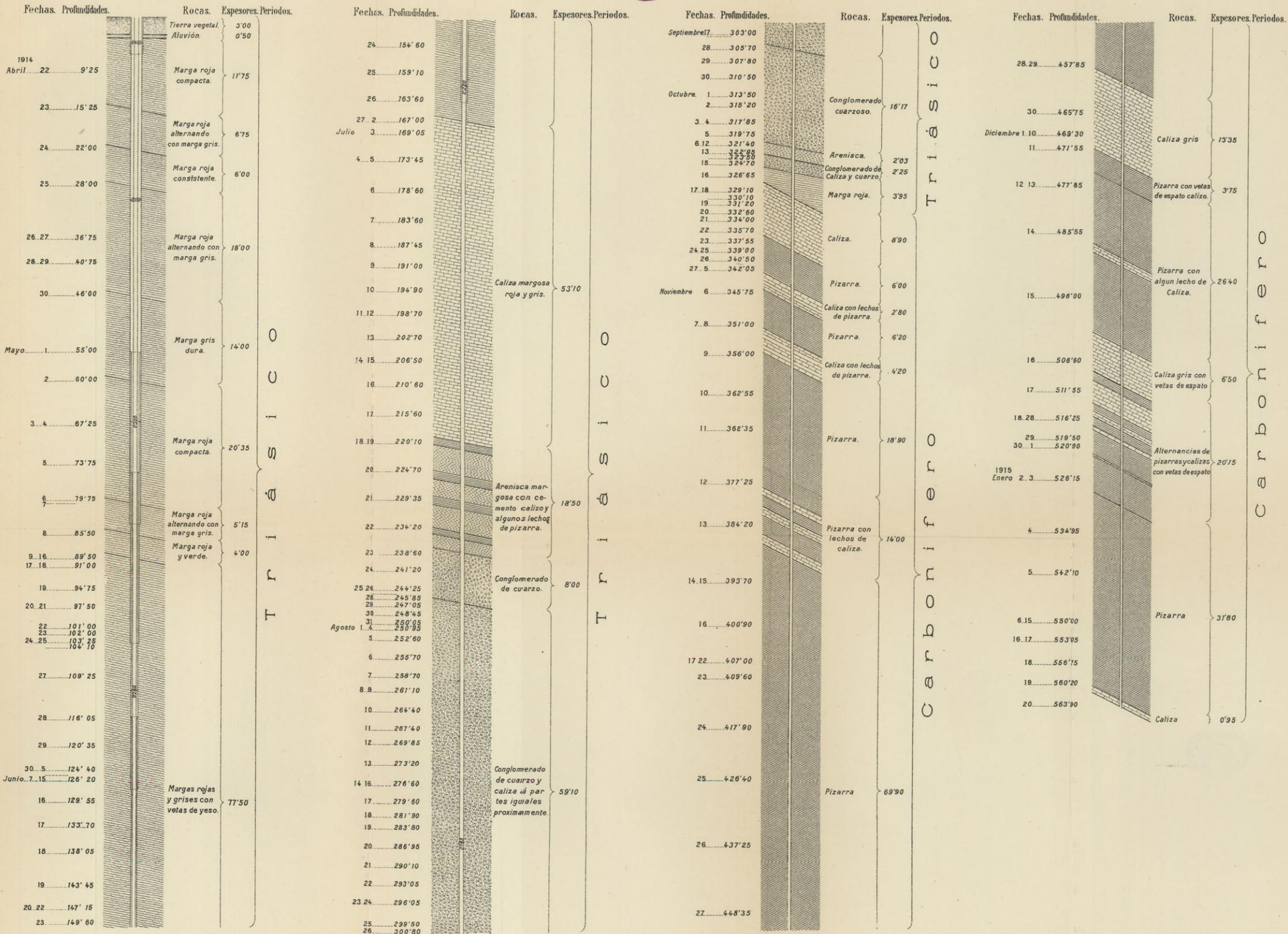
SONDEO DE CALDONES (ASTURIAS)

