

REVISTA

DE LA

ASOCIACION GEOLOGICA ARGENTINA

SUMARIO

N. MALUMIÁN, V. MASIUK Y E. ROSSI DE GARCÍA, Microfósiles del Cretácico superior de la perforación SC-1, provincia de Santa Cruz, Argentina...	265
MARCELO R. YRIGOYEN, Generalidades sobre la geología del petróleo y gas de la Unión Soviética.....	273
KITARO HAYASE Y JORGE A. DEISTAS, Presencia de mottramita en la zona de oxidación del yacimiento de plomo, cobre y zinc, mina Cruz del Sur, Los Menucos, provincia de Río Negro, República Argentina.....	300
RICARDO MON Y ANTÍSTENES URDANETA, Introducción a la geología de Tucumán, República Argentina.....	309
HUGO N. LUCERO Y CARLOS A. RINALDI, Consideraciones petrológicas y estructurales del faldeo oriental de la Sierra de los Gigantes, provincia de Córdoba, República Argentina.....	330
NOTAS BREVES:	
F. G. ACKÑOLAZA, J. L. BENEDETTO, M. KOUKHARSKY, J. A. SALTITY Y O. VIERA, Presencia de sedimentitas devónicas y neopaleozoicas en la Puna de Atacama, provincia de Salta, Argentina.....	345
MARTÍN HALPERN, Edades radiométricas de algunas rocas del basamento de las Sierras Pampeanas.....	346
COMENTARIOS BIBLIOGRÁFICOS.....	348

BUENOS AIRES

REPUBLICA ARGENTINA

1972

MICROFOSILES DEL CRETACICO SUPERIOR DE LA PERFORACION SC-1 PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA

POR N. MALUMIAN¹, V. MASIUK² Y E. ROSSI DE GARCIA³

RESUMEN

Son descriptos e ilustrados los microfósiles (ostrácodos y foraminíferos) del Cretácico superior de la perforación SC. 1, provincia de Santa Cruz. Un nuevo género de ostrácodo *Novocythere* se describe para los sedimentos del Aptiano-Albiano.

ABSTRACT

The microfossils (ostracoda and foraminifers) from the Upper Cretaceous of the SC. 1 well, Santa Cruz Province, are illustrated and described. A new genus: *Novocythere* (Ostracoda, *Cytheridea*) is described from Aptian-Albian sediments.

INTRODUCCION

El presente trabajo, complemento del publicado por Malumián et al. (1971) sobre la micropaleontología y sedimentología de la perforación SC. 1, tiene por objeto dar a conocer los microfósiles más conspicuos del Cretácico superior hallados por Malumián y Masiuk, es decir, la parte sistemática. El mismo tipo de análisis se hará con la sección correspondiente al Terciario.

La insuficiente cantidad de muestra originalmente disponible, dificultó el

conocimiento faunístico. La faúna es muy pobre en variedad y número, salvo para las sedimentitas ubicadas en los niveles superiores del Cretácico, donde se observa cierta diversificación.

La causa fundamental de esta escasez de microfósiles ha sido explicada y atribuida a las condiciones ecológicas desfavorables en la cuenca para el desarrollo de los mismos (Malumián et al., op. cit.). Debería sumarse además, dada la evidencia de la pobre calcificación que presentan los foraminíferos y ostrácodos, que se trate de una faúna de carácter septentrional de aguas templadas a frías, encuadraría dentro de las características dadas para la biogeoprovincia austral de Scheibnerova (1971 a, b) y que explicaría en parte, las condiciones ecológicas de la cuenca.

El registro asimismo de formas arenáceas atribuidas a los géneros *Textularia* y "*Spiroplectammina*" es significativa, pues no solamente en Cuenca

¹ Miembro de la Carrera del Investigador, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

² División Geología, Departamento Investigación y Desarrollo, Yacimientos Petrolíferos Fiscales.

³ División Paleontología, Dirección Nacional de Geología y Minería.

This One



Austral es nivel de importancia como elemento de correlación para sedimentos de esta edad, sino que en el mundo, parte del Cretácico superior se halla caracterizado y correlacionado por la presencia de foraminíferos aglutinados con características particulares que también presentan los del SC-1: el de *ser silíceos*, generando así, la problemática sobre el origen de la sílice, sea si es aglutinada o segregada, primaria o el resultado de reemplazo diagenético de una cóncula originalmente calcárea.

En el trabajo citado se acompaña también, la litología correspondiente a los microfósiles aquí estudiados, como asimismo, los demás datos referentes a ubicación, método de estudio, etc.

Se da a conocer un nuevo género de ostrácodo: *Novocythere*. Estudiado por la doctora Elsa Rossi de García, es el único microfósil calcáreo frecuente en el tramo cretácico de la perforación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dejar expresa constancia de su reconocimiento a las autoridades de Yacimientos Petrolíferos Fiscales por el apoyo brindado y el consentimiento para su publicación.

Al licenciado Francisco Nullo por las excelentes fotografías de los ostrácodos.

SISTEMATICA

Orden FORAMINIFERIDA

Eichwald, 1830

Familia NODOSARIIDAE Ehrenberg, 1838

Género LENTICULINA Lamarek, 1804

Lenticulina gaultina (Berthelin)

Lám. I, fig. 2

1880. *Cristellaria gaultina* Berthelin; Soc. Geól. France, Mém., ser. 3, t. 1, n° 5, p. 49, Est. 3, fig. 15-19.

1940. *Lenticulina gaultina* (Berthelin). Tappan; p. 101, lám. 15, fig. 11 a-b.

1943. *Lenticulina gaultina* (Berthelin). Tappan; p. 494, lám. 79, figs. 13-15.

Observaciones: los escasos ejemplares registrados están bien preservados, pero dado el carácter endeble de la cóncula se observan roturas en el caparazón.

Esta especie se distingue por su amplio umbón, suturas algo limbadas y conspicuas, carena periférica amplia y rápido crecimiento de las cámaras en el sentido de su ancho.

Distribución: 953-958 m, Aptiano-Albiano. Las formas registradas hasta los 1018 m, se asignan con dudas a esta especie. Son en general especímenes pequeños y probablemente sean representantes de una microfauna con características de "enanismo".

En Sudamérica se registró en la Formación Riachuelo (Albiano) de Sergipe (Brasil), siendo la especie más frecuente y típica de esta formación (Petri, 1962).

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.406.

Género PALMULA Lea, 1833

Palmula sp. cf. *P. asiatica* Fursenko, 1949

Lám. I, fig. 1

cf. 1949. *Palmula asiatica* Fursenko; p. 67, lám. 3, fig. 3 a-b.

cf. 1960. *Palmula asiatica* Fursenko. Gorbachik & Schokhina; p. 98, lám. X, fig 1 a-b.

Descripción: cóncula palmada, comprimida. Primer estadio plano-espinal, compuesto de 6-7 cámaras que aumentan gradualmente de tamaño a medida que se agregan, levemente deprimidas en la parte central; el área umbonal, sobre ambos lados de la cóncula, infladas. La parte final es plana, compuesta por 4 cámaras tipo V invertida, que aumentan de manera regular a medida que la cóncula crece y cubriendo cada una de las nuevas cámaras, que son rectangulares en sección, totalmente la parte superior de las cámaras anteriores y que hacia el área apertural, se

alargan y afinan. Suturas en la parte inicial radiales, espesas y algo elevadas; las finales suavizándose en el espesor y al ras de la superficie. El borde periférico de la parte inicial de la cóncula redondeado y el de las cámaras de la parte final, planos. Superficie lisa, finamente perforada. Abertura terminal sobre un cuello muy corto.

Dimensiones (en mm): alto, 0,96; ancho, 0,80; espesor, 0,20.

Observaciones: el único ejemplar hallado presenta afinidades con *Palmula asiatica*, como ser: el diseño de las suturas y el de la parte inicial de la cóncula. Se propone la comparación, en razón de la escasa idea que proporciona un ejemplar en un grupo de conocida variación morfológica. *P. asiatica*, caracteriza al Albiano de Crimea y del norte del Cáucaso (URSS).

Distribución: 1017-1018 m, Aptiano-Albiano.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.407.

Género **VAGINULINA** d'Orbigny, 1826

Vaginulina kochii Roemer, 1840

Lám. I, fig. 6

1840-1841. *Vaginulina kochii* Roemer; Verst. norddeutsch. Kreide, p. 96, lám. 15, fig. 10.

1940. *Vaginulina kochii* Roemer. Tappan; p. 109-110, lám. 17, figs. 2-4.

Observaciones: sólo tres ejemplares se registraron en la perforación asignables a esta especie. Pobrementemente calcificados y rellenos de pirita, únicamente trozos correspondientes a la parte inicial de la cóncula fueron recuperados.

La amplia variación morfológica, ligada mayormente al tipo de generación, caracteriza a esta especie. Los ejempla-

res estudiados han sido atribuidos a esta especie con un amplio sentido, ya que la presencia de finas costillas que recorren el prolóculo las acercan a la variedad o forma *striolata* Reuss.

Distribución: 871-885 metros, Aptiano-Albiano.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.408.

Familia **TEXTULARIIDAE** Ehrenberg, 1838

Del conjunto de formas arenáceas con desarrollo biserial que caracterizan el tramo 753-829 m de la perforación SC. 1, representantes de los géneros *Textularia* DeFrance, 1824 y "*Spiroplectamina*" Cushman, 1927, presentan ejemplares que revelan una diversidad morfológica extensa, diversidad que se ve oscurecida por la "aparente distorsión" que han sufrido los caparazones en unos casos y el carácter francamente sigmoidal en otros.

De estos géneros, se describen las formas más típicas y en el caso de análisis sobre la variabilidad, se señalan todas las diferencias que se observan con otros ejemplares de la serie y que aparentemente responden a una secuencia de caracteres.

Es de hacer notar además, que las cónculas fueron sumergidas en ácido clorhídrico concentrado, sin que éstas revelen ningún contenido calcáreo, lo que sumado a su notable transparencia y a la escasa rugosidad de las paredes, recuerdan a descripciones genéricas de foraminíferos supuestamente silíceos. Esta particularidad se resalta, dada la coincidencia en la existencia de formas con "pared silícea" en la parte inferior del Piso Haumurian (Maastrichtiano)-Teurian (Daniano) de Nueva Zelandia (Webb, 1966; Hornibrook, 1968).

Textularia sp. forma A

Lám. I, fig. 4

Descripción: cónchula con desarrollo biserial compuesta por 20-22 cámaras que aumentan nítidamente de tamaño y de manera proporcionada en las tres dimensiones, es decir, alto, ancho y espesor. Suturas camerales oblicuas, al ras de la superficie o levemente elevadas y regularmente espesas, en particular, la zig-zag. Abertura ubicada en una depresión de la última cámara formada en forma de arco muy poco elevado.

Dimensiones (en mm): alto, 0,50; ancho, 0,20; espesor, 0,12.

Observaciones: el ejemplar descrito presenta la sección inicial algo deteriorada, visible con aumentos fuertes e inmersa en líquidos comunes.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.409.

Textularia sp. forma B

Lám. I, fig. 3

Descripción: cónchula con 24-26 cámaras dispuestas biserialmente. Los seis primeros pares de septos aumentan gradualmente de tamaño, el alto cameral es menor que el ancho, el borde es levemente redondeado, suavemente lobulado, rectangular en sección, las suturas oblicuas y al ras de la superficie. Con el séptimo par de cámaras —y más manifiesto con los siguientes pares—, comienza un desarrollo abrupto y al parecer anómalo. Las dimensiones de las cámaras cambian de relación, es decir, el alto es mayor que el ancho, suturas si bien oblicuas, nítidamente deprimidas tanto las camerales como la zig-zag, los bordes más lobulados y en vista apertural, el plano de simetría tuerce hacia uno de los lados produciendo en suma, la sensación de un ejemplar comprimido en el sentido apertural. Abertura en forma de arco elevado en una depresión

en la base de la última cámara formada.

Dimensiones (en mm): alto, 0,85; ancho, 0,17; espesor, 0,22.

Observaciones: la parte inicial de la cónchula que es pequeña, está parcialmente rota.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.410.

« Spiroplectamina » sp. forma A

Lám. I, fig. 9

Descripción: estadio inicial trocospiral, constituido por 3-4 cámaras que aumentan lentamente de tamaño; suturas radiales. El estadio biserial compuesto de 20-22 cámaras que principia con los cuatro primeros pares apretados, aumentan de tamaño moderadamente y el ancho es francamente mayor al alto y representan junto con la parte espiral, la $\frac{1}{4}$ parte de la altura total de la cónchula. Luego, el aumento cameral es notorio y la relación ancho/alto tiende a ser equidimensional y se efectiviza en los dos últimos pares; los bordes se vuelven paralelos, suavemente redondeados y ligeramente lobulados. Suturas algo oblicuas, nítidas y levemente deprimidas. Abertura ubicada en una depresión de la base de la última cámara formada en forma de arco, algo elevada.

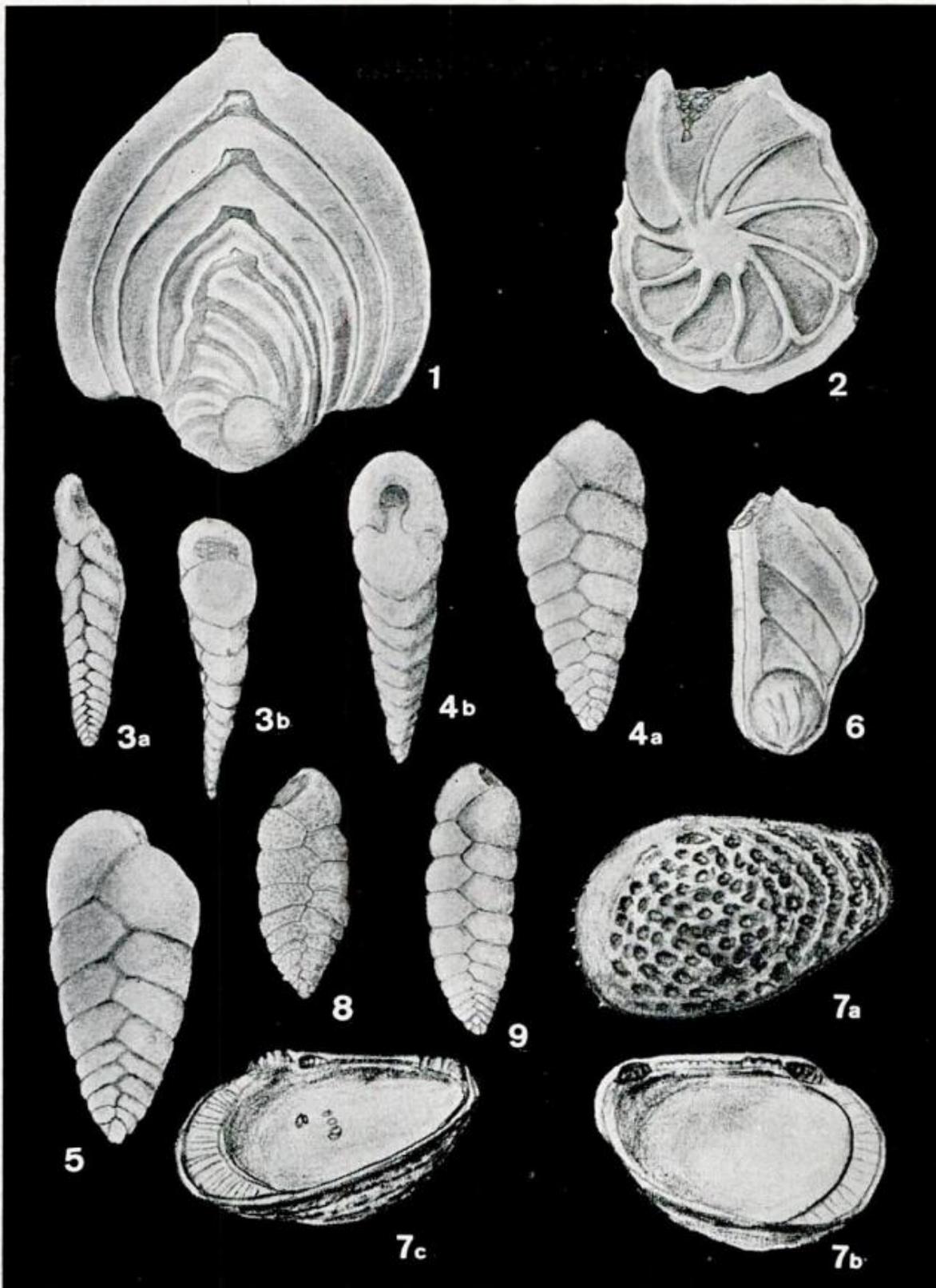
Dimensiones (en mm): alto, 0,82; ancho, 0,25; espesor, 0,11.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.411.

« Spiroplectamina » sp. forma B

Lám. I, fig. 8

Descripción: cónchula de contorno lanceolado, un poco comprimida; compuesta de una sección inicial de 4 cáma-



- 1, *Palmula* sp. cf. *P. asiatica* Fursenko: vista lateral, $\times 60$, pág. 266; 2, *Lenticulina gaultina* (Berthelin): vista lateral, $\times 50$, pág. 266; 3, *Textularia* sp. forma B: a. vista lateral; b, vista apertural, $\times 40$, pág. 268; 4, *Textularia* sp. forma A: a, vista lateral; b, vista apertural, $\times 80$, pág. 266; 5, «*Spiroplectamina*» sp. forma C: vista lateral, $\times 85$, pág. 270; 6, *Vaginulina kochii* Roemer: vista lateral, $\times 50$, pág. 267; 7, *Novocythere santaacruziana* n. gen. et n. sp. a-b holotipo. c, paratipo: a, vista externa; b, vista interna; c, vista mostrando las impresiones musculares, $\times 60$, pág. 271; 8, «*Spiroplectamina*» sp. forma B: vista lateral, $\times 60$, pág. 268; 9, «*Spiroplectamina*» sp. forma A: vista lateral, $\times 43$, pág. 268.]

ras en disposición trocospiral (dibujo 1) y otra, de distribución biserial constituida por 18 cámaras cuyos cuatro primeros pares, son marcadamente más anchos que altos, manteniéndose este esquema hasta el final, pero con el carácter mucho más atenuado. La cónchula adquiere un giro levemente sigmoidal y los pares de cámaras finales son ligeramente asimétricos. Suturas camerales oblicuas, al ras de la superficie las primeras y deprimidas las últimas. Abertura en la base de la última cámara en forma de arco algo elevado.



Dibujo 1. — Esquema de disposición de las cámaras iniciales

Dimensiones (en mm): alto, 0,50; ancho, 0,20; espesor, 0,10.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.412.

« *Spiropectamina* » sp. forma C

Lám. I, fig. 5

Descripción: cónchula de moderadas dimensiones, comprimida y con los bordes algo afilados, suavemente lobulados y no paralelos. El comienzo es pequeño, compuesto de 3-4 cámaras que aumentan poco de tamaño y dispuestas en una vuelta de enroscamiento trocoide, de suturas radiales y suavemente curvadas. Cambia nítidamente al esquema biserial formado de 14-16 cámaras, que en su tercio inferior aproximadamente, lo hace en un conjunto apretado cuyo ancho cameral es marcadamente significativo con respecto al alto, suavizándose esta relación en la parte superior hasta ser aproximadamente iguales; su-

turas nítidas, algo espesas y sobreelevadas.

La parte espiral de la cónchula se observa con dificultad en estado seco, pero bien en el húmedo. Abertura inconspicua dado el pequeño espesor de la cónchula, produciendo la sensación de ser una ranura paralela al elongamiento de la cámara.

Dimensiones (en mm): alto, 0,51; ancho, 0,23; espesor, 0,12.

Variabilidad: el número de cámaras de disposición biserial, varía aproximadamente entre 14 y 22.

Algunos ejemplares presentan una torsión moderada que da origen al sobreelevamiento de las suturas y a la correspondiente depresión de las cámaras.

Otros especímenes, junto con el aumento en el tamaño de los septos producen una marcada depresión de las suturas y con la consiguiente lobulación, imprimen a los ejemplares, una apariencia de aplastamiento.

Repositorio: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Laboratorio Micropaleontológico. Catálogo n° 7.413.

Distribución: todas las formas presentan el mismo rango estratigráfico:

753 - 754 m, frecuentes;

765 m, escasas;

784 - 785 m, frecuentes;

828 - 829 m, muy escaso.

Edad: Campaniano superior - Maastrichtiano inferior.

Orden OSTRACODA Latreille, 1806

Suborden Podocopa Müller, 1894

Familia CYTHERIDAE Baird, 1850

Subfamilia « Progonocytherinae »

Sylvester-Bradley, 1948

Género NOVOCYTHERE Rossi de García n. g.

Derivatio nominis: novo: nuevo; cythere: derivado del griego: isla de Cythere (Cerigo).

Especie tipo: Novocythere santacruziana n. sp.

Diagnosis del género: género de la subfamilia "Progonocytherinae" Sylvester-Bradley, 1948, caracterizado por la superficie valvar cubierta por celdillas de diseño aproximadamente geométrico, en cuyo interior se observan a su vez, tres celdillas más pequeñas donde abren los poros de los canales normales, que son simples. Este tipo de ornamentación, se halla dispuesta ordenadamente por toda la superficie valvar. El género posee un pequeño vestíbulo y canales de poros laterales, simples. Charnela anfidonta.

Descripción del género: forma piriforme. Margen dorsal y ventral convexos, el posterior alargado, el anterior ampliamente redondeado. Ornamentación formada por celdillas más o menos geométricas dispuestas en forma concéntrica y poseen en su interior, tres celdillas más pequeñas donde se abren los canales de los poros perpendiculares que son simples.

Charnela del tipo anfidonta. La valva izquierda compuesta por dos fosetas, una anterior y otra posterior, crenuladas y con cuatro particiones cada una de ellas; a la foseta anterior le escolta un diente cuatrilobulado y una barra lobulada que crece en espesor hacia la zona posterior; la valva derecha presenta los elementos correspondientes, es decir, dos dientes cuatrilobulados terminales, una foseta anterior y un surco lobulado.

La línea del margen interno regular. Canales de poros marginales anteriores en número cercano a 25; los posteriores, aproximadamente la mitad de aquéllos. Las cuatro impresiones musculares están dispuestas en una fila posterior, son redondeadas y unidas entre sí.

Dimorfismo sexual presente, el macho es más alargado que la hembra.

Comparación y afinidades: el nuevo género propuesto presenta caracteres que lo aproximan a *Neocythere* Mertens y a *Centrocythere* Mertens.

Básicamente *Novocythere* difiere de *Neocythere*, por el número de canales de los poros laterales que llegan a 25, posee un pequeño vestíbulo y la charnela presenta una barra con lobulaciones bien definidas en número aproximado de 14; *Neocythere*, en cambio, posee de 6 a 8 canales, carece de vestíbulo y la charnela es únicamente crenulada.

Con *Centrocythere*, las diferencias son más marcadas, puesto que este género posee la parte posterior de la barra lisa.

Novocythere santacruziana Rossi de García n. sp.

Lám. I, fig. 7

Derivatio nominis: santacruziana, de la provincia de Santa Cruz.

Holotipo: una valva izquierda de ejemplar hembra, Lám. I, fig. 7 a, b, depositado en el laboratorio de Micropaleontología del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Catálogo n° 7.414.

Paratipos: 20 valvas depositadas en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.

Estrato tipo: perforación SC. 1, Formación Río Mayer o San Martín. Arcillitas limosas. Profundidad: 903-918 m.

Localidad tipo: perforación Santa Cruz-1, provincia Santa Cruz; 50° 54' latitud sur, 69° 10' longitud oeste.

Descripción: caparazón piriforme. Márgenes ventral y dorsal convexos, anterior ampliamente redondeado, posterior estrecho. Sin tubérculos ocular y central. Superficie de las valvas ornadas por celdillas de forma más o menos geométrica, y en cuyo interior existen tres celdillas más pequeñas donde se abren los poros de los canales normales. En algunos ejemplares, en la zona de los márgenes anterior y posterior, se observan pequeñas espinas.

Dimensiones (en mm)

Ejemplar *hembra* (Holotipo): largo, 0,67; ancho, 0,46: Lám. 1, fig. 7 a, b.

Ejemplar *macho* (Paratipo): largo, 0,70; ancho, 0,35: Lám. 1, fig. 7 c.

Comparación y afinidades: *Novocythere santacruziana* semeja a algunas especies de *Neocythere* como *N. vanveeni* Mertens, pero las características de la ornamentación sumado a los caracteres genéricos la alejan de la especie de Mertens.

Edad: Cretácico (Aptiano-Albiano).

Ecología: marino.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS
EN EL TEXTO

- Fursenko, A. V., 1949. *Atlas rukovodiashchij form iskopaemij faun URSS. Nishnii mel.* T. X: 58-75, 6 láms. (en ruso).
- Gorbachik, T. N. y Schokhina, M. P., 1960. *Stratigrafia nishniemielovej otloyenii sieviernogo kavkaza i krema.* En: *Atlas nishniemielovoi faune sieviernogo kavkaza i krema* (Redactores: V. V. Drushchitsa & M. P. Kudriavtseva). VNIIGas, Trudi, 77-124, 18 láms., Moscú (en ruso).
- Hornibrook, N. de B., 1968. *A Handbook of New Zealand microfossils (Foraminifera and Ostracoda).* N. Z. Dept. Scient. Ind. Res., Inf. series 62: 7-136.
- Malumian, N., Masiuk, V y Riggi, J. C., 1971. *Micropaleontología y sedimentología de la perforación SC-1, Provincia de Santa Cruz, República Argentina. Su importancia y correlaciones.* Asoc. Geol. Arg., Rev. 26 (2): 175-208, 1 lám., 2 figs.-text.
- Petri, S., 1962. *Foraminíferos Cretáceos de Sergipe.* Fac. Fil., Cs. Letras, Univ. São Paulo, Boletim 265, nº 20: 1-140, 21 láms.
- Scheibnerova, V., 1971 a. *Implication of Deep Sea Drilling in Atlantic for Studies in Australia and New Zealand - Some Viewson Cretaceous and Cainozoic Palaeogeography and Biostratigraphy.* Search., 2 (7): 251-254.
- 1971 b. *Palaeology and palaeogeography of Cretaceous deposits of the Great Artesian Basin (Australia).* Geol. Surv. N., Records, 13 (1): 5-48.
- Tappan, H., 1940. *Foraminifera from the Grayson Formation of Northern Texas.* Journ. Paleont. 14 (2): 93-126, pls. 14-19.
- 1943. *Foraminifera from the Duck Creek Formation of Oklahoma and Texas.* Journ. Paleont., 17 (5): 476-517, pls. 77-83.
- Webb, P. N., 1966. *New Zealand Late Cretaceous Foraminifera and stratigraphy.* Abstract of the PhD dissertation, Schotamus & Jens N. V. Utrecht, p. 1-19.

Recibido el 2 de junio de 1972.

GENERALIDADES SOBRE LA GEOLOGIA DEL PETROLEO Y GAS DE LA UNION SOVIETICA

Por MARCELO R. YRIGOYEN¹

RESUMEN

La Unión Soviética es una de las más antiguas y ricas regiones petroleras del mundo. Luego de los EE. UU., es hoy el segundo productor mundial de gas natural, con 198.000 MM m³/año y el segundo productor mundial de petróleo, con 445 MM m³/año, aunque en breve se espera sobrepasar ampliamente a los EE. UU. como fuente de hidrocarburos.

Si bien posee yacimientos excepcionales conocidos desde hace siglos, en las dos últimas décadas y merced a una exploración intensiva han incorporado importantes regiones productivas de petróleo y gas en zonas de los Urales, Siberia y Asia Central, en donde yacimientos de petróleo, como *Samotlor*, y de gas natural, como *Urengoiskoye* y *Gazli*, constituyen los mayores depósitos de hidrocarburos del mundo. Se han descubierto reservas comerciales de petróleo y gas en casi toda la sucesión estratigráfica, desde el Neogeno hasta el Precámbrico Superior. Las trampas poseen en su mayoría control estructural, profundidades moderadas y reservorios múltiples superpuestos.

Se agrega una somera descripción de las regiones productoras de hidrocarburos en la Unión Soviética y se resumen los aspectos principales de su industria del petróleo y gas.

ABSTRACT

The Soviet Union is one of the oldest and richest oil regions of the world. Next to the United States, the U.S.S.R. is the second world producer of natural gas with 198,000 MM m³/year and the second world producer of oil with 445 MM m³/year. However, it is believed that shortly Russian hydrocarbon production will exceed that of the United States by far.

Although Russian exceptional oil and gas fields have been known for centuries, as a result of an intensive exploration program carried out during the last two decades significant oil and gas producing districts have been added during this period near the Urals, Central Asia and Siberia, such as *Samotlor* oil field and *Urengoiskoye* and *Gazli* gas fields which are considered the largest hydrocarbon deposits of the world known to date. Commercial reserves of oil and gas have been discovered in practically the entire stratigraphic sequence, from Neogene to Upper Precambrian. In most cases, traps show structural control, moderate depths and overlapped multiple reservoirs.

A brief description of the hydrocarbon producing districts of the Soviet Union and a summary of the main aspects related to its oil and gas industry are included.

INTRODUCCION

En ocasión de las reuniones del VIII Congreso Mundial del Petróleo celebrado en Moscú en junio de 1971, se hizo pública en una amplia serie de trabajos numerosa información respecto a

la geología y a la industria del petróleo y gas natural de la Unión Soviética². Se ha observado que, hasta la fecha, la literatura disponible sobre estos

¹ Gerente de Exploración de ESSO S.A.P.A.

² En el texto se usarán como sinónimos Unión Soviética, Rusia o U.R.S.S., abreviatura de Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

temas ha sido de muy escasa difusión, siendo casi nula en lo que respecta al idioma castellano.

Atendiendo a ello, en las páginas que siguen se darán unos breves apuntes tomados de las contribuciones presentadas por V. D. Shashin, G. Ovanesov, I. Zhabrev, S. A. Irudzhev, Y. B. Fain, V. G. Vasilyev, I. V. Vysotsky, V. V. Semenovich, N. S. Erofeev y otros colegas soviéticos que abordaron preferentemente temas generalizados sobre la geología de las diversas áreas petrolíferas y gasíferas del conjunto de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

La Unión Soviética es una de las más antiguas y más ricas regiones petroleras del mundo. Enormes esfuerzos se están prodigando a la industria del gas y del petróleo en la U.R.S.S. y los resultados alcanzados en los últimos años pueden señalarse como altamente promisorios. En este sentido, conviene recordar que allí los hidrocarburos recién en 1968 sobrepasaron al carbón como fuente principal de energía. En la actualidad, la estructura energética soviética se compone así: 40,5 % petróleo, 36 % carbón, 18,8 % gas natural y 4,7 % aceite de esquistos, turba y leña. Históricamente, la producción de petróleo en Rusia se multiplicó 9 veces en los últimos 20 años, alcanzándose a producir 422 MM m³ (millones de metros cúbicos) de crudo en 1970 y habiendo sido programados 445 MM m³ para 1971. Por su parte, la producción de gas natural alcanzó en 1970 a los 198.000 MM m³, siendo así la U.R.S.S. el segundo productor mundial de gas natural luego de los EE. UU.

Esta formidable producción de hidrocarburos proviene actualmente de 50.350 pozos productores distribuidos en 460 yacimientos en operación. La producción diaria promedio por pozo en la U.R.S.S. es del orden de 24 m³ de petróleo, existiendo un 56 % de pozos surgentes en la actualidad gracias a sistemas de mantenimiento de presión en las yacimientos. En el caso del

gas natural, y como curiosidad, citaremos que en algunas zonas se han registrado pozos gasíferos con producciones diarias inusitadas, entre 2 y 3 millones de metros cúbicos por día a través de tuberías de 9-5/8 pulgadas de diámetro. La U.R.S.S. comunicó poseer una reserva comprobada de gas natural (no asociado) de 12 billones (millón de millones) de metros cúbicos y una reserva potencial de 60 billones de metros cúbicos, lo que constituye una tercera parte del total de la reserva de gas natural descubierta hasta ahora en el mundo. La confianza que existe en el éxito de esta industria se revela por las ambiciosas metas de producción que programa la U.R.S.S. para 1975: 576 MM m³ de petróleo y 320.000 MM m³ de gas natural.

I. EXPLORACION

La exploración de hidrocarburos ocupa un lugar muy destacado en los programas soviéticos, a punto tal que en este momento se hallan operando alrededor de 2.500 comisiones geológicas y geofísicas en regiones que van desde las costas del Mar Negro hasta el estrecho de Behring. Complementando esta tarea de prospección, las perforaciones exploratorias constituyen hoy entre un 40 y un 50 % del total de pozos perforados en la U.R.S.S., los que en 1970 sumaron 13.292.000 metros de perforación. De este total, 6.011.000 metros corresponden a pozos exploratorios, cuyo número totalizó 2.086 "wildcats" en 1970, lo que equivale aproximadamente a la tercera parte de los pozos exploratorios perforados en EE. UU. en igual período (7.693 "wildcats"). La profundidad promedio de los pozos de desarrollo ha aumentado de 1.150 metros en 1950 a 1.847 metros en 1970, en tanto que la profundidad promedio de los pozos exploratorios ascendió de 1.350 a 2.882 en igual período. Actualmente se completan por año alrededor de 3.500

a 3.600 pozos productores de gas y/o petróleo.

Dentro de los sistemas exploratorios geológicos, geofísicos y geoquímicos, los métodos (preferentemente sismográficos, gravimétricos y electromagnéticos) son utilizados en gran extensión. En 1969, un 76 % de las estructuras perforadas habían sido ubicadas por geofísica. En algunas áreas tales como Siberia occidental, Ukhta-Pechora y Turkemania, se ha confirmado el 100 % de las estructuras delimitadas por sismica de reflexión. En este campo, los soviéticos han desarrollado métodos tales como el DRSO (recepción direccional de oscilaciones sísmicas), el PFM método de plano frontal), el CRM (método de radiación central) y se está por implantar el uso de una nueva técnica basada en excitación y registro de ondas transversales, aprovechando que estas últimas mantienen una distribución de velocidades más estabilizada que las ondas longitudinales al atravesar depósitos superficiales muy heterogéneos (glacial, aluviones, tundra, etc.).

II. DISTRIBUCION GEOLOGICA

De la superficie total de 22 millones de kilómetros cuadrados que ocupa la Unión Soviética, algo más de la mitad (12 MM km²) posee cuencas sedimentarias con buenas posibilidades de albergar acumulaciones explotables de petróleo y gas. En otros términos, la U.R.S.S. posee algo más del 37 % de la superficie continental prospectiva para hidrocarburos del mundo, sin contar un dilatado "offshore" del que 2,5 millones

de kilómetros cuadrados también resultan en gran parte comercialmente atractivos para la búsqueda de petróleo y gas.

Reservas importantes de hidrocarburos se han descubierto en casi toda la sucesión estratigráfica, desde el Neogeno hasta el Precámbrico superior, a lo largo de los 9.000 km que de este a oeste van desde la península de Kamtchakta hasta la cuenca de Riga a orillas del Báltico. Hasta el momento, hay descubiertos algo más de 1.200 campos productivos de gas natural y petróleo, la mayoría de ellos con múltiples horizontes productores, cuyo promedio es de 3.2 reservorios por campo y con máximos como los yacimientos de Surachan, en Azerbaijan, que poseen hasta 63 "pools" o niveles productivos independientes superpuestos.

Varios son los tipos de reservorios explotados. Un 48 % pertenece al tipo mixto, con interestratificación de areniscas, limolitas y arcillas; un 32 % son reservorios normales de arenas y sólo un 20 % de los campos están acumulados en sedimentos calcáreos. La profundidad de los reservorios más frecuentes (alrededor de un 46 %) varía entre los 1.000 y 2.000 metros, existiendo un 20 % de campos a profundidades que superan los 2.000 metros, en tanto que el remanente del 34 % se distribuye en profundidades muy someras, a veces de pocas decenas de metros, a aún conectados directamente con asomos superficiales.

La distribución estratigráfica generalizada de los yacimientos comerciales explotables de gas y petróleo en la Unión Soviética puede resumirse como sigue:

Sistema	Áreas de Yacimientos
Cenozoico (Neogeno + Paleogeno)	Transcaucaso, Nordeucaso, Ucrania, Turkmenistan, Sakhalin, Asia central.
Mezozoico (Cretácico, Jurásico Triásico)	Kazakhanstan, Ucrania, Nordeucaso, Siberia occidental y oriental, Volgogrado, Saratov y Asia central.
Paleozoico (Pérmico, Carbónico, Devónico)	Ural-Volga, Ucrania oriental, Bielorusia, Emba y Timano-Pechora.

III. REGIONES PRODUCTORAS DE PETRÓLEO Y GAS DE LA U.R.S.S.

Con la información disponible resulta difícil intentar una clasificación y presentación sistemática de los depósitos de petróleo y gas de la Unión Soviética. Por esta razón, para la descripción de los caracteres generales de las áreas productivas procederemos a su agrupamiento por regiones geográficas, eligiendo en cada una de ellas los campos principales y que, a su vez, puedan considerarse como típicos para que, en alguna forma, permitan extrapolar sus caracteres a la región en cuestión.

Siguiendo a los autores rusos, podemos reconocer en el dilatado territorio de la Unión Soviética cuatro grandes provincias petrolíferas y/o gasíferas:

- A. Provincia del Cáucaso (o Gran Cáucaso)
- B. Provincia del Ural-Volga
- C. Provincia de Siberia occidental
- D. Provincia de Siberia oriental + Sakhalin.

Las dos primeras se extienden en la parte europea de la U.R.S.S., en tanto que las dos últimas abarcan amplias zonas de la Rusia asiática, como puede apreciarse en el mapa de orientación (fig. 1). De las cuatro provincias señaladas, la del Ural-Volga y Siberia occidental presentan caracteres propios que dan unidad a su definición, al punto que permiten ser tratadas como una región particular en las descripciones que siguen. Por el contrario, la provincia de Siberia oriental + Sakhalin y, sobre todo, la provincia del Gran Cáucaso encierran regiones muy dispares en cuanto a su geología y obligan, por lo tanto, a subdividir las en tantas regiones petrolíferas según sea el grado de detalle con que quiera tratárselas. En nuestro caso, ya sea por carencia de mejores datos o, a veces por no excedernos en la extensión que nos hemos propuesto en esta breve revisión, no escapará al lector que en algunas áreas se han

efectuado agrupaciones de yacimientos un tanto arbitrarias, pero se entiende que ello no afecta mayormente teniendo en cuenta lo sumario del presente trabajo.

Volviendo a las provincias petrolíferas y gasíferas señaladas, de acuerdo a lo que antecede, serán tratadas y subdivididas en la forma siguiente:

A. *Provincia del Ural-Volga*

- 1. Región Ural-Volga
- 2. Cuenca Timán-Pechora

B. *Provincia del Gran Cáucaso*

- 3. Región de Azerbaijan-Grozny
- 4. Región del Emba
- 5. Región de Magyshlak
- 6. Región de Tukmenistan-Karakorum
- 7. Cuenca del Dnieper-Donetsk

C. *Provincia de Siberia oriental*

- 8. Región de Siberia oriental
- 9. Región de Sakhalin-Kamchatka

D. *Provincia de Siberia occidental*

- 10. Región de Siberia occidental

Las regiones aquí enumeradas se encuentran delimitadas en el mapa figura 2.

A-1 *Región del Ural-Volga*

Si bien Azerbaijan es la región productiva más antigua del mundo, iniciaremos esta breve descripción de las provincias petroleras de la U.R.S.S. con la región Ural-Volga. Ello se debe a que, luego del descubrimiento de petróleo en la zona de Perm en 1929, en 1932 se inició el desarrollo sistemático de yacimientos contenidos en el Carbónico y Pérmico inferior, llegando en 1950 a sobrepasar a las demás regiones productoras rusas, tanto por su nivel de extrac-

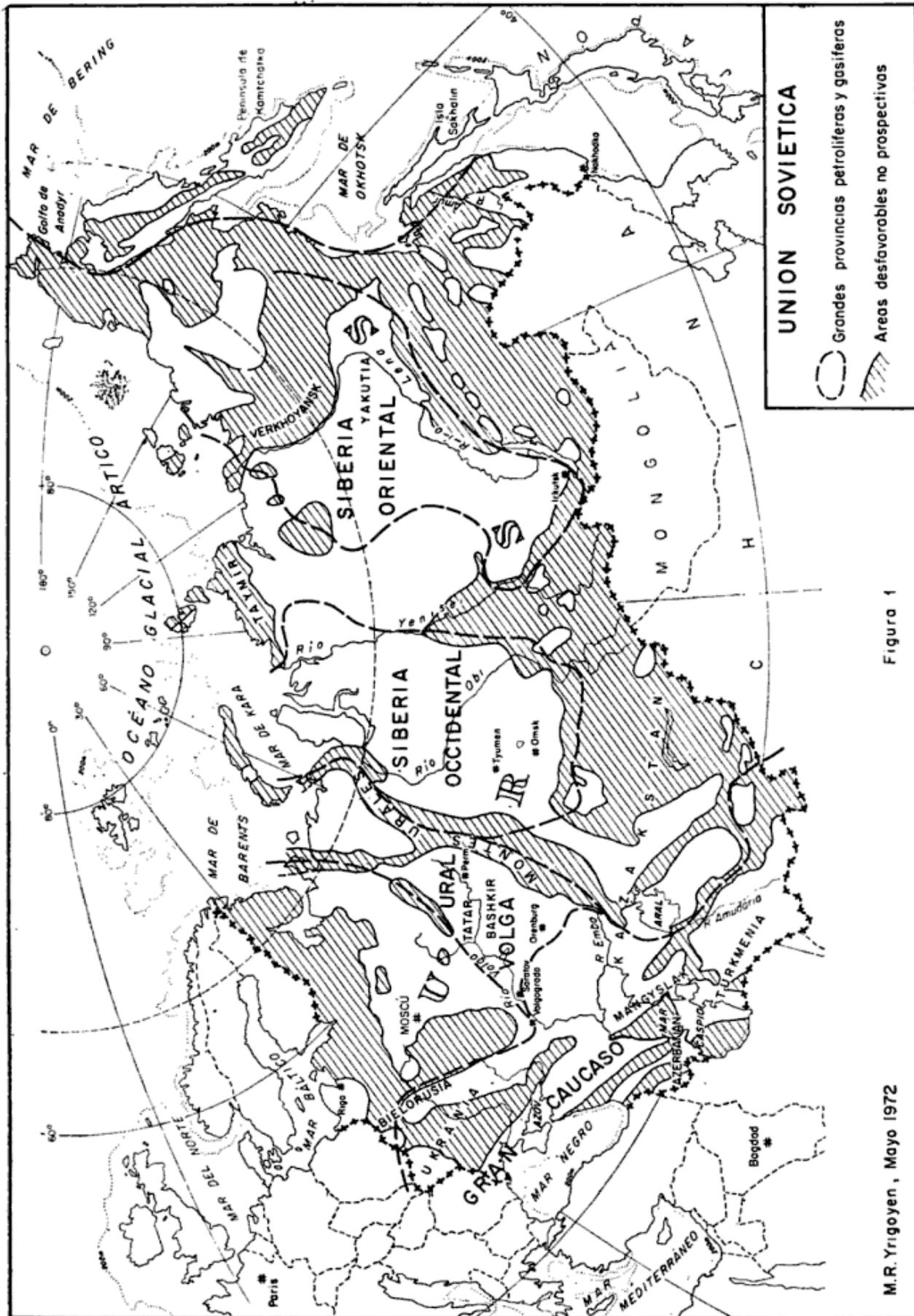


Figura 1

M.R. Yrigoyen, Mayo 1972

ción como por la intensa expansión que mantenía. En la actualidad, la región del Ural-Volga produce unos 250 millones de metros cúbicos por año, es decir, que provee un 60 % de la producción total petrolera de la U.R.S.S.

La región del Ural-Volga comprende un vasto territorio entre los montes Urales y el río Volga, en el este y sur de la U.R.S.S. europea. Allí se han descubierto más de 500 yacimientos de petróleo (incluyendo 20 en la cercana depresión del Caspio) y unos 50 grandes campos gasíferos. Las mayores reservas están concentradas en el norte de la región y alrededor de la mitad están relacionadas con la falla regional de Tatar donde se han descubierto 190 campos.

Dentro de esta región se ubica uno de los mayores yacimientos del mundo, Ramashkinkoye¹, con una reserva calculada de 2.270 MM de metros cúbicos. Su desarrollo comenzó en 1952 y ya se han perforado en él más de 5.000 pozos. Se trata de 14 reservorios independientes superpuestos. La sección productiva principal, que alcanza 15 metros de espesor y encierra el 90 % de las reservas, se encuentra dentro de areniscas cuarzosas, finas, del Devónico superior (Formación Pashiik). El resto de la sección productiva se aloja en sedimentos terrígenos del Devónico medio y del Carbónico inferior, presentando este último 8 reservorios independientes. No obstante, existen algunos horizontes aislados en sedimentos que van del Devónico inferior al Carbónico medio. La estructura es un suave abovedamiento (flancos con buzamientos menores de 1°) con varias culminaciones subsidiarias. El petróleo devónico posee una densidad de 0,830 a 0,865, con porcentajes de 2,5 a 5,5 de parafina y 0,85 a 2,0 de azufre. El crudo proveniente del Carbónico es algo más denso (hasta 0,924) y con un mayor contenido de azufre que puede llegar a alcanzar un 40 %.

¹ En el mapa Figura N° 2 se han ubicado los principales yacimientos citados en el texto.

Los depósitos de hidrocarburos del Devónico se encuentran confinados a grandes positivos arqueados, como ocurre en el caso anterior. Por el contrario, los yacimientos vinculados al Carbónico poseen un control estratigráfico-estructural muy peculiar, relacionándose a un sistema de depresiones originadas por procesos sedimentarios durante el Pérmico superior y el Carbónico basal. Recientes investigaciones han demostrado que en las partes profundas de los mares frasnianos hasta tournasianos se depositados sedimentos arcillo-silíceos carbonosos y bituminosos. Simultáneamente, en los flancos y bordes de estas cubetas tenían lugar depósitos carbonáticos de poca profundidad y prosperaba un ambiente organógeno de arrecifes. Las acumulaciones coralígenas más importantes son las del Frasniano superior y Fammeniano, en tanto que los biohermos tournasianos son de dimensiones más modestas. Estos conforman arrecifes de barrera contorneando las depresiones profundas en donde los depósitos pelíticos alcanzaron entre 80 y 250 metros de espesor. Los depósitos costeros, incluyendo los biohermos asociados, superan los 500 y 600 metros de potencia. Estas condiciones ambientales prevalecieron hasta el Mississipiano superior (Viseano basal) tiempo en el que la región sufrió un marcado ascenso y las depresiones fueron rellenadas por sedimentos terrígenos del Viseano, los que lógicamente adquirieron mayor potencia en las zonas axiales de las cubetas marinas.

El conocimiento de este mecanismo sedimentario ha permitido orientar exitosamente la exploración petrolera en la región del Ural-Volga. Acumulaciones importantes se han descubierto en los depósitos terrígenos viseanos cuyos espesos cuerpos arenosos ofrecen excelentes condiciones de reservorio (el gran campo de Muchanovsk pertenece a este tipo).

Como contraparte, los yacimientos descubiertos en los bordes de las depre-

siones y cubetas se relacionan a las masas de biohermos costaneros del Devónico superior y Tournasiano, hallándose las acumulaciones de hidrocarburos confinados a la cobertura clástica que envuelve los arrecifes (como en *Arlan*), y en menores oportunidades a los biohermos mismos.

El gran campo petrolífero de *Arlan* (*Arlanskoye*) fue descubierto en 1955 cerca de *Birski*, entre las fallas de *Tatar*, en el sudoeste, y la falla de *Permsko*, en el nordeste. Los horizontes productivos son aquí las areniscas del Carbónico inferior que se encuentran a profundidades que oscilan entre los 1.260 y 1.350 metros. Petróleo se halla también en calcáreos organógenos *tournasianos* que se intercalan entre arenas, arcillitas carbonosas y aún entre lentes de carbón que llegan a tener desde 30-40 centímetros hasta 20 metros de potencia. Estructuralmente, el yacimiento está relacionado a un amplio positivo de plataforma. Las inclinaciones de las alas varían entre 20' y 1°40' en el flanco occidental. Un factor negativo en estas grandes reservas de *Arlan* es la alta viscosidad del crudo (densidad 0,866 a 0,905) y su contenido de asfalto y azufre que hacen dificultosa su producción.

En horizontes productivos del Devónico superior (horizontes LII de Formación *Mullin* y DI de Formación *Pashiisk*) así como de otros niveles devónicos medios (arenisca *Staryoskol* y caliza *Fomensk*) y carbónicos inferiores (horizonte *Yasnopolyanky* y caliza *Turnei*) almacena sus reservas el yacimiento de *Tuimazin*, como el anterior ubicado en la república autónoma de *Bashkir*. Las estructuras también son aquí suaves abovedamientos asimétricos, con cierres del orden de los 60 a 70 metros, ubicados en el labio sudeste de la falla de *Tatar*. Descubierto en 1937, más de 2.000 pozos producen un crudo parafínico de densidad 0,840 a 0,855 con bajo contenido de azufre. La producción se ve facilitada por un intenso "water flooding" periférico y central.

También con acumulaciones de pe-

tróleo dentro de la cubierta clástica de biohermos y estructuralmente similares a los campos ya descritos, es decir, amplios positivos de suave curvatura o braquianticlinales complicados con domos secundarios, se encuentra otra otra serie de yacimientos no menos importantes entre los que merecen citarse *Yarino - Kamennozhskoye* al nordeste de la ciudad de *Perm*, *Mukhanouskoye*, *Pokrovskoye*, en la zona de *Orenburg*, *Tomashkioskoye*, con más de 5.000 pozos perforados, y *Korobkovskoye*, descubierto en 1950 en la región de *Volgogrado*.

Los depósitos gasíferos de la provincia *Ural - Volga* se hallan concentrados en las regiones de *Saratov* y *Volgogrado*. El mayor campo de gas y condensado es el *Orenburg*, con un volumen de 1 billón (millón de millones) de metros cúbicos de gas "in situ". La formación productiva está constituida por dolomitas y calcáreos del Pérmico de alrededor de 500 metros de potencia. Los reservorios de gas constituyen un 40 % de esta sección y poseen porosidades del 3 al 20 %. El gas de *Orenburg* contiene 82 % de metano, 15 % de hidrocarburos más pesados y un contenido variable de H₂S del 1,5 al 4,5 % y helio, siendo estos últimos recuperados en plantas de procesamiento especiales.

Actualmente, la zona más productiva de la región *Ural-Volga* es la de *Tataria*, la que en 1970 produjo más de 120 millones de metros cúbicos de petróleo.

A-2 Cuenca *Timán - Pechora*

Esta cuenca sedimentaria se encuentra ubicada en el extremo noroeste de la plataforma rusa. Dentro de ella, el distrito gasífero-petrolífero se extiende entre la dorsal de *Timán* y el pie occidental plegado de los *Urales*. La espesa sección sedimentaria que se desarrolla por encima del basamento dislocado Proterozoico comprende todo el Paleozoico, estando presentes también terrenos mesozoicos en la parte norte de la cuenca. Los depósitos de gas y petróleo

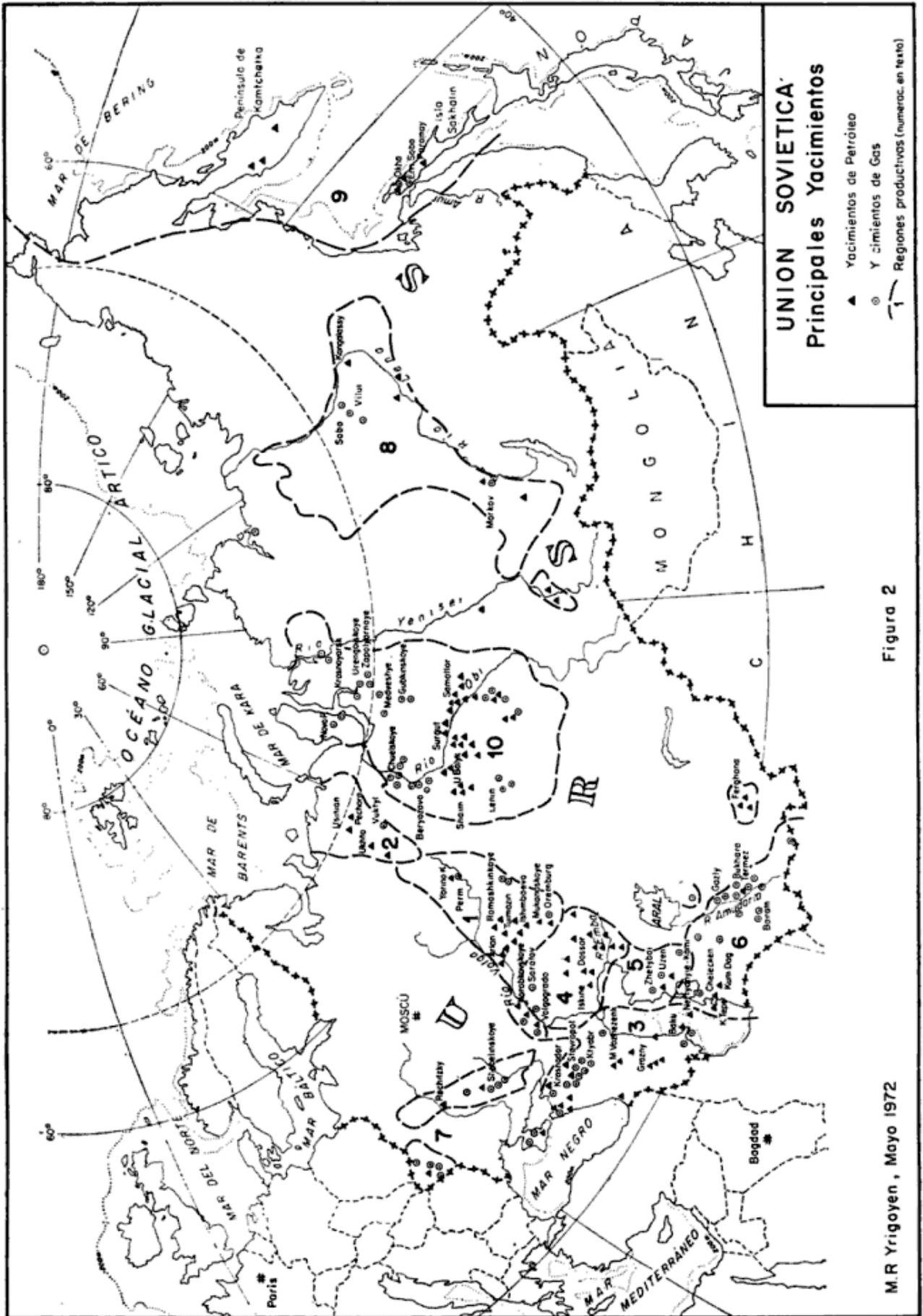


Figura 2

M.R Yrigoyen, Mayo 1972

se hallan confinados al Devónico medio y superior, al Carbónico inferior y medio y aún al Pérmico.

Entre unos 60 yacimientos de petróleo y gas y condensado distribuidos en la República Autónoma de Komi se destaca como el más importante el yacimiento de gas y condensado de *Vuktyl* descubierto en 1964. Se trata de un extenso apretado anticlinal de 75 km de extensión norte-sur, un ancho de 5 km y una amplitud estructural de 1.450 metros. La sucesión sedimentaria consiste en 3.500 metros de formaciones suprapaleozoicas. Los depósitos de gas se encuentran almacenados en calcáreos fracturados y dolomitas del Carbónico y Pérmico bajo. El reservorio principal posee una reserva de gas estimada en 500.000 millones de metros cúbicos de gas ubicado en calizas y dolomitas del Carbónico medio hasta una profundidad de 3.360 metros (contacto gas-agua). Nuevas reservas de gas natural y condensado se están adicionando con la exploración profunda de la parte inferior del Carbónico y aún del Devónico. El gas de *Vuktyl* posee una composición variable, con tenores del 68 al 85 % de metano y del 8 al 20 % de hidrocarburos más pesados.

Los primeros descubrimientos de petróleo (yacimiento de *Ukhta*) se efectuaron en el anticlinal de Timán. Posteriormente se continuó con otras estructuras tales como la del campo de *Usinian*, también relacionado a un pliegue anticlinal, con múltiples reservorios independientes en el Devónico medio y Pérmico. Este campo está ubicado sobre un extenso elemento geoestructural (el positivo de Koluin) de 300 km de largo, que encierra además otras estructuras promisorias aparentemente más grandes aún que las ya señaladas.

B-3 Región de Azerbaijan-Grozny

Desde siglos atrás es conocida la riqueza petrolífera de la península de Apsheron y el área de Grozny, en el Cáucaso-norte y Transcáucaso. En la

región, más de 700 campos de petróleo o de gas y petróleo han sido descubiertos, la mayoría de reservorios múltiples. Las acumulaciones de hidrocarburos están encerradas en sedimentos arenarcillosos muy espesos del Terciario superior. Las profundidades de los horizontes productivos varían desde pocos metros hasta 5.000 y más metros. La región ya ha producido más de 1.100 millones de metros cúbicos de crudo y pese a la antigüedad de la explotación, aún mantiene una producción anual del orden de los 22 millones de metros cúbicos, de los cuales un 65 % proviene de trampas debajo de las aguas del mar Caspio.

En la proyección oriental del geanticlinorio del Cáucaso, hacia el mar Caspio, se encuentra la península de Apsheron. Ella constituye la intersección de los últimos cordones montañosos con la línea de costa que se adelanta aguas adentro con forma y geología similares a las de las penínsulas de Kerch y de Taman, en la estrechura que separa los mares Negro y Azov, y como contraparte de la isla y península de Cheleken, en la margen opuesta (este) del Caspio. Desde los tiempos de los antiguos persas, es conocida la inigualada riqueza superficial de los yacimientos de hidrocarburos en la península de Apsheron. Las "llamas sagradas" de los altares del templo de *Surakhany* y los "fuegos eternos" del monte *Ataskha* eran alimentados por surgentes naturales de gas plioceno, los que aparentemente constituyeron la primera utilización comercial de hidrocarburos en beneficio de la casta de sacerdotes. Pozos excavados a mano marcaron aquí la iniciación de la industria del petróleo, que se extendió así por varios siglos, para recién iniciarse en 1873 la etapa de explotación "moderna" con la perforación del primer pozo surgente en *Bakú*.

Si bien hoy la industria petrolera de Apsheron sigue siendo importante, sus comienzos fueron realmente espectaculares. En 1875 en pozo "Droojba" en

Balakhani entró en surgencia al alcanzar los 172 metros de profundidad a un ritmo inicial de 8.300 metros cúbicos diarios de petróleo, declinando su producción natural luego de acumular 650.000 metros cúbicos de crudo. También en el área de *Bakú*, en 1886, otro pozo de 210 metros de profundidad arrancó con un producción inicial de 14.583 m³/día. Pese a su área relativamente reducida (unos 1.300 km²) en la península de Apsheron, hasta el primer cuarto de nuestro siglo, se habían perforado miles de pozos surgentes entre 300 y 830 metros de profundidad.

Más de una veintena de campos de petróleo y gas natural se extienden sobre ejes anticlinales de rumbo rodeante a la ciudad de Bakú. En cada uno de estos alineamientos paralelos subcirculares se suceden culminaciones que corresponden a los yacimientos principales. En el arco positivo más occidental se reconocen de norte a sur los campos de *Zigil-Piri*, *Salu-Tepe*, *Shubany*, *Lok Batan*, *Putá*, *Kergez*, *Kysyl Tepe*, *Sarincha* y *Giulbakht*. El intermedio y más importante de los arcos anticlinales alinea en forma de espiral a los yacimientos de *Binagadi*, *Balañhany*, *Sabunchi*, *Romaniskoe*, *Kara Chkhur*, *Zych*, la isla de *Peschany* y, volviendo en forma semicircular a la costa con centro aproximado en *Bakú*, el importante campo de *Bibi-Eibat*, con más de 19 horizontes productivos superpuestos dentro del Plioceno. Los círculos positivos exteriores enhebran a *Kala*, *Buzovny*, *Gyurgyany* y aún más al este, ya en aguas del Caspio, *Artem* (= *Sviatoi*). No entraremos en una descripción detallada de estos yacimientos pues es dable hallar información suficiente sobre esta área famosa aun en textos corrientes de Geología del Petróleo (p. ej.: Emmons, W. H. 1931, Levorsen, A. I. 1956, etc.).

Dejando de lado los campos históricamente renombrados de Bakú y Bibi Eibat, sin duda el yacimiento más importante de la península de Apsheron es el del conjunto *Balakhany-Sabunchi-Romaniskoe* tomado como unidad. La

producción de crudo proviene de sedimentos del Plioceno medio, compuesto por una alternancia regular de espesas arenas, areniscas, limonitas y arcillitas arenoso-calcareas. En este campo, toda la sección es productora de petróleo, sin calotas de gas libre en ninguno de sus 28 reservorios independientes. Los lentes productivos superiores ocupan la porción central de un pliegue más o menos simétrico, en tanto que los desarrollados en la sección inferior sólo ocupan el cierre norte de la estructura principal, desvinculado tectónicamente.

El petróleo de *Balakhany-Sabunchi-Romaniskoe* es parafínico, con densidad entre 0,865 y 0,875. En general, los petróleos de Bakú de la cuenca cenozoica de Azerbaijan son muy cotizados por su alta calidad (no contienen compuestos de azufre) y son excelentes bases para la preparación de lubricantes y grasas especiales.

La producción del continente ha ido extendiéndose progresivamente bajo el Caspio. El campo más importante costa afuera es el de *Neftyanyie Kamnie*, descubierto en 1949 a unos 100 km al este de la ciudad de Bakú, en la parte suroriental del archipiélago de Apsheron. La profundidad del mar es aquí de 6 a 27 metros, por lo que se han construido unos 300 km de plataformas, estructuras y pasarelas sostenidas con pilotes, las que soportan todo el sistema de perforación y producción (más de 1.000 pozos) así como campamentos, centros comunales, hospital, almacenes y aun una escuela industrial especializada.

El yacimiento de *Neftyanyie Kamnie* produce de 23 horizontes petrolíferos del Plioceno medio en zonas productivas que se distribuyeron entre los 200 y 1.380 metros de profundidad. Los buzamientos de los flancos son del orden de los 35° a 50° aunque en algunos sectores se escarpan hasta los 70°. En la parte noroeste del yacimiento la producción está confinada a reservorios arenosos y limolíticos de la parte baja de la sección. El espesor productivo aumenta hacia el cierre sudoeste para al-

canzar un máximo de potencia en la parte nordeste del campo. Una distribución tan particular de los fluidos en sucesivos reservorios superpuesto se explica por el desarrollo de una red de fracturas y fisuras, entre las que se destaca por su importancia una extensa falla longitudinal. El petróleo de *Neftyanyie Kamnie* varía entre densidades de 0,820 hasta 0,925 y posee un bajo contenido de parafina, del 0,5 al 0,6 %.

Como dato interesante, podemos agregar que está en estudio un proyecto de construcción de una red de túneles submarinos que, partiendo de una isla artificial en *Neftyanyie Kamnie*, se radiaría hacia el estrecho de Apsheron, el que por yacer bajo 300 metros de agua resulta aún impracticable de perforar con los equipos rusos de costa afuera. En los brazos de túnel se excavarían grandes cámaras, desde donde se perforarían pozos direccionales como si fuera tierra firme. Según los técnicos soviéticos, ese novedoso — y muy costoso — sistema eliminaría los problemas logísticos del Caspio y su clima.

Muchos otros yacimientos han sido y siguen desarrollándose bajo el Caspio. En igual forma, en el continente continúan los campos extendiéndose mucho más allá de *Bakú*, por la llanura del río Kura y al pie de los faldeos de los Grandes Cáucos, en donde la exploración se dirige hacia estructuras más complicadas pero en las que en sedimentos levemente metamórficos ya se han hallado interesantes acumulaciones de gas natural.

Por su parte, en el área de *Grozny* varios yacimientos (el principal de ellos es el de *Oktyabrskoe*) se han hallado vinculados a un extenso pliegue en cajón, con una suave culminación en domo y flancos escarpados. Aquí también existen varios reservorios superpuestos y en el yacimiento citado llegan a 17 los niveles productivos, constituidos por areniscas cuarzosas de edad miocena. Además de las conocidas producciones del Terciario superior, recientemente se descubrió que también el Cretácico su-

perior puede ser localmente de gran interés prospectivo, enfocándose la última exploración hacia ese nuevo objetivo.

Si bien no tan espectaculares como en *Bakú*, existen en la región campos de producciones muy importantes. Como ejemplo, podemos recordar el prolífico pozo n^o 54 del yacimiento de *Grozny* viejo, que acumuló 1,7 millones de metros cúbicos por surgencia en sólo 8 años. Estas altas producciones son debidas a fuerte empuje de aguas laterales y a la alta permeabilidad de las arenas múltiples del Mioceno medio que ostenta entre 16 (*Grozny* viejo) y 22 (*nuevo Grozny*) reservorios superpuestos dispuestos en una angosta estructura anticlinal. En el área de *Grozny*, el petróleo se caracteriza por su alto contenido de parafina (4 a 13 %) y por una densidad de 0,820 a 0,850.

Hacia el mar Negro, al oeste de *Grozny* y a lo largo del Cáucaso norte, se extiende la zona petrolífera de *Krasnodar-Stavropol*. La exploración se orientó inicialmente hacia la búsqueda de acumulaciones dentro de la sección terciaria la que, como en el resto de la región transcaspiana, había brindado algunos yacimientos de interés, pero posteriormente los objetivos mesozoicos demostraron poseer localmente mayor importancia. Para ejemplificar esto, un campo típico es el de *Molbeck-Voznesenk*, ubicado a 90 km al oeste de *Grozny*. En este yacimiento la producción de crudo proviene de calcárcos fisurados del Cretácico superior, siendo sorprendente la productividad de muchos pozos que llegan a los 2.200 metros cúbicos de petróleo por día. El campo está confinado a un pliegue anticlinal alargado (la relación largo-ancho es de 12 : 1) cuyos flancos (referido a niveles del Cretácico) buzcan de 35° a 40° en tanto que en la culminación se reducen a pendientes estructurales de 10° a 15°. El petróleo de *Molbeck-Voznesenk* es de una densidad de 0,843, de bajo contenido de azufre y con un porcentaje de parafina de 7,9 %.

En 1970 la producción conjunta del Nord-Cáucaso y Transcáucaso llegó a los 64,8 millones de metros cúbicos, o en otras palabras, representó el 15,4 % de la producción total de petróleo de la U.R.S.S.

B-4 Región del Emba

La región petrolífera del Emba pertenece a una provincia geológica de características muy distintivas: la presencia de domos salinos. La zona se ubica en la costa norte del Mar Caspio, mayormente encerrada entre los ríos Ural, Uil y Emba. La sección estratigráfica más antigua, que puede estudiarse en sus afloramientos ubicados en el sur de los Urales, corresponde a sedimentos marinos, en parte glaciales, del Namuriano-Viseano hasta Artinskiano. El Pérmico medio (Kunguriano) que presenta arcillas y evaporitas — que lateralmente se reemplazan por espesas calizas bituminosas — es considerado por algunos autores como la roca madre de la sal de domos, aunque es factible que la edad de la sal gema sea similar a la del Zechstein, de la cuenca germana del norte, es decir, del Pérmico superior. Los sedimentos post-salinos están constituidos por una columna estratigráfica de un millar de metros de "red-beds" que abarcan desde el Triásico inferior hasta el Paleoceno. Las estructuras corresponden a una típica tectónica de diapirismo sumada a esfuerzos tensionales. Cabe destacar que en la provincia de Emba, la sobrecarga de sedimentos que produjo la mecánica de domos ha sido relativamente modesta, en comparación con la que se postula para otras áreas como la del Golfo de México. En el Emba se estima que la sobrecarga promedio nunca sobrepasó los 5 kilómetros de sedimentos, no llegando en muchos sectores a alcanzar los 3.000 metros de potencia

Los domos de sal del Emba se encuentran a profundidades generalmente modestas, conformándose los más profundos a poco más de 1.500 metros. Los

domos intermedios yacen en general entre los 1.500 y los 1.000 metros, encontrándose aún cuerpos salinos tales como *Dossor*, *Iskine*, *Koschagyl*, etc. a profundidades todavía menores. En casos extremos, como en *Ishimbaevo*, ya dentro del área Ural-Volga, las masas salinas llegan prácticamente hasta la superficie, al punto que en algunos lugares llega a aflorar su "cap-rock" constituido por anhidritas arcillosas y yeso del Pérmico. Los tamaños de las masas diapíricas son variables, pero puede decirse que la mayor frecuencia se halla en diámetros de 5 a 12 kilómetros.

El petróleo del Emba, mayormente hallado en sedimentos jurásicos y permotriásicos, parece tener su origen en las calizas bituminosas pérmicas, pero no puede descartarse una proveniencia de las rocas carbónicas y/o devónicas subyacentes. Esta región es también una de las más antiguas zonas productoras de petróleo ruso. Entre los afloramientos cretácicos y aun jurásicos de la región, eran conocidas desde antiguo manifestaciones de petróleo. No obstante, no se inició una exploración sistemática hasta que en 1911 el pozo N° 3 del domo fallado de *Dossor* entró en surgencia con una producción inicial de más de 16.000 metros cúbicos diarios de petróleo, de un reservorio jurásico ubicado a sólo 241 metros de profundidad (C. W. Sanders, 1939).

Este caso excepcional movió inmediatamente a la prospección de otras estructuras semejantes, descubriéndose algo más de un centenar de domos de sal independientes que presentaban reservorios disímiles en sedimentos cretácicos, jurásicos, triásicos y pérmicos. Las profundidades exploradas, en general, no superaban los 1.000 metros, alcanzando muy ocasionalmente en los flancos hasta 1.600 metros. Una veintena de campos petrolíferos se pusieron en producción pero ésta no sobrepasó los 2 millones de metros cúbicos de petróleo por año. Esta situación cambió radicalmente cuando en 1961 fueron descubiertos más al sur grandes yacimientos

con reservorios múltiples en el Jurásico. La producción tuvo entonces un rápido incremento, llegando en 1970 a producir la República de Kazakstan más de 15 millones de metros cúbicos de petróleo provenientes de la región del Emba y de la recién descubierta zona de Mangyshlak.

B-5 Región de Mangyshlak

Desde el punto de vista regional, la amplia extensión que va desde el mar Caspio hasta el Tien-Shan está ocupada por la depresión de la plataforma epi-paleozoica del Turán. Relacionada a ella se encuentra la rica provincia petrolífera-gasífera de Asia Central, que con una extensión de cerca de 1 millón de kilómetros cuadrados abarca 4 distritos productivos: Mangyshlak-Usturt, Turkmenistan, Karakum y Amularia.

A oriente del Caspio, al sur del río Emba y enfrentando el área de Grozny, se extiende la península de Mangyshlak, ubicada en la parte noroeste de la plataforma de Turán. Los campos descubiertos en la región están confinados a anticlinales extendidos en el flanco norte de la depresión de Mangyshlak. Los horizontes productivos pertenecen al Jurásico y Cretácico, tal como ocurre con los grandes yacimientos de *Uzen* y *Zhetybai*.

La sucesión estratigráfica local sobrepasa los 10 kilómetros de espesor. Se inicia con un complejo Permo-Triásico que con carácter transicional supera en partes los 8.000 metros de potencia, encima del cual luego de intensa deformación y metamorfismo regional se acumula en depresiones laterales a la cuenca primitiva una sucesión sedimentaria continua que abarca del infra-Jurásico hasta el reciente.

En la zona de Guriev, en la terraza estructural de Zhetybai-Uzen, en 1861 fue descubierto el yacimiento de *Uzen*, que mostró la existencia de tres complejos productivos de gas y petróleo. El

complejo inferior está confinado a sedimentos infra y mesojurásicos; el complejo intermedio es el de mayor productividad y corresponde al Jurásico medio-superior y finalmente, el complejo superior, productor de gas, está desarrollado en sedimentos neocomianos, presentándose también bolsones de gas hasta en el Cenomaniano.

El yacimiento está desarrollado en un importante pliegue anticlinal de 35 kilómetro de ancho, mostrando la estructura 200 metros de cierre vertical. El pliegue es ligeramente asimétrico, con buzamientos de 6° a 8° en el flanco sur y 3° a 4° en el norte. Los reservorios son del tipo de alternancia de areniscas y limolitas. Poseen 12 zonas gasíferas en la sección cretácica y otras 5 zonas productivas de petróleo pertenecen al Jurásico. Las profundidades oscilan entre 200 y 1.300 metros. El petróleo liviano de *Uzen* se caracteriza por un alto contenido de parafina que puede alcanzar hasta el 28 %.

A 85 km al este de *Uzen* se extiende el importante yacimiento de *Zhetybai*, de condiciones estructurales similares al primero. Las producciones de *Zhetybai* se obtienen entre los 1.500 y 2.000 metros de profundidad, en donde se desarrollan 13 horizontes petrolíferos y 2 horizontes gasíferos, todos en las areniscas del Jurásico. El crudo obtenido es similar al de *Uzen*.

Nuevas acumulaciones explotables han sido descubiertas recientemente en la región del positivo Emba sur (Prorva y Burankul) así como en los contrafrentes australes de los Urales y en la costa oriental del mar Caspio. Estos descubrimientos permiten asegurar la extensión y la importancia futura de la región de Mangyshlak-Emba, dentro de la República de Kazakh, siendo aquí donde se ha perforado el pozo exploratorio más profundo de la U.R.S.S., el "Aral-Sor N° 1", que a principios de 1971 alcanzó los 6.806 metros bajo superficie.

B-6 Región de Turkmenistan y Karakum

Hacia el sur y este de la región anterior se prolonga aquella faja de afloramiento de petróleo y antiguos socavones explotados desde siglos atrás. La producción de Turkmenistan, restringida hasta 1932 a la isla de Cheleken, era insignificante. No obstante