

ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

SAN MARTIN 352

CASILLA 487

SANTIAGO

S u c e s o r

D e l a :

Y d e l :

«SOCIEDAD DE INGENIERIA» «INSTITUTO DE INGENIEROS»
Fundada el 31 de Mayo de 1888. Fundado el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LXVI ● NOVIEMBRE - DICIEMBRE DE 1953 ● N.ºs 11-12

Comisión Editora: Raúl Sáez S. (Pde.). Sergio Silva, Alberto Covarrubias, Rodrigo Flores y Marcelo Honorato

Dr. Bernardo Grossling (1)

Geología de Petróleo de la formación Springhill en el Distrito Springhill, Magallanes

(Conclusión)

4) DEPOSITACION Y DISTRIBUCION DE LA FORMACION SPRINGHILL

Durante la transgresión marina del Neocomiano, el mar avanzó sobre una extensa peniplanicie que había sido labrada en la Serie Tobífera al término del Jurásico (?). Entre las arcillas del Cretácico Inferior y la Serie Tobífera se encuentra la formación Springhill, constituida por depósitos de variado origen.

Una prolongada degradación, tal como la sufrida por la Serie Tobífera, tuvo que resultar en la formación sobre la peniplanicie de una cubierta de arenas y arcillas fluviales, depósitos eólicos y residuales, etc. La transgresión marina fué precedida por un lapso de ambientes parálcos, durante el cual se pudieron formar pantanos y barras de arena. La abundante vegetación de estos pantanos ha originado las arcillas carbonosas y las capas de carbón de la formación Springhill, tan frecuentes en ciertas zonas. Finalmente, el mar avanzó cubriendo la superficie con una sábana de arena. No todos los depósitos formados sobre la peniplanicie han sido conservados, sino que muchos deben haber sido destruidos por la transgresión marina.

Pero, aquí y allá deben permanecer aún restos de depósitos residuales, de arenas y arcillas fluviales y lacustres y de sedimentos eólicos. Dado que la importancia económica de la formación Springhill depende esencialmente de su porosidad, es también necesario mencionar aquí aquella porosidad producida por la meteorización y lixiviación de la Serie Tobífera por las aguas subterráneas, durante la degradación de la peniplanicie. Se ha observado que este tipo de porosidad se desarrolla, en ciertos pozos, hasta más de 20 m. debajo de la base de la formación Springhill (30). Al lixivarse las bases Na_2O , K_2O , y CaO , la sílice es redepositada como sílex en la superficie de la peniplanicie o en forma cristalizada como crecimiento secundario del cuarzo.

La existencia de capas carbonosas, rastros de plantas, estratificación cruzada, canales de erosión y lixiviación, etc. revelan el carácter continental o parálico de cuerpos de la formación Springhill y la presencia de glauconita, piritita, fósiles marinos y una sedimentación más uniforme, el de los cuerpos marinos. Se ha encontrado que en las areniscas marinas el material de cementación es cuarzo secundario, caolinita o carbonato de calcio. Cuando se trata de cuarzo secundario, la permeabilidad suele ser excelente, y considerando el carácter más uniforme que tienen las areniscas marinas, se comprende por qué en este caso la arenisca es una excelente productora de petróleo o gas. Por otro lado, en las areniscas de origen continental el cemento es arcilloso —caolín sin cristalizar— y tiene una permeabilidad muy baja. Las areniscas con cemento de cuarzo secundario, que pueden ser muy permeables, son duras para perforar, mientras que las con cemento arcilloso, de permeabilidad baja, son blandas para perforar.

El relieve de la peniplanicie es de interés porque debe ser uno de los factores que controlan la distribución de la formación Springhill. A pesar del enorme lapso de tiempo que representa la formación de una peniplanicie, la degradación no logra destruir totalmente el relieve. De la degradación prolongada nace una superficie ondulante, ajustada a la dureza relativa de las rocas expuestas en la superficie. Se forman así, por ejemplo, monadnocks o altos topográficos donde afloran rocas resistentes. Además, el sistema de drenaje senil que se establece sobre una peniplanicie está caracterizado por meandros, lo cual revela la característica agradable del sistema de drenaje. Aunque los monadnocks logran persistir, los agentes degradantes son en ellos relativamente muy activos y remueven rápidamente cualquier depósito superficial. Por otro lado, el perfil de equilibrio entre erosión y deposición, que implica la transgresión marina y del cual hablo más adelante, está condicionado principalmente por el relieve regional de la peniplanicie, de modo que es concebible que algunos monadnocks sobresalgan sobre este perfil de equilibrio. Entonces, salvo circunstancias especiales, la sábana de arena marina tampoco puede depositarse sobre ellos. En las faldas de los

(30) Las únicas evidencias, que hay por el momento, de que es posible obtener producción de la Serie Tobífera corresponden al pozo VE-1, donde se obtuvo gas seco de una zona de 15 m. con porosidad secundaria, y el pozo CM-11 que produce gas y condensado de una sección que parece ser roca tobífera meteorizada.

monadnocks se forman depósitos de talus, que al litificarse darían lugar a brechas; conteniendo tierra fósil, fragmentos de material tobífero o de la roca que constituye los monadnocks. En las zonas bajas de la peniplanicie es más fácil la conservación de los depósitos continentales, ya que allí tienen posibilidad de escapar a la acción erosiva de las olas. Arcillas ricas en materia orgánica, que se litifican como arcillas negras y cafés, son frecuentes en estas zonas bajas.

La formación de una sábana de arena marina resulta del equilibrio de dos factores opuestos: depositación de material transportado y erosión en la base de las olas. A medida que aumenta el espesor de la sábana de arena, ésta queda más y más expuesta a la erosión de fondo de las olas. La tendencia a depositarse varía de acuerdo con la afluencia de material transportado e inversamente con la profundidad de agua; en cambio, la fuerza erosiva de las olas varía inversamente con la profundidad. Estos dos factores, dadas las otras condiciones, se equilibran para un cierto perfil de fondo, que se llama por esto perfil de equilibrio. Al iniciarse la depositación comienza a rellenarse el espacio entre el fondo y el perfil de equilibrio con material transportado desde la orilla, proceso que avanza desde la orilla. El espesor normal que puede alcanzar la sábana de arena es la distancia entre fondo y perfil de equilibrio, espesor que aumenta al alejarse de la costa. Sin embargo, el perfil puede rellenarse sólo hasta cierta distancia de la costa, más allá de la cual el espesor comienza a disminuir, ya que la afluencia de material es limitada. De modo que, en condiciones como las descritas, se debe esperar que la arena comience a disminuir de espesor a cierta distancia de la costa. El concepto de perfil de equilibrio explica como es posible que las arenas marinas de la formación Springhill presenten espesores máximos similares a través de grandes distancias, a pesar de variaciones locales de espesor. Continuamente los granitos de arena son transportados a mayor y mayor profundidad, alejándose de la costa, de modo que el tamaño de grano debe disminuir con la distancia a la costa. Por otro lado, el perfil de equilibrio, que depende de la fuerza erosiva de las olas, no es absolutamente estable, sino que durante las tormentas el material depositado es revuelto hasta cierta profundidad. Naturalmente, durante este proceso, los granos pequeños son retirados con mayor facilidad de la parte alta para ser llevados a mayor profundidad, lo cual se traduce en un aumento del tamaño medio desde la base al techo. Esta relación ha sido observada para cuerpos marinos de la formación Springhill en los pozos de Delgada, Angostura, Manantiales, Chañarcillo y Victoria Norte. Ya que el material de la sábana de arena marina puede haber sido transportado horizontalmente a distancias apreciables, su tamaño de grano puede ser diferente que el de los depósitos continentales yacentes.

En el área de Delgada los 15 metros superiores corresponden a la sábana de arena marina, de un tamaño medio de grano de 1,1 mm. Entre 20 y 28 m. basales son sedimentos continentales, con arenas de tamaño de grano de 0,35 mm. De modo que la arenisca superior no podría haberse derivado

de los sedimentos continentales. El espesor total de la formación Springhill oscila entre 30 y 43 m.

En el área de Espora las areniscas marinas alcanzan 25-33 m., con un tamaño de grano de 0,35 mm. Sobre ellos descansan sedimentos parálícos, 0-3 m., de un tamaño de grano que varía entre 0.5-0.8 mm. Los depósitos continentales basales varían entre 4-18 (?) m. y el total de la formación Springhill oscila entre 32-52 m. (?). Una depositación en aguas más tranquilas, —posiblemente una mayor distancia de la costa— de la arenisca marina respecto al área de Delgada está sugerida por las relaciones de tamaño de grano.

En el área de Angostura la arenisca marina alcanza unos 10 m., con un tamaño medio de grano de 0,65 mm. o sea intermedia entre las áreas de Delgada y Espora.