Escala de Alturas 1:500



PERCUSIÓN

ROTACIÓN



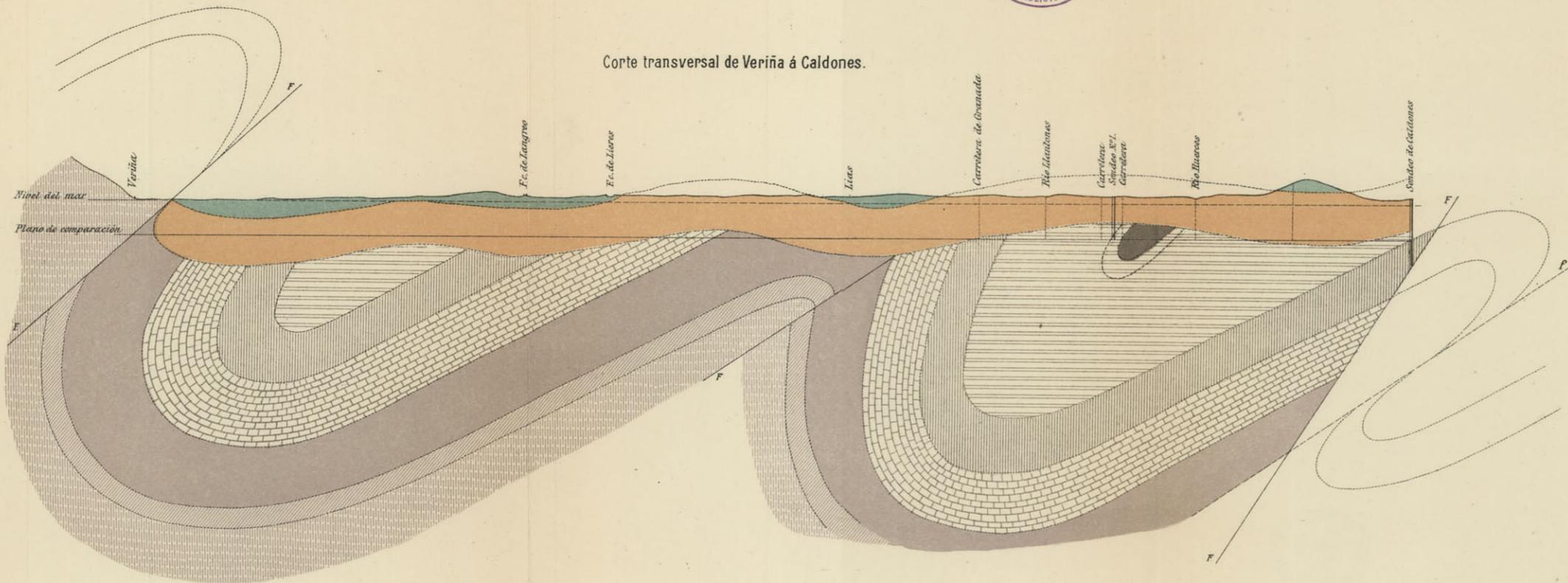
INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

SONDEO DE CALDONES (ASTURIAS)

Escala de 1:40,000



Corte transversal de Veriña á Caldones.



EXPLICACIÓN

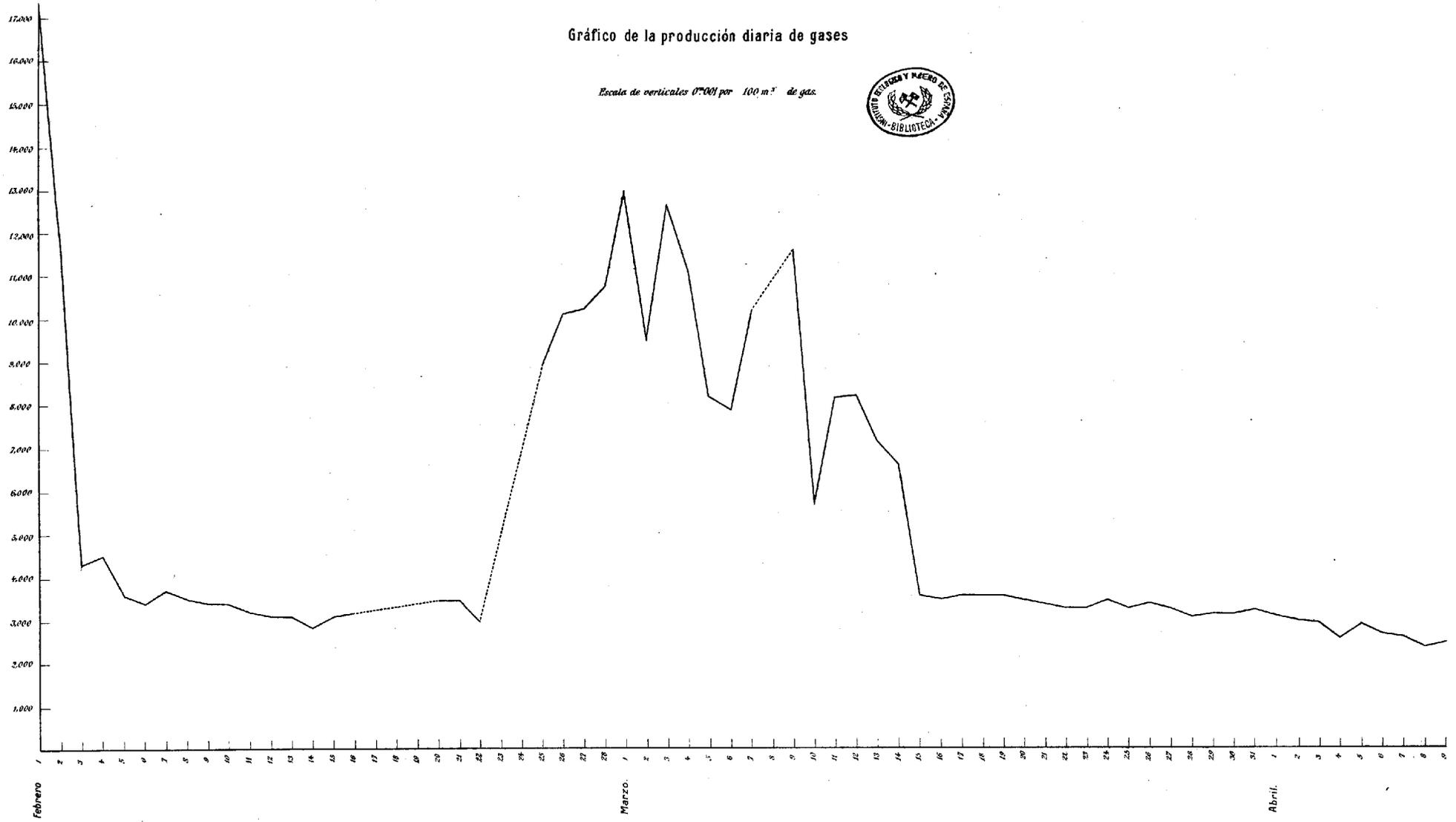
 Liasico	 Caliza carbonifera
 Triasico	 Devoniano
 Illuro medio	 Siluriano
 Id. inferior	 Cuarcita siluriana
 Subilluro	 Fallas

INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

SONDEO DE CALDONES (ASTURIAS)

Gráfico de la producción diaria de gases

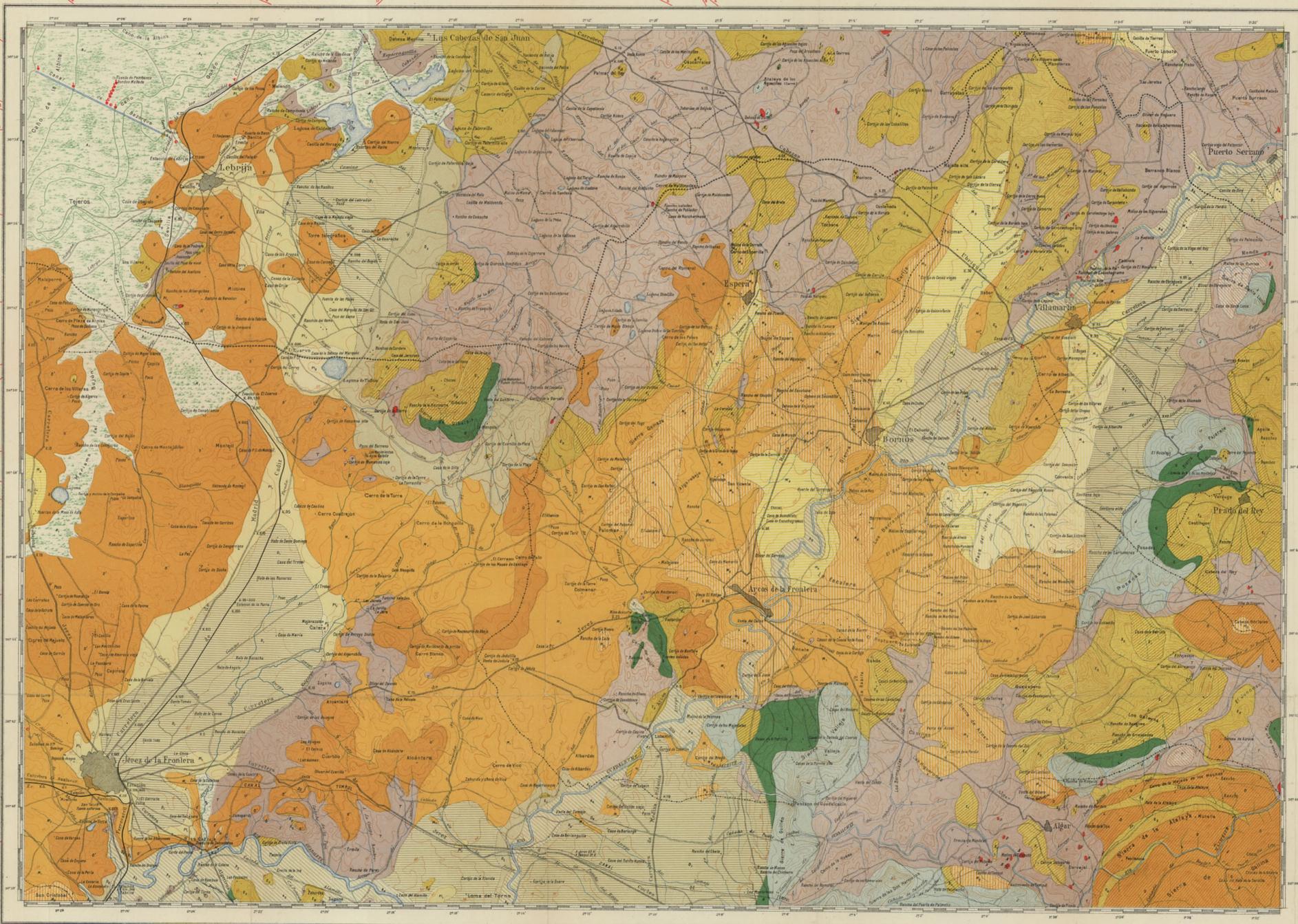
Escala de verticales 0^o:001 por 100 m³ de gas.



REGIONES PETROLIFERAS DE ANDALUCÍA

(VILLAMARTIN - LEBRIJA)

POR EL INGENIERO DEL CUERPO DE MINAS JUAN GAVALA



EXPLICACIÓN

Hipogénico	[Red square]	Otros
Triásico Superior	[Brown square]	Margas arenosas, yesos y calizas
	[Hatched square]	Calizas negras
Tiético	[Blue square]	Calizas litóclásticas de margas
Neocomiense	[Green square]	Margas verdosas
	[Yellow square]	Margas blancas y grises
Nemulítico	[Light yellow square]	Calizas compactas
	[Yellow square]	Flysch
Oligoceno	[Orange square]	Capas de dolomitas
	[Orange square]	Areniscas del Aljibe
Burdigalense	[Orange square]	Areniscas grises y verdes
Helvético	[Orange square]	Calizas duras
Sarmático	[Yellow square]	Areniscas con P. BOURGEOIS
	[Yellow square]	Areniscas con G. MARSHALLI
Plioceno	[Light yellow square]	Arenas de arena y limo con P. ramosus
	[Light yellow square]	Capas intercaladas de calizas y de Cuervo
Pleistoceno	[Light yellow square]	Conglomerados y travertinos
	[Light yellow square]	Arenas, gravas y yesos
Aluvial	[Hatched square]	Aluviones modernos
	[Green square]	Marismas

Símbolos de pozos:
 ● Símbolo de pozos productivos de gas
 ● Símbolo de pozos de petróleo
 ● Símbolo de pozos improductivos

Escala de 1:100.000

Lit. J. MENDOZA PLAZA DE LOS MOSTENSES P. MADRID

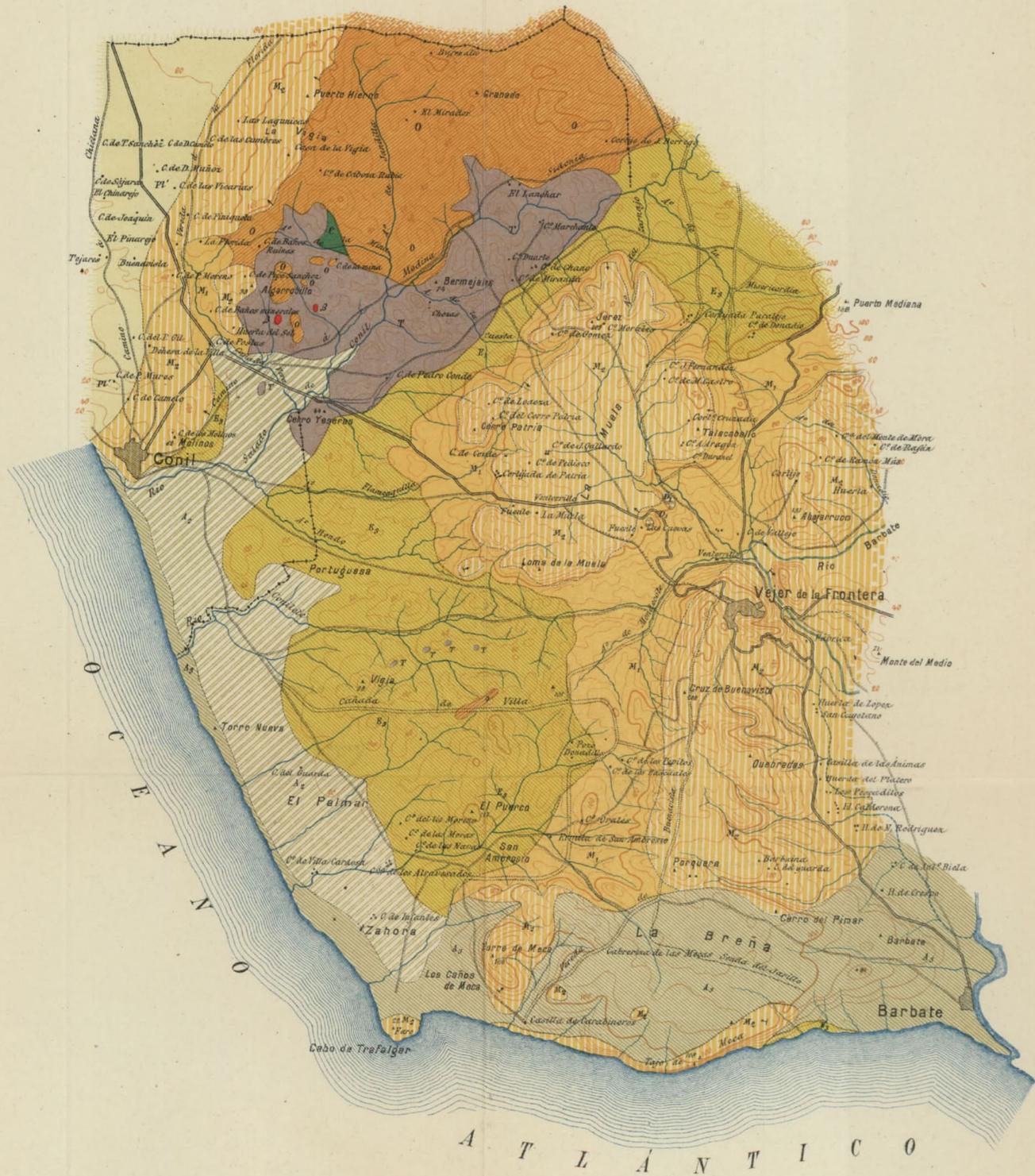


REGIONES PETROLÍFERAS DE ANDALUCÍA

CONIL - BARBATE

POR EL INGENIERO DEL CUERPO DE MINAS

JUAN GAVALA



EXPLICACIÓN

Hipogénico		Ofitas
Keuper		Margas areniscas y calizas
Neocomiense		Margas verdosas
Numulítico		Flysch
Oligoceno		Arenisca del Agide
Burdigaliense		Arcillas grises
Helvético		Caliza rosca
Plioceno		Arenas
Pleistoceno		Tobas
Aluvial		Aluviones modernos
		Dunas

Escala de 1: 100.000

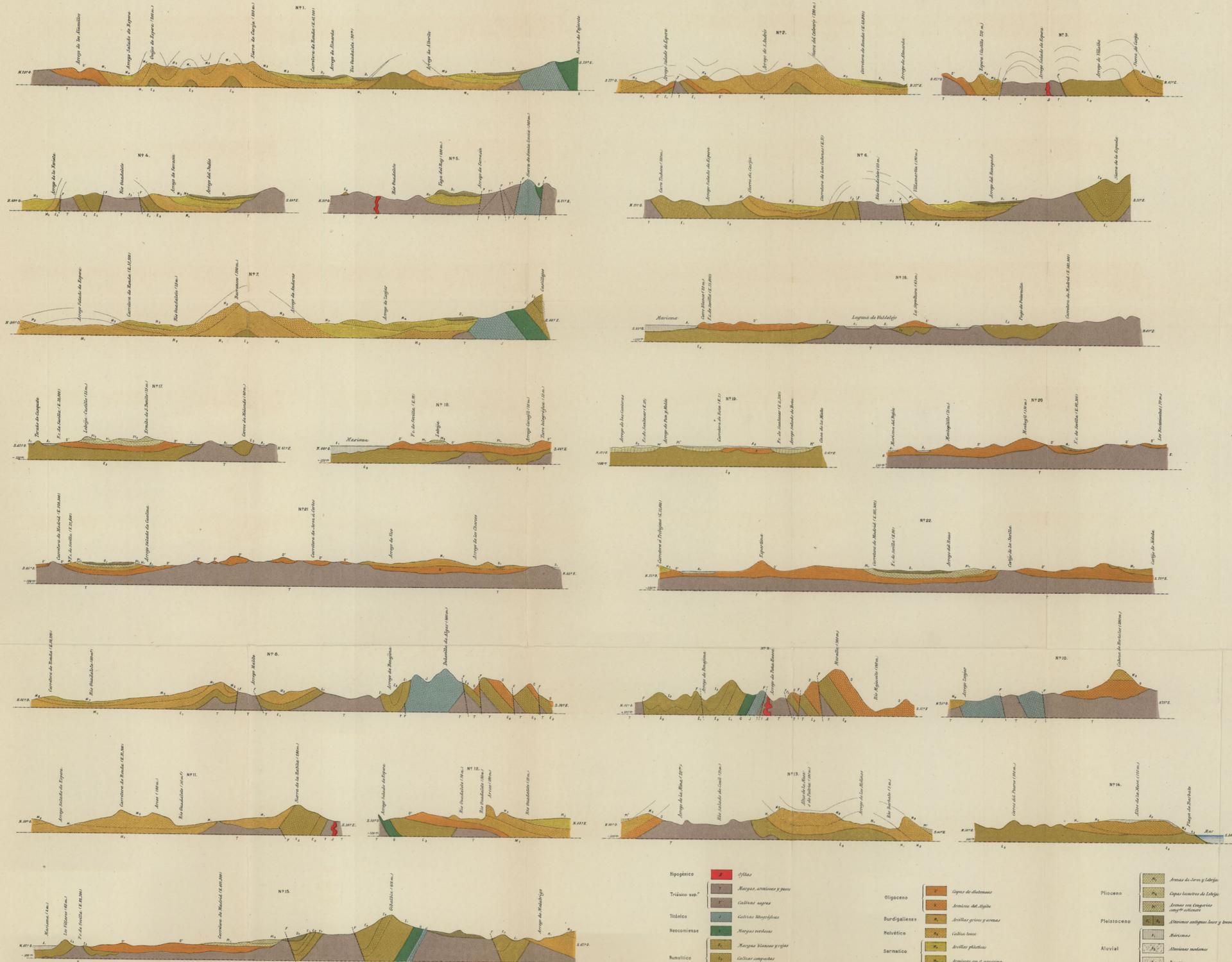


REGIONES PETROLÍFERAS DE ANDALUCÍA

CORTES GEOLÓGICOS

POR EL INGENIERO DEL CUERPO DE MINAS JUAN GAVALA

ESCALA horizontal 1:100.000
vertical 1:20.000



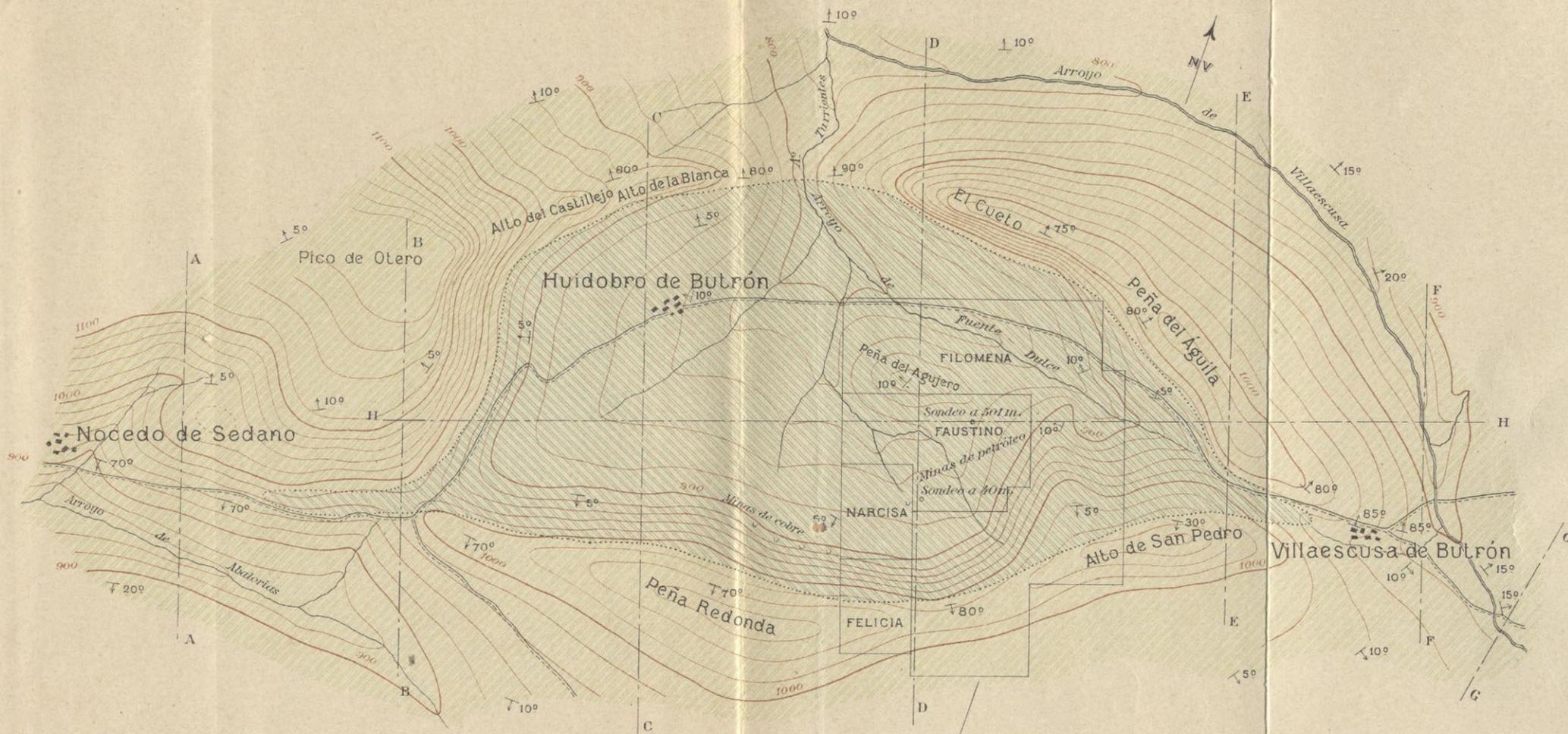
Hipogénico	M Oñzas	Oligoceno	O Capas de dolomitas	Plioceno	P1 Arenas de Jerez y Lebrija
Triásico sup.	T Margas arcillosas y yeso	A Calizas negras	A Arenillas del Aljibe	P2 Capas lenticulares de Lebrija	P3 Arenas con Congerites conchiformes
Tiásico	T Calizas biogélicas	P Calizas blancas y verdes	P Arenillas grises y arenas	P4 Calizas blancas	P5 Arenas con Congerites conchiformes
Neocomiense	N Margas medusas	M Margas blancas y grises	M Calizas compactas	M Arenillas plásticas	P6 Altiplano antiguo-luz y arenitas
Numulítico	N Margas compactas	N Calizas compactas	N Fijada	N Arenillas con L. reticulata	P7 Marismas
				S Altiplano moderno	P8 Bajas





MINAS DE PETRÓLEO EN HUIDOBRO (BURGOS) PLANO GEOLÓGICO

Por el Ingeniero de Minas D. Juan Gavala.



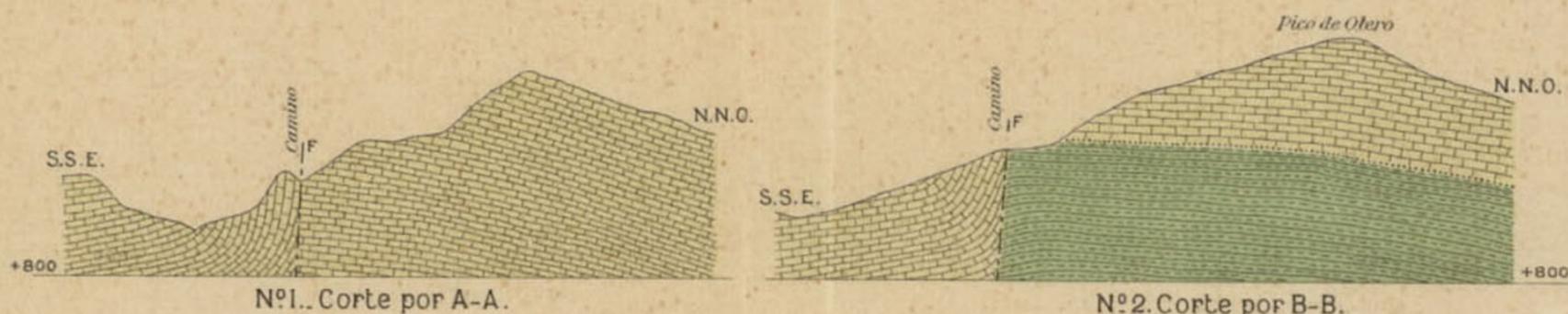
Escala de 1:25.000

- Calizas Cenomanenses.
- Arenas areniscas y pudingas Aptenses.



CORTES GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE HUIDOBRO (BURGOS).

Por el Ingeniero de Minas Don Juan Gavala.

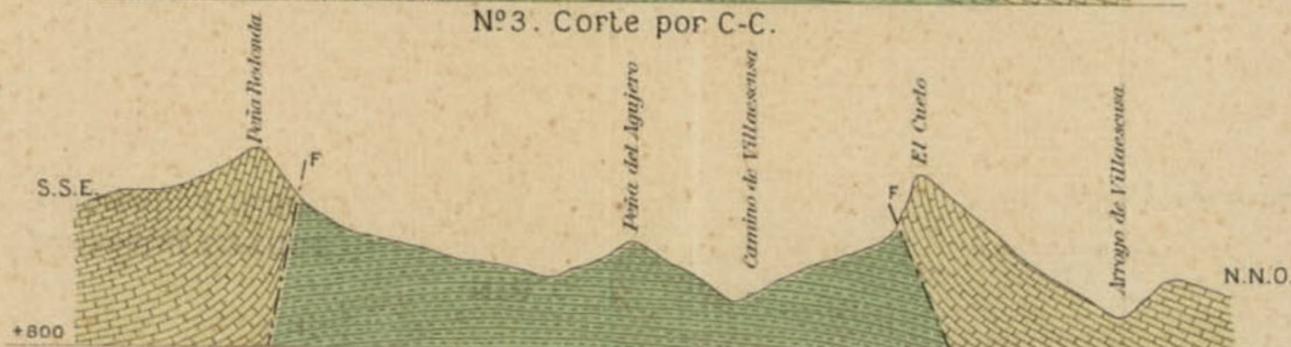


Nº1. Corte por A-A.

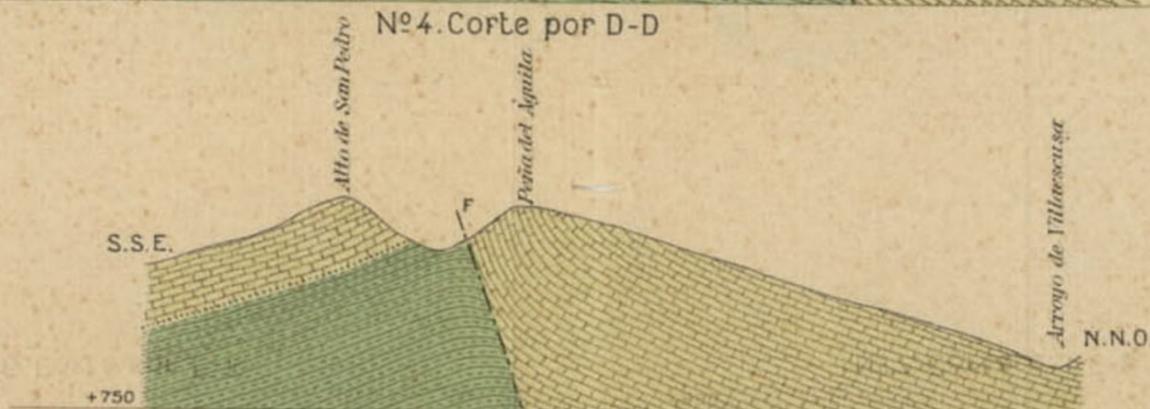
Nº2. Corte por B-B.



Nº3. Corte por C-C.



Nº4. Corte por D-D.



Nº5. Corte por E-E.



Nº6. Corte por F-F.

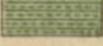


Nº7. Corte por G-G.



Nº8. Corte por H-H.

Escala { horizontal 1:25.000.
vertical 1:12.500.

 Calizas cenomanenses.
 Arenas, areniscas y pudingas Aptenses.