En el área de Manantiales —donde se han efectuado los estudios más detallados— se han distinguido tres unidades principales de la formación Springhill: arenisca superior, arcilla carbonosa y arenisca inferior. La arenisca superior 0,5-4 (?) m., es marina, no tiene carbón y tiene algo de glauconita. El tamaño medio de grano es 0,35 mm., y aumenta de la base al techo, 0,28-0,53 mm., lo que indica su depositación como sábana de arena marina. El ambiente parálíco de la arcilla intermedia está indicado por la materia carbonosa; su espesor varía entre 0 y 16 m. Como la arcilla carbonosa y la arena inferior tienen espesores complementarios —la arcilla carbonosa engrosa hacia el oeste y la arenisca inferior hacia el este— y como se requiere la existencia de una barrera entre el mar y tierra para que se hayan formado pantanos ricos en vegetación, la arenisca inferior representa probablemente esa barra de arena. Por otro lado, la erosión eólica parece haber sido un elemento importante en la clasificación, esmerilamiento y redondeamiento de esta arena. El espesor de esta arenisca varía entre 3 y 28 m. Al suroeste de Manantiales debió existir una isla donde la Serie Tobífera se estuvo erodando durante la depositación de la arena marina, y que correspondería actualmente a un área sin arena. El espesor total de la formación Springhill en el área de Manantiales debe variar entre 0 (?) y 30 m.

En el área de Chañarcillo la arena marina tiene un desarrollo de 8-14 m., con un tamaño medio de grano de 0.3 mm. Le siguen hacia abajo, depósitos de origen parálíco o continental con un espesor de 30-89 (?) m., formados principalmente por arcillas, en cuya parte superior hay arenas de un tamaño medio de grano de 0,2-0,35 mm.

En Victoria Norte hay, en la parte superior, 15-18 m. de arenas tal vez de origen marino, con un tamaño medio de grano de 0.35-0.45 mm. Le siguen sedimentos continentales de 10 o más metros de potencia.

En Victoria Sur y Sombrero la parte superior es de origen marino, 20-32 m, con un tamaño medio de grano de 0,3-0,4 mm. Le siguen depósitos continentales sólo parcialmente reconocidos por el trépano. Hacia el este de Victoria Sur y Sombrero la arena no se ha depositado debido al relieve de la peniplanicie. En el pozo SE-1 se ha encontrado que el piso

de la peniplanicie está constituido por pórfido cuarcífero, que es una roca de mayor dureza que las tobas de la Serie Tobífera, de modo que el afloramiento de los pórfidos en la superficie de la peniplanicie indica la existencia de monadnocks, en los cuales no es probable encontrar la formación Springhill, tal como sucedió. La forma y extensión de este monadnock depende de la potencia y actitud estructural que tengan allí las coladas de pórfido. La existencia en los sismogramas de esta zona, de pulsos discordantes de reflexión, provenientes directamente debajo de la formación Springhill, puede corresponder al afloramiento de los pórfidos. Como los pórfidos presentarían una fuerte discordancia angular con la superficie de la Serie Tobífera, los monadnocks que marquen su afloramiento podrían ser lomos alargados y algo rectilíneos, a menos que las coladas sean de gran potencia y siempre que la estructura fuera simple, lo que no parece ser el caso. La escarpa más pronunciada se formaría donde aflore el yacente de los pórfidos. Otra comprobación de que el afloramiento de los pórfidos **marca la posición** de un antiguo alto topográfico es la existencia de brecha sedimentaria en algunos pozos en las cercanías de la zona sin arena, correspondiendo a depósitos de talus al pie del faldeo.

En Río del Oro el cuerpo de arena marina alcanza un espesor de 22 m. o más, y está cubierto por un cuerpo de origen parálico de 7 m. de espesor y tamaño de grano de 1 mm. Pueden haber algunos metros de sedimentos continentales en la base. La arenisca está muy cementada por material arcilloso, y tiene baja permeabilidad (25 md.).

En el área de San Sebastián la arena es de origen marino y está muy cementada por recristalización, alcanzando un espesor de 21 m. Su tamaño medio de grano es de 0,3 mm., y aumenta de 0,2 mm. en la base a 0,40 mm. en la parte alta.

La variación del tamaño medio de grano puede ser una indicación de la dirección de transporte y, en el caso de la depositación de la sábana de arena marina, de la posición de la costa. El tamaño de grano aumenta hacia el oeste de Manantiales y Espora de 0,3-0,35 mm. hasta 0,65 mm. de Angostura y 0,9-1,1 mm. en Delgada. Lo cual indica la afluencia de granos, por lo menos de tamaño grueso, desde el oeste en esta área, y que pudo alcanzar hasta la zona de Río del Oro, formando la arena superior de 1 mm. de tamaño de grano. Esta tendencia a engrosar hacia el oeste es perceptible también desde Sombrero hacia Victoria Sur y Victoria Norte, aunque con mucho menor intensidad. La figura 3.8 corresponde a un cuadro muy generalizado de la variación de tamaño de grano en las arenas marinas de la formación Springhill. Se nota también una tendencia de la permeabilidad a aumentar hacia el noreste en el área Victoria-Chañarcillo-Sombrero, a pesar de la disminución de tamaño en esa dirección. Así, la permeabilidad que es de 10 md. en Victoria Sur sube a 100-200 md. hacia Victoria Norte y Sombrero. Las arenas gruesas pueden presentar también gran permeabilidad, como en Delgada por ejemplo. Debe ser más difícil obtener un cuadro regional de la variación de tamaño de grano de los sedimentos continentales, debido a innumerables factores

locales, pero en todo caso esto no se puede intentar por falta de datos. El aumento de tamaño de grano hacia el oeste, podría indicar que el material fué transportado de oeste a este en esta zona. La barra de arena al este de Manantiales y la zona pantanosa al oeste sugieren también una línea de costa al oeste de esta área.

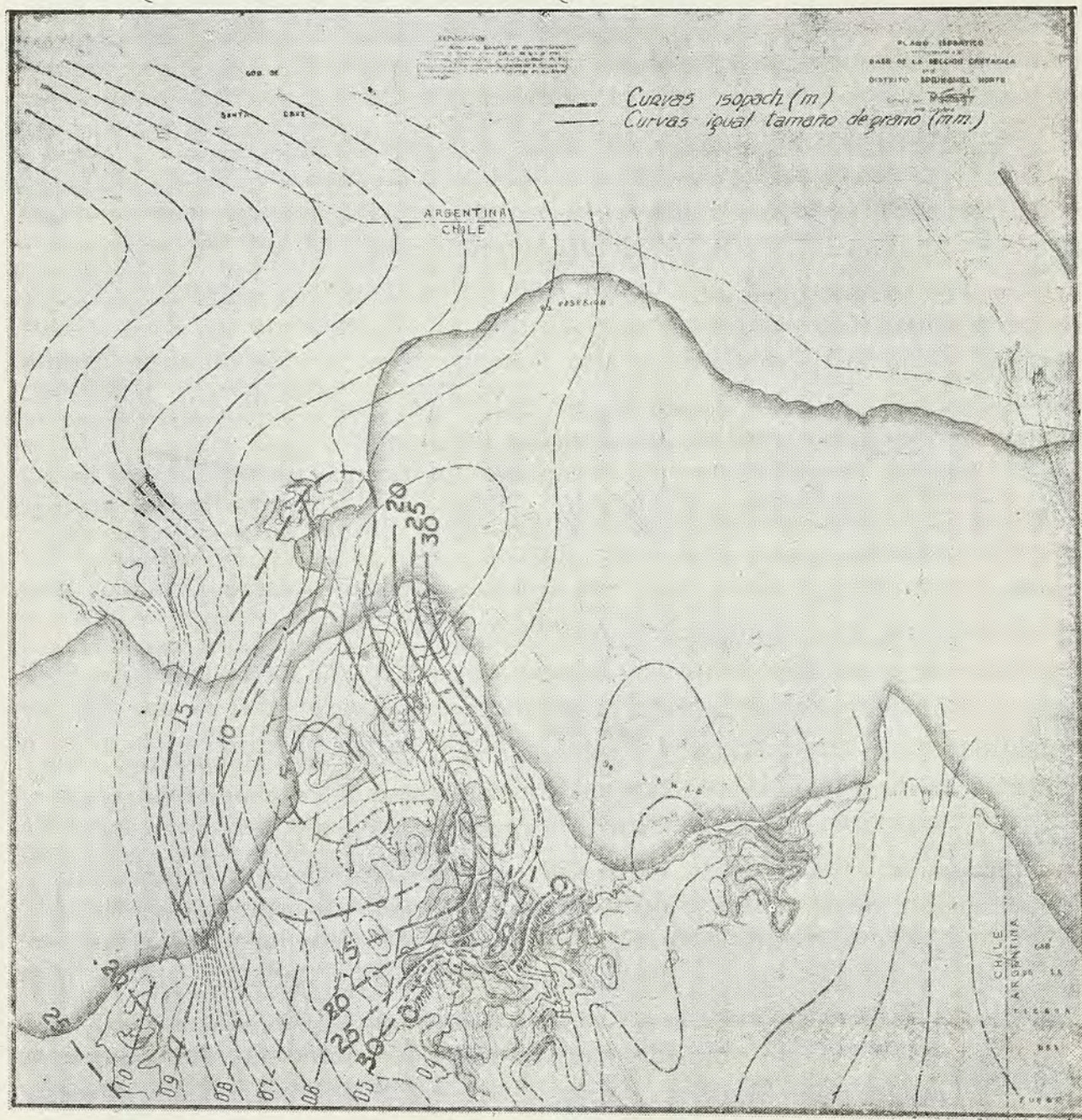


Fig. 3.8). - Variaciones regionales del espesor y del tamaño medio de grano de los cuerpos de arena marina de la formación Springhill

Prescindiendo de variaciones locales, es posible trazar un cuadro generalizado (Fig. 3.8) del espesor de la parte marina, superior, de la formación Springhill en la zona Delgada-Río del Oro-Sombrero. En el área de Manantiales he tomado con este objeto el espesor de la arenisca superior más la arcilla carbonosa, ya que en conjunto equivalen posiblemente a la sábana de arena marina de las otras zonas. Se encuentra que este espesor aumenta gradualmente en torno a una zona alargada en sentido norte-sur y centrada aproximadamente en el área de Punta Baja; desde

5 m. o menos de espesor en el centro a más de 30 m. de espesor en los flancos. Esta distribución queda modificada algo bruscamente en la zona de Sombrero y Victoria Sur, donde, junto con ser desplazadas las isopach hacia el oeste, el espesor cae rápidamente a cero. Hay, por lo tanto, un contraste entre los modos de disminución de espesor en torno a Punta Baja y en el borde sur del área, lo cual sugiere causas diferentes. Atribuyo el primer efecto al relieve suave de un amplio arco estructural contemporáneo con la depositación de la arena y el segundo a la presencia del faldeo relativamente más abrupto del monadnock de pórfido que existiría al sur de Sombrero y Victoria Sur. Las leyes que rigen la depositación de una sábana de arena marina sobre una superficie con relieve deben ser complejas; sin embargo, por semejanza con otros fenómenos físicos, me parece que la extensión de zona sin arena al sur de Victoria y Sombrero no debería ser muy grande dado el escaso efecto que ha tenido sobre la variación del tamaño de grano y por lo brusco de la modificación de las isopach. Naturalmente, que esto no pasa de ser una especulación teórica, que tiene el único mérito de orientar donde no habría ninguna otra indicación.

Es muy difícil estimar en qué extensión del Distrito Springhill está ausente la formación Springhill, debido a la complejidad de factores que intervienen en el problema. Sin embargo, se puede observar que no es probable que esta extensión sea una proporción muy grande del área en que se han efectuado exploraciones, ya que, estadísticamente, la proporción de área sin arena debe guardar estrecha relación con la proporción de pozos que no la hayan encontrado. Y esta última no ha sido elevada. Efectivamente, de 14 pozos de exploración perforados en el Distrito Springhill, en territorio chileno, en sólo 2 ha estado ausente, o sea en un 14%. Sin embargo, puede ser que haya alguna relación sistemática entre áreas sin arena y áreas estructuralmente positivas —que es donde se trata de ubicar los pozos de exploración— en cuyo caso este método probablemente sobreestimaría estas áreas. Si aplicamos el mismo criterio al total de los pozos ya perforados, se llega a la cifra de 6%, que naturalmente es mucho menor que la anterior, ya que al tratarse de una agrupación de pozos es posible evitar con bastante éxito las zonas sin arena. De modo que se puede estimar, en forma muy somera, que no más de 14% del área del Distrito Springhill carecerá de arena.

Otra cuestión de importancia es el tamaño de las zonas sin los cuerpos principales de arenisca, o sea si se trata de muchas áreas pequeñas o unas pocas grandes. No hay aún antecedentes suficientes para decidir esto, sin embargo, tengo la impresión de que por lo general son del orden de unas pocas decenas de km².

La exposición anterior demuestra que las variaciones laterales y verticales de la formación Springhill son de tal importancia, que afectan apreciablemente su valor económico como roca acumuladora de petróleo. No parece conveniente limitar el concepto de Formación Springhill a los cuerpos superiores, formados principalmente por areniscas, como se ha hecho

hasta ahora, sino extenderlo a las arcillas intermedias que se han encontrado en algunos pozos. Después de algún número de pozos, es posible prever en cierta forma la distribución de espesores de los cuerpos de arenisca marina, tal como ya he indicado (Fig. 3.8). Hasta ahora se ha encontrado que las areniscas de mayor valor económico son las de origen marino, de grano fino y poca recristalización o las de grano grueso y limpias. Hay que destacar también el hecho que las areniscas marinas se presentan aumentando de espesor en los perímetros de la zona conocida —de Delgada, Río del Oro y Sombrero— de modo que sería posible encontrar cuerpos aún más potentes que los ya conocidos. El ritmo de aumento de espesor es más fuerte en el flanco oriental de la zona. No habría podido lograr los cuadros regionales descritos si hubiera considerado las características de más detalle de la formación Springhill; precisamente allí está la dificultad del problema. Es necesario un cierto grado de generalización.

5) OCURRENCIAS DE GAS Y PETROLEO EN LA FORMACION SPRINGHILL

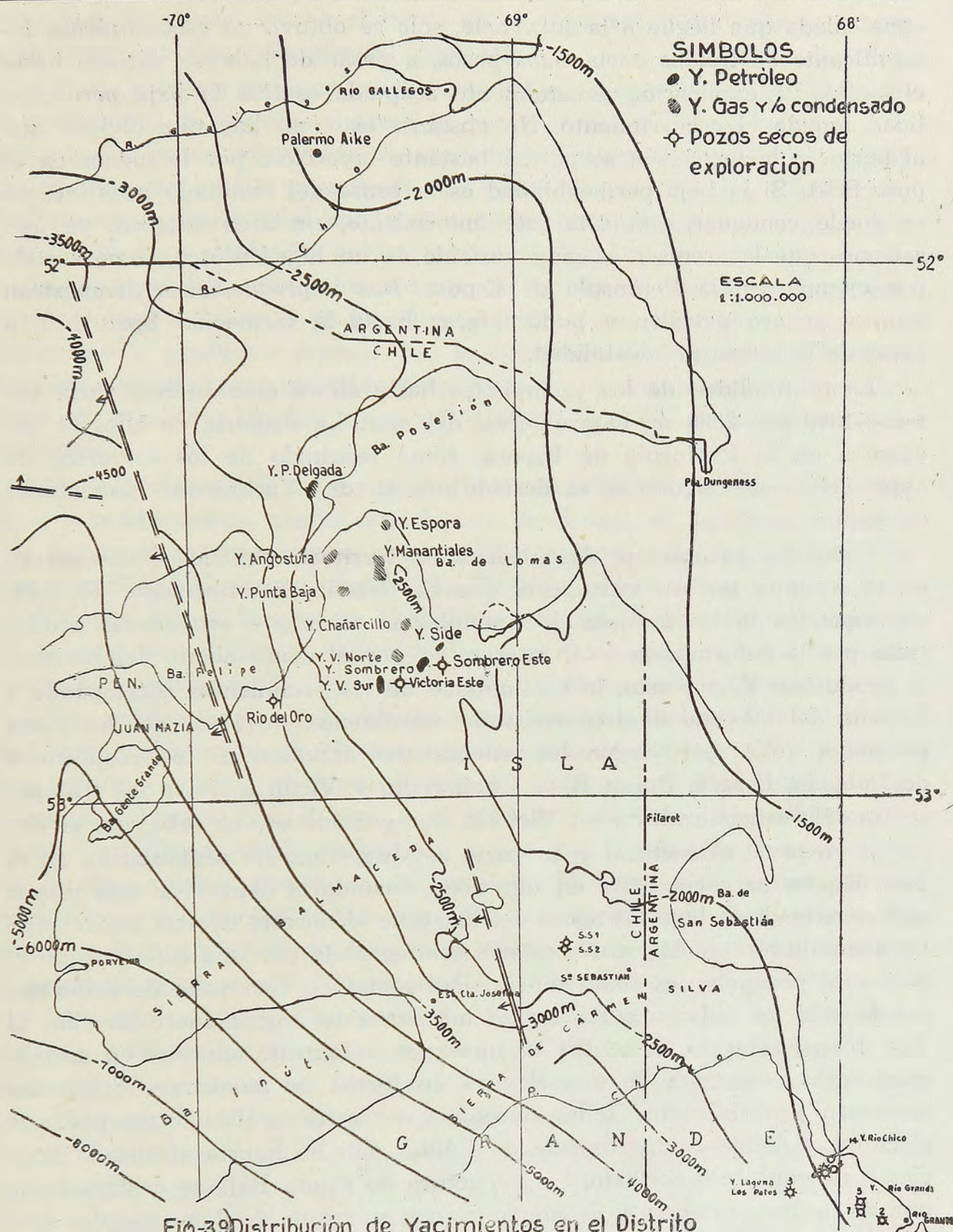
5.1) Antecedentes

La formación Springhill, en territorio chileno, ha sido probada hasta la fecha en 14 estructuras: 5 corresponden a yacimientos de petróleo, 5 de gas y condensado y 4 han resultado estériles. Y, en territorio argentino, se ha probado en 4 estructuras: 1 ha resultado productora de petróleo, 2 de gas y condensado y 1 estéril. En suma, es un hecho que existen acumulaciones de petróleo y gas desde Palermo Aike, Gobernación de Santa Cruz, siguiendo por territorio chileno hasta Río Grande, Gobernación de Tierra del Fuego, a través de una distancia de 270 km. (Fig. 3.9). Las estructuras en las cuales los resultados han sido negativos, son 4 en territorio chileno y 1 en territorio argentino, tal como se explica en la tabla a continuación:

RESULTADOS NEGATIVOS

<i>Estructura</i>	<i>Explicación</i>
Victoria Este	Sin arena
Sombrero Este	Sin arena
Río del Oro	Posible producción gas. No se probó.
San Sebastián	Impregnaciones de petróleo. ¿Escasa permeabilidad causa del resultado negativo?
Río Chico, Gob. de Tierra del Fuego	Muy poca arena.

Al considerar la formación Springhill, que se extiende a través de una extensa área de la cuenca, es necesario analizar y explicar en alguna for-



ma el resultado negativo obtenido en los pozos San Sebastián 1 y 2. Esto es de cierta importancia, pues el resultado negativo podría tener un significado regional, lo que limitaría considerablemente la extensión de las áreas favorables. En estos pozos la arenisca es marina, está fuertemente cementada por cuarzo y material intersticial glauconítico, la permeabilidad medida es baja y además la arenisca está saturada de petróleo. Aunque la presión de formación parece ser equivalente al peso de la columna de

agua salada que llegue a la superficie, sólo se obtuvo un escurrimiento insignificante de flúidos hacia estos pozos, a pesar de haberse vaciado hasta el fondo. La explicación generalmente aceptada es que la baja permeabilidad impide el escurrimiento. No obstante esto, no hay que olvidar que al perforar la formación se perdió bastante inyección, por lo menos en el pozo SS-1. Si la baja permeabilidad es la causa del resultado negativo, no se puede condenar, con sólo este antecedente, un área extensa, ya que sabemos que la arenisca es muy variable de un lugar a otro, como sucede por ejemplo en la Península de Espora. Las impregnaciones demuestran que se generó petróleo y pudo migrar hacia la formación Springhill, a pesar de la escasa permeabilidad.

La profundidad de los yacimientos hasta ahora descubiertos varía entre —1800 y —2300 m. bajo el nivel del mar. La mayoría de ellos se encuentra en la Península de Espora, como resultado de los esfuerzos de exploración que siguieron al descubrimiento del Yacimiento Manantiales en 1945.

Todos los yacimientos descubiertos en territorio chileno se encuentran en la segunda terraza estructural que he descrito anteriormente (§ 3.2), correspondiendo las trampas de acumulación mismas a estructuras producidas por la deformación local intercretácica y el acunamiento del horizonte productor. Y, por esto, la profundidad de los yacimientos corresponde a la zona del máximo de frecuencia de distribución de áreas del horizonte productor (Fig. 3.4). Según los antecedentes actuales, en los yacimientos de Delgada, Espora, Punta Baja, Chañarcillo y Victoria Norte las trampas serían sólo estructurales y en Victoria Sur y Sombrero se sabe que el cierre es en parte estructural y en parte estratigráfico. La acumulación en el Yac. Espora se encontraría en una zona secundaria dentro de una mayor que se extendería bajo las aguas del Estrecho al noreste de este yacimiento. La acumulación en Angostura estaría condicionada por una zona en que el horizonte productor es relativamente horizontal en una zona de inflexión, por lo cual los hidrocarburos serían incapaces de migrar fuera de ella. El Yac. Manantiales se encuentra en una zona netamente anormal en sentido estructural —se trata de una flexura en forma de montura— donde intervienen probablemente fallas o condiciones estratigráficas para producir el cierre y donde la distribución de flúidos aún no habría alcanzado posiciones de equilibrio perfecto. La estructura de Punta Baja se destaca como una de las más extensas y de mayor cierre; su forma de domo regular contrasta con la de las otras estructuras. Tal vez la estructura de relieve más pronunciado es Chañarcillo, un lomo irregular alargado. En Victoria Norte y Victoria Sur la estructura tiene forma de domo irregular. Sombrero y Side son terrazas antepuestas a subidas relativamente bruscas del horizonte. En Sombrero el acunamiento del horizonte productor es esencial para producir el cierre.

Al comparar la distribución de las arenas marinas de la formación Springhill (Fig. 3.8) con la distribución de las acumulaciones, se observa que las dos acumulaciones más importantes de petróleo, Sombrero y Vic-

toria Sur, se apoyan contra el borde de la zona sin arena, que en ambos casos corre en dirección general norte-sur.

No es aparente ninguna separación regional entre áreas principalmente productoras de petróleo y áreas de gas (ver Fig. 3.9). Junto a los yacimientos con menor proporción de gas, como Victoria Sur y Sombrero, hay yacimientos casi exclusivamente de gas, como Victoria Norte y Chañarcillo. Hay una gran variabilidad del tamaño de las acumulaciones y la gran proporción de gas —según las cubicaciones actuales. La proporción, en condiciones de superficie, entre los volúmenes de flúidos provenientes de casquetes de gas y de zonas de petróleo es 2200: 1, que equivale a 8:1 dentro del horizonte productor mismo. Con la excepción de Sombrero y Victoria Sur, las acumulaciones consisten principalmente en gas húmedo— que contiene un promedio de 0,25 litros/m³ (1,9 gal/M.C.F.) de productos condensables.

De la comparación de los cierres estructurales con los contactos gas-agua o petróleo-agua, según sea el caso, se deduce el significativo hecho que las trampas descubiertas estarían llenas hasta su punto de rebalse. Esto ocurriría en los yacimientos de Delgada, Chañarcillo, Victoria Norte, Victoria Sur y Sombrero. Probablemente, igual situación se presenta en Espora, que tiene un pequeño cierre y en Angostura, que tiene un cierre muy precario. En Manantiales existen otras complicaciones.

Hay evidencias de irregularidades en los contactos de flúidos dentro de ciertos yacimientos. En Manantiales los contactos gas-petróleo y petróleo-agua suben hacia el noroeste del yacimiento 11 y 8 m. aproximadamente. De Espora 1 a Espora 2 el contacto gas-agua baja aproximadamente 7 m. Tiene especial interés el hecho que la zona de transición entre petróleo y agua alcance en ciertos casos un espesor de varios metros; en Espora y en Sombrero esta zona sería de hasta unos diez metros. No obstante, la distribución de flúidos en cada trampa sigue en cierto grado el principio de separación gravitacional del petróleo y gas.

La uniformidad de las presiones de formación entre las diferentes trampas y el ascenso del agua a medida que se agotan los yacimientos, indican que la roca de acumulación —es decir la formación Springhill— tiene, regionalmente, continuidad de permeabilidad.

El valor económico de las diferentes acumulaciones de petróleo es muy variable, debido a cambios del carácter de la arenisca y del espesor de la columna de petróleo. Analizaré a continuación el aspecto de recuperación de petróleo, dejando de lado lo estrictamente económico. Clasificando la arenisca en tres clases, que se pueden considerar como características; arenisca buena: porosidad 19%, agua intersticial 20%, recuperación 40%; arenisca regular: porosidad 12%, agua intersticial 30%, recuperación de petróleo 30%, y arenisca mala: porosidad 8%, agua intersticial 55%, recuperación de petróleo 15%, y considerando el factor de formación 1,5 resultan las siguientes recuperaciones típicas de una hectárea-metro efectiva de arenisca:

de arenisca buena:	405 m ³ /hect. m.
de arenisca regular:	168 m ³ /hect. m. y
de arenisca mala:	36 m ³ /hect. m.

Como se ve, la importancia de la calidad de la arenisca es muy grande, ya que las recuperaciones pueden variar en una proporción mayor que 10:1. Esta fuerte variabilidad de la recuperación unitaria, por causa de la arenisca, predomina sobre el efecto del espesor de la columna de petróleo, como se desprende de la siguiente comparación:

Yacimiento Sombrero:

arenisca de calidad intermedia: arenisca útil 88%,
columna de petróleo 23,5 m. (o más),
recuperación por hectárea en la banda de petróleo: 3.470 m³/hect.

Yacimiento Victoria Norte:

arenisca buena; arenisca útil 88%,
columna de petróleo 2 m.,
recuperación por hectárea en la banda de petróleo: 800 m³/hect.

Yacimiento Victoria Sur:

arenisca mala; arenisca útil 66%,
columna de petróleo 20 m. (o más),
recuperación por hectárea en la banda de petróleo: 475 m³/hect.

La alta recuperación por hectárea en Sombrero se debe a la calidad de la arenisca y al espesor de la columna de petróleo.

La ventaja de la mayor columna de petróleo en Victoria Sur respecto a Victoria Norte (relación 10:1) queda más que compensada por la mala calidad de la arenisca. De modo que el factor más importante es la calidad de la arena. En el caso de una columna delgada de petróleo (de algunos metros) en una zona de arena buena, habría que resolver también el problema de la terminación del pozo para evitar los conos de flúidos. Naturalmente que una capa delgada de petróleo sólo tiene interés en aquellos sectores del yacimiento donde el manto sea pequeño.

La porosidad correspondiente a espacios intergranulares es la más frecuente y la que ha recibido más atención en el caso de la formación Springhill. Sin embargo, porosidad de fracturas puede ser también de importancia, y tal parece ser el caso en Victoria Sur. Este aspecto merece ser estudiado con más atención, ya que puede ser de importancia comercial y afectar los cálculos de reservas. También he llamado ya la atención (§ 4) al posible valor de las rocas tobíferas meteorizadas como rocas de acumulación. En el pozo SS-1 se encontró impregnaciones de petróleo en material tobífero hasta 30 m. bajo la base de la formación Springhill.

Los crudos de la formación Springhill en la Península de Espora son de base parafínica, gravedad 40 API, (0,825), 27-33% de nafta y no contienen azufre. El crudo de Delgada es de base intermedia-parafínica (según clasificación U. S. Bureau of Mines), gravedad 33,3 API, (0,859), posee un bajo porcentaje de productos livianos y un buen porcentaje de parafina sólida. El crudo de Palermo Aike, Argentina, tiene gravedad 42 API, (0,816) y 39% de nafta. Las impregnaciones de petróleo encontradas en la formación Springhill en los pozos de San Sebastián tienen una gravedad de 30,5 API (0,874).

Hasta aquí he analizado lo que se sabe con cierta certeza en cuanto a estas ocurrencias de petróleo y gas. Para avanzar más en su génesis y evolución necesitamos entrar en terreno más especulativo, lo que hago a continuación.

5.2) Origen, migración y acumulación

Al considerar la distribución de petróleo y gas dentro de la formación Springhill, en el sector que es el mejor conocido de Delgada-Río del Oro-Sombrero Este, se destacan los siguientes hechos:

- a) Cuando hay porosidad, no hay trampas secas;
- b) Las trampas estarían llenas hasta su punto de rebalse;
- c) Ha habido reacondicionamientos de flúidos, que aún no están totalmente terminados;
- d) El volumen total de gas predomina sobre el de petróleo en la proporción 8:1 en la formación productora misma;
- e) La proporción de gas varía mucho de un yacimiento a otro;
- f) Las mayores acumulaciones de petróleo, como también la menor proporción de gas, corresponden a yacimientos que se apoyan al este contra un borde sin arena de dirección norte-sur.

El hecho que las trampas estén colmadas, junto con la configuración tectónica regional en escalones ascendentes, obligan a admitir que a través de toda esta área ha habido una suficiente migración de petróleo y gas para llenar una a una las diferentes trampas y aun sobrepasarlas hacia el este. Las causas obvias de esta migración secundaria son los movimientos que ocurrieron durante el Terciario, que consistieron en esta parte de la cuencia, en un profundizamiento hacia el oeste. Este profundizamiento, como ya he explicado (§ 3.2), no consistió en un volcamiento general hacia el oeste, sino que el descenso se produjo en escalones, separados por bandas monoclinales en las cuales se encontró el volcamiento. He descrito este proceso en las secciones 3.2 y 3.4.

La migración primaria hacia la formación Springhill, o la formación del petróleo y gas dentro de ella, se debió efectuar antes que ocurrieran estos movimientos terciarios, porque el exceso de gas y petróleo que colmó las trampas de la segunda terraza tuvo que provenir del oeste, o sea, de la faja de volcamiento terciario que separa la segunda y tercera terrazas. Admitiendo, por un momento, que esta migración secundaria sea una realidad, veamos qué deducciones teóricas se desprenden de ella.

Como, de una trampa que alcance su punto de rebalse, el petróleo es el primero en escapar, las trampas más alejadas en el sentido de la migración deben contener una mayor proporción de petróleo, y a la inversa, la primera barrera de trampas junto a una zona de volcamiento debe tener gran proporción de gas. Las trampas estructurales retienen los hidrocarburos hasta el momento en que los movimientos de volcamiento llegan a anular su cierre. Sin embargo, puede suceder que el movimiento de volcamiento esté acompañado por la formación de fallas, lo que puede retener una cierta parte de los hidrocarburos, a pesar del volcamiento. Dentro de estas zonas de migración secundaria de los hidrocarburos, se debe esperar que el tamaño de las acumulaciones sea estrechamente comparable al tamaño de las trampas. Una trampa que sea particularmente grande puede retener gran parte de los hidrocarburos que lleguen a ella, de modo que las trampas que vengan a continuación a lo largo de las líneas de migración secundaria, pueden recibir sólo una pequeña cantidad de hidrocarburos.

La migración secundaria de los hidrocarburos, que se origina por los volcamientos del Terciario, vacía las trampas estructurales en las bandas monoclinales donde se concentra el volcamiento y los hace migrar hacia las terrazas estructurales intermedias. La migración secundaria en estas terrazas tiende a separar el gas del petróleo, siendo el petróleo movido más lejos que el gas. O sea, que al alejarse del borde superior de una banda de volcamiento, aumenta la proporción de petróleo, hasta que de nuevo comienza a disminuir al aproximarse a la siguiente banda de volcamiento.

La forma en que se realice la migración secundaria está condicionada por el cuadro estructural, del techo de la formación Springhill en este caso, contemporáneo con la migración. Los factores más importantes serían: volumen de cada trampa, curvas de cierre máximo, puntos de rebalse y líneas de máxima pendiente después de puntos de rebalse. También hay que considerar que las líneas de migración secundaria estarían afectadas por variaciones de permeabilidad de la arena. Una zona de baja permeabilidad puede deflejar la migración de los hidrocarburos o puede tener un efecto selectivo para la migración de gas y petróleo. El petróleo generalmente tiene preferencia por las rocas de poros más grandes. Por otro lado, una zona de alta permeabilidad puede canalizar gran parte de los hidrocarburos que migren.

Las áreas sin arenisca perturban la migración secundaria, ya que los hidrocarburos que migren tienen que rodearlas. El efecto que tengan sobre la distribución de gas y petróleo, debe variar cualitativa y cuantitativamente con el tamaño de las áreas sin arenisca. Si éstas son más pequeñas que las trampas estructurales, su efecto sería local, ya que alteraría poco el sistema de líneas de migración secundaria. Pero, si abarcan el área de varias trampas, el sistema de líneas de drenaje cambiaría fundamentalmente. La migración secundaria queda más impedida junto a aquellos bordes de las zonas sin arena que sean perpendiculares al sentido de la migración, y que se encuentren del lado en que vienen los flúidos. Detrás

de las zonas sin arena, en el sentido de la migración secundaria, hay un efecto de sombra, es decir, deben llegar muy pocos hidrocarburos. Las acumulaciones que allí se encuentren estarían condicionadas principalmente por las acumulaciones anteriores a la migración secundaria. Junto a los bordes que son paralelos al sentido de la migración secundaria los hidrocarburos podrían moverse libremente.

La redistribución de flúidos producida por los movimientos terciarios es indudablemente un fenómeno de gran complejidad de detalle, cuya elucidación completa debe ser imposible. No obstante, puede ser que algunas generalizaciones teóricas permitan explicar rasgos generales de la distribución de gas y petróleo, lo cual sería de gran valor para guiar la exploración. Si juzgamos por los antecedentes existentes, el gas predomina sobre el petróleo en este distrito, de modo que será necesario desarrollar estas teorías, para evitar así un alto porcentaje de pozos de gas.

Es difícil indicar qué fué lo que ocurrió antes de la migración secundaria. El petróleo y gas pudieron tener un origen local, dentro o cerca de la roca de acumulación, para concentrarse luego en las trampas producidas por la deformación intercretácica. Como la deformación intercretácica fué un proceso gradual, las trampas así formadas podrían haber captado los hidrocarburos desde un comienzo. Las más grandes y las que se formaron primero, habrían captado más. En todo caso, las acumulaciones debieron existir en las trampas intercretácicas antes de los movimientos del Terciario. Por otro lado, si los hidrocarburos se generaron a gran distancia de las actuales acumulaciones, no podrían haber migrado a ellas durante el Cretáceo, ya que durante gran parte de ese período las condiciones de gradiente regional fueron desfavorables — la estructura regional consistía en una extensa plataforma relativamente horizontal. Y sólo al producirse los movimientos del Terciario, habrían migrado los hidrocarburos. En este caso podría ocurrir que algunas de las terrazas contuvieran ninguna o pequeñas acumulaciones, si trampas intermedias en el sentido de migración hubieran sido capaces de retener todos los hidrocarburos. Analicemos, por lo tanto, la cuestión de origen.

Hay escasos antecedentes para juzgar cuáles han sido las rocas madres del petróleo y gas acumulado en la formación Springhill. No existe ningún estudio sobre contenido y tipo de materia orgánica de las rocas estratigráficamente próximas a la formación Springhill, que son: Serie Tobífera, Arcillas Intermedias (§ 3.1) y Estratos con Favrella steinmanni. La Serie Tobífera, por ser un depósito continental, no es de por sí una roca favorable para la generación de petróleo. Sin embargo, los hidrocarburos de la cuenca del Golfo de San Jorge, Argentina, se habrían originado en el Chubutense, complejo continental de arcillas, areniscas y tobas, que por un tiempo se confundió con la Serie Porfírica. Muy poco se puede decir de las Arcillas Intermedias, fuera de que no son marinas y, por lo tanto, no son típicas rocas madres. Los estratos con Favrella steinmanni, de origen marino, por su coloración parduzca, y a veces aceitosa, contienen materia orgánica que pudo dar origen al petróleo y gas. La for-

mación Springhill misma podría ser la roca madre, pero la uniformidad del tipo de crudo, la ausencia de materia orgánica en ella no lo hacen probable. El petróleo descubierto es de base parafínica, aunque en Delgada hay mezcla con hidrocarburos nafténicos. Si se considera que como los movimientos terciarios arquearon suavemente la sección cretácica en forma de una nariz, que desciende hacia el noroeste de Delgada, pudo haber afluencia hacia esta zona de hidrocarburos nafténicos que se habrían originado al noroeste y norte de Delgada. Con estos pocos antecedentes, parece aventurado adelantar una opinión; sin embargo, creo que las arcillas cretácicas inferiores, particularmente los Estratos con Favrella steinmanni, son la roca madre del petróleo y gas. Dado que existieron, durante la mayor parte del Cretácico, condiciones similares en todo este distrito, petróleo y gas se debieron generar y migrar hacia la formación productora en una zona considerablemente más amplia que la de los yacimientos actuales.

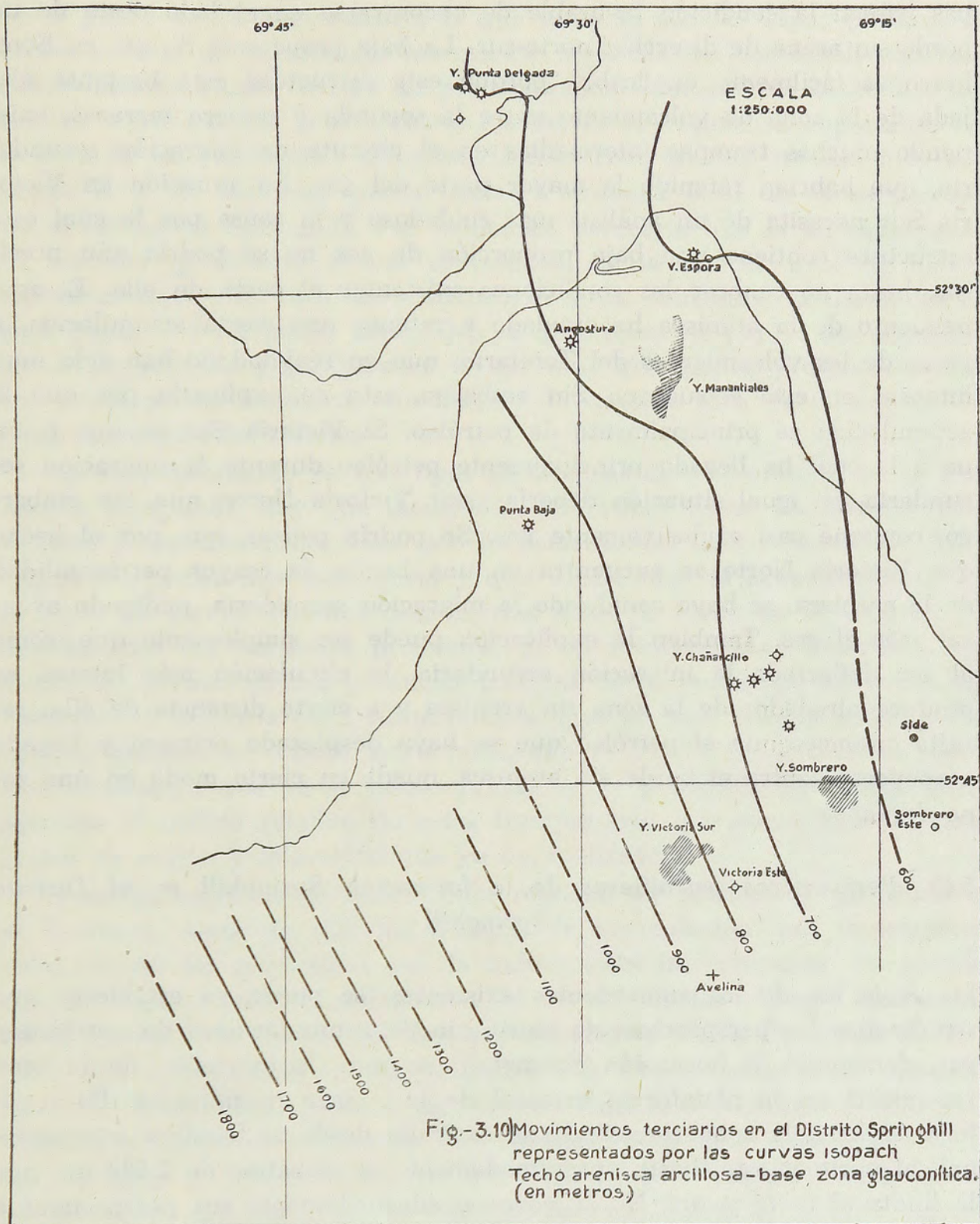
5.3) *Sobre el origen de las acumulaciones ya descubiertas*

En los yacimientos de Chañarcillo, Chañarcillo Sur, Victoria Norte y Victoria Sur los niveles de los contactos gas-agua y petróleo-agua son aproximadamente los mismos, indicando interconexiones al nivel de estos contactos. Esto se explica fácilmente al considerar que la configuración estructural corresponde en este sector a la segunda terraza (§ 5.1). Es curioso observar que el nivel de los flúidos en el Yacimiento Manantiales es comparable al nivel general en el área Chañarcillo-Victoria Sur. Como según la información actual (ver Fig. 3.2), existiría un profundo sinclinal entre estos dos sectores, la coincidencia de los niveles de flúidos puede ser meramente casual, o en cambio, significar que hay alguna conexión entre los flúidos de los dos sectores, o sea que el cuadro estructural existente sería incorrecto. Esto tendría particular interés al sur de Manantiales, ya que daría más realidad a la estructura de Manantiales Sur. Una evidencia directa de los movimientos de volcamiento sería la existencia de zonas con baja saturación de petróleo, ya que se originarían por la invasión del agua a una zona ocupada originalmente por petróleo, después que el volcamiento ha reducido el cierre estructural de una trampa. En el caso de Sombrero, esto ha sido reconocido hace algún tiempo y analizado con gran detalle (31). La inclinación hacia el sur de los contactos de flúidos en el Yacimiento Manantiales se explica fácilmente por los volcamientos del Terciario, ya que en esa zona estos fueron localmente hacia el sur, como lo demuestra el cuadro regional de estos movimientos (Fig. 3.10).

En la parte conocida del Distrito Springhill Norte, la primera barre-

(31) Mordojovich, C.: "Condiciones estructurales en el Yacimiento Sombrero". 22 de abril de 1952. Informe inédito.

"Historia estructural del Yacimiento Sombrero". 20 de enero de 1953. Informe inédito.



ra de estructuras, después de la faja de volcamiento, incluye Delgada, Punta Baja y la zona de El Arenal. Estas estructuras deberían tener una alta proporción de gas, y el tamaño de las acumulaciones estaría condicionado por el tamaño de las trampas. De modo que las más grandes tendrían un interés especial, como ser Punta Baja y el domo equivalente que sospecho existe en la zona de El Arenal. La segunda barrera de estructuras incluiría la culminación de Espora, Manantiales Sur y trampas aún no exploradas al oeste de Chañarcillo, Sara, Victoria Norte y Victoria Sur.

La migración secundaria ha sido deflectada por el área sin arena que se encuentra al sur de Sombrero y Victoria Sur (Fig. 3.8) Ambas tram-

pas poseen la condición favorable de encontrarse en el lado oeste de un borde sin arena de dirección norte-sur. La baja proporción de gas en Sombrero es fácilmente explicable, porque esta estructura está bastante alejada de la zona de volcamiento entre la segunda y tercera terrazas, existiendo muchas trampas intermedias en el circuito de migración secundaria, que habrían retenido la mayor parte del gas. La situación en Victoria Sur necesita de un análisis más cuidadoso y la causa por la cual esta estructura contiene una baja proporción de gas no se podría aún precisar, hasta no conocer las condiciones existentes al oeste de ella. El acuífero de la arenisca ha ayudado a retener una cierta acumulación, a pesar de los volcamientos del Terciario; que en realidad no han sido muy intensos en esta estructura. Sin embargo, esto no explicaría por qué la acumulación es principalmente de petróleo. Si Victoria Sur es una trampa a la cual ha llegado principalmente petróleo durante la migración secundaria, en igual situación debería estar Victoria Norte, que, sin embargo, contiene casi exclusivamente gas. Se podría pensar, que por el hecho que Victoria Norte se encuentra en una banda de mayor permeabilidad de la arenisca, se haya canalizado la migración secundaria, pudiendo avanzar más el gas. También la explicación puede ser simplemente que, como al ser deflectada la migración secundaria, la circulación más intensa se produce alrededor de la zona sin arenisca y a cierta distancia de ella, resulta entonces que el petróleo que se haya desplazado primero y llegado a apoyarse contra el borde sin arenisca, queda en cierto modo en una zona de reposo.

5.4) *Perspectivas petrolíferas de la formación Springhill en el Distrito Springhill*

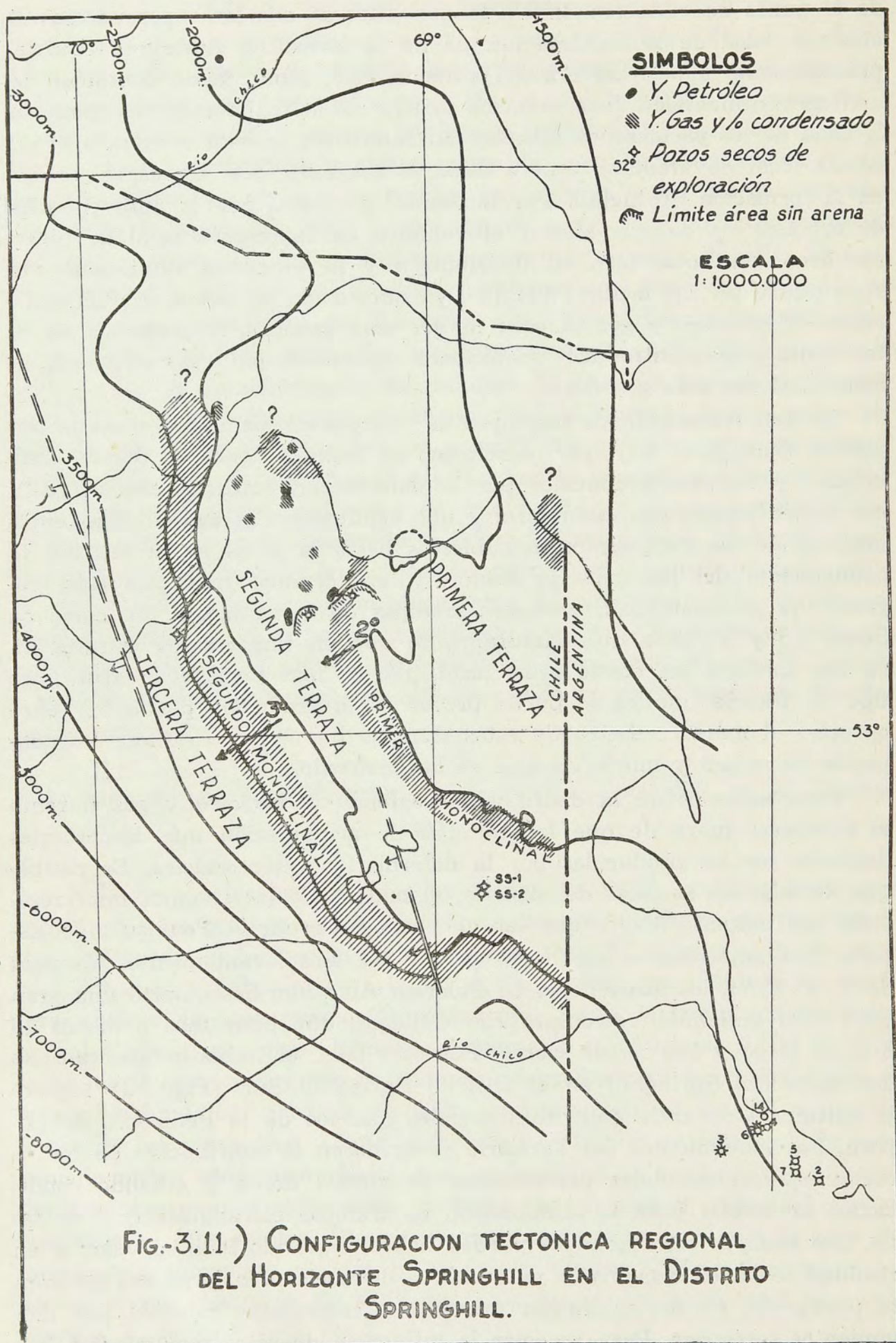
A la luz de los antecedentes existentes, se puede ya establecer que son buenas las perspectivas de existencia de acumulaciones de petróleo y gas, dentro de la formación Springhill, en toda la extensión de la zona reconocida en la plataforma oriental de la cuenca magallánica. En territorio chileno, la zona reconocida se extiende desde la frontera internacional, al norte y este, hasta aproximadamente la isobática de 2.500 m., que la limita al oeste y sur. No se conocen adecuadamente sus perspectivas a mayor profundidad, pero es probable que también allí existan acumulaciones de gas y petróleo. El problema que se plantea, en este caso, es más bien de orden económico: hasta qué profundidad es conveniente desarrollar los recursos petrolíferos de la formación Springhill, cuestión que es analizada en otra sección. Por el momento, asumimos aquí que la zona de interés más inmediato alcance hasta más o menos 2.500 m. de profundidad. Con una extensión de 8.000 km.², de los cuales 5.200 km.² están en tierra y 2.800 km.² bajo agua.

El horizonte productor se extiende probablemente por casi toda esta zona, existiendo sí áreas locales sin areniscas; que, muy someramente, se podría estimar abarcan no más de un 14% del área total (§ 4). Como des-

de el punto de vista económico, lo que interesa son las capas porosas, la ausencia local de la arenisca marina de la formación Springhill equivale prácticamente a una barrera de permeabilidad, aun cuando continúen las arcillas continentales. Esta arenisca marina es la realmente importante en la zona de los yacimientos actuales. Al referirme, en esta sección, a la ausencia local de arenisca, quiero decir la ausencia local de capas porosas en la formación Springhill. Por lo demás, parecería que la ausencia local de arenisca no debería afectar el volumen de la reserva total de hidrocarburos, sino más bien su distribución y la dificultad de descubrirla. Aun puede ser un factor favorable, ya que, como de por sí las acumulaciones de petróleo y gas parecen no ser muy grandes, la presencia de estas zonas puede introducir condiciones favorables para la existencia de acumulaciones más grandes.

Se han reconocido ya tres tipos de trampas de acumulación en la formación Springhill. Hay que mencionar, en primer lugar, los domos, anticlinales y terrazas producidos por la deformación intercretácica (§ 3.2), con cierre meramente estructural y que condicionan la acumulación en la mayoría de los yacimientos descubiertos hasta la fecha en el distrito. El acunamiento del horizonte productor, y, en términos más generales, barreras de permeabilidad, producen trampas de acumulación, tal como en Sombrero y Victoria Sur. Naturalmente que en una trampa estratigráfica hay también un efecto estructural, que es más bien secundario. Otro tipo de trampa que ya se puede prever es la producida por fallas. Para apreciar el mérito relativo de estas trampas hay que considerar los conceptos de origen y migración que ya he analizado.

Poco sabemos de la distribución regional de petróleo y gas durante el Cretáceo, fuera de que las trampas de acumulación más importantes debieron ser las producidas por la deformación intercretácica. Es posible que, en algunos sectores del distrito, el tamaño de las trampas intercretácicas sea bastante mayor que las que conocemos en la Península de Espora. Dos antecedentes me hacen pensar así. Los levantamientos sísmicos de Y. P. F. en los alrededores de Palermo Aike han descubierto una gran estructura anticlinal, estructura Río Gallegos, que tiene más o menos 10 km. de largo y 300 m. de cierre. Por otro lado, el isobático generalizado del Horizonte Springhill en el Distrito Springhill Sur (Fig. 3.3) sugiere la existencia de anticlinales más grandes que los de la Península de Espora. Los movimientos del Terciario perturbaron la distribución de hidrocarburos, desplazándolos parcialmente de ciertas áreas, y creando condiciones favorables para la acumulación en trampas estratigráficas y de falla. Las trampas estratigráficas pueden haber adquirido todo su valor si en realidad se ha efectuado una migración a distancia a lo largo del horizonte productor, ya sea migración primaria o secundaria inducida por movimientos terciarios. Para apreciar la influencia de estos movimientos hay que considerar la configuración tectónica regional (Fig. 3.11) y las gradientes regionales en las terrazas y bandas monoclinales. Las terrazas ya reconocidas presentan un ligero gradiente regional hacia el oeste y sur-



oeste, no más de $\frac{1}{2}^\circ$. Entre la primera y segunda terrazas el manteo aumenta a más o menos 2° en una banda monoclinical de más o menos 4 km. de ancho; lo que permite un descenso de la formación productora de más

o menos 150 m. La banda monoclinal entre la segunda y tercera terrazas es más ancho, más o menos 10 km., el manteo aumenta a más o menos 3°, lo que permite un descenso de más o menos 500 m. Considerando los manteos que son característicos de la deformación cretácica, el volcamiento en esta última banda sería suficiente para desplazar hasta 80-90% de los hidrocarburos acumulados. Esto queda impedido, en un grado difícil de apreciar, por fallas longitudinales y barreras de permeabilidad — áreas sin arenisca por ejemplo.

Poco sabemos de la distribución de gas y petróleo en la primera terraza. Tal vez los yacimientos argentinos de Palermo Aike, Gob. Santa Cruz, y los de la Gob. de Tierra del Fuego se encuentren sobre ella, cerca de su borde occidental. Nuevos pozos de exploración tendrían que establecer si existen la formación productora y acumulaciones de hidrocarburos. Las trampas de mayor importancia serían las producidas por la deformación intercretácica, ya que la inclinación regional de esta terraza es pequeña. En las vecindades de su borde occidental, trampas estratigráficas habrían tenido la oportunidad de retener hidrocarburos desplazados de la banda monoclinal.

Cerca de Punta Catalina, Tierra del Fuego, hay otro acentuamiento de la gradiente regional que puede definir aún otra terraza más oriental, pero que se encontraría en su mayor parte al este de la frontera.

Sucede que lo poco que ya sabemos sobre ocurrencias de petróleo y gas en la banda monoclinal entre la primera y la segunda terrazas calza en cierto modo con las teorías que he expuesto. Las acumulaciones de Sombrero y Side están controladas por el acuñaamiento de la arenisca productora y por fallas, que pueden resistir el volcamiento terciario. Aun más, la pequeña columna de petróleo en Side concuerda con la orientación desfavorable del borde de la zona sin arenisca respecto a la dirección de volcamiento. El gas, y especialmente el petróleo, acumulados regionalmente en esta banda, habrían sido desplazados, pero las trampas existentes habrían recibido petróleo como consecuencias de la migración secundaria en la segunda terraza. El desplazamiento de la sección cretácica desde la zona de Manantiales hasta Espora corresponde a movimientos terciarios. Entonces, puede ser que la primera banda monoclinal que he descrito continúe al norte de Side y vuelva hacia el oeste para seguir entre Manantiales y Espora; aunque también podría existir aquí un levantamiento independiente. En cualquiera de estos casos, son aplicables los conceptos de migración secundaria que he descrito. El escaso volumen relativo de petróleo en el Yac. Manantiales se explicaría por su migración hacia el norte. La inclinación misma de los actuales contactos de flúidos así lo indica. Los hidrocarburos que hayan escapado hacia el norte pudieron alcanzar la culminación del domo de Espora, o pudieron ser retenidos en su camino por barreras de falla o trampas estratigráficas. Esta posibilidad merece ser investigada. Es de esperar que existan numerosas otras trampas de los tipos descritos, a lo largo de esta primera banda monoclinal.

Tal vez con la excepción de Espora, todos los yacimientos que se han descubierto en territorio chileno, se encuentran en la segunda terraza estructural, tal como he descrito en la sección anterior. En esta terraza la migración secundaria de flúidos, provenientes de la segunda banda monoclinal, ha perturbado la distribución preterciaria de hidrocarburos. La zona de mayor complejidad se encuentra en el extremo sur de la Península de Espora, donde además hay que considerar la existencia de una barrera de permeabilidad representada por una, tal vez extensa, zona sin arenisca. La migración secundaria ha sido deflectada por la zona sin arenisca, con la complicación adicional que la zona sin arenisca se extiende parte en la segunda terraza y parte en la primera terraza. Si resultara que la zona sin arenisca es extensa y conexas entre sí, las mejores posibilidades para la existencia de grandes acumulaciones estarían en el flanco oeste de esta zona, ya que allí se angosta la banda con arenisca estrechando el paso a los hidrocarburos que migren desde el segundo monoclinal.

Como resultado del volcamiento terciario (más o menos 3°), es improbable que trampas estructurales hayan podido retener volúmenes apreciables de hidrocarburos en la segunda banda monoclinal; pero, en cambio, las condiciones para acumulación en trampas estratigráficas y de falla serían óptimas. En algunos lugares de esta banda pueden existir áreas sin arenisca o, más generalmente, barreras de permeabilidad. Los levantamientos sísmicos en el valle de San Sebastián demuestran la existencia de importantes fallas normales en el segundo monoclinal (ver por ejemplo Fig. 3.1). En la parte superior del monoclinal hay una falla normal, activa desde el Cretáceo, que podría formar una trampa ideal para acumular los hidrocarburos que hayan migrado hacia su borde superior durante los movimientos terciarios. Una situación similar se puede esperar en la Península de Espora, al oeste del área El Arenal, por ejemplo.

La tercera terraza estructural está establecida por muy pocos antecedentes y sólo hay un pozo de exploración en ella, Río del Oro-1. Probablemente, hay por lo menos acumulación de gas en la estructura Río del Oro. Generalizando el conocimiento que hay sobre las otras terrazas, se puede pensar que existan acumulaciones de hidrocarburos en la tercera terraza, condicionadas principalmente por trampas de deformación intercretácica.

Se puede intentar estimar el *orden de magnitud* de las *posibles reservas recuperables* de la formación Springhill hasta la isobática de 3.000 m., basándose en una extrapolación de lo ya conocido, es decir, partiendo de las cubicaciones en el sector mejor conocido: Espora - Sombrero - Victoria - Río del Oro. Considerando que las cubicaciones en los yacimientos y áreas inmediatas no son definitivas, que sólo parte de las trampas estructurales del sector han sido probadas hasta ahora y que cierta cantidad de hidrocarburos debió quedar retenida en las trampas de las bandas monoclinales, estimo que el *orden de magnitud* de las reservas recuperables de gas es de

150.000 - 250.000 millones de m.³ standard
y de petróleo de

45 - 70 millones de m.³.

Hay que destacar que ésta sólo es una estimación de la *posible reserva recuperable*, y no de la posible reserva *económicamente recuperable*, que debe ser menor. Un 85% de estas reservas se encuentra bajo tierra y bajo áreas cubiertas con no más de 20 m. de agua. Además hay que tener presente que esta estimación se limita a la formación Springhill en parte del distrito Springhill. Hay también posibilidades petrolíferas en otras formaciones en diferentes partes de la cuenca magallánica. La magnitud de la cifra correspondiente al petróleo es fácil apreciarla, pero no así la del gas. Se puede pensar en su energía calórica que es equivalente a la de

150 - 250 millones de toneladas
de carbón del tipo de la cuenca de Arauco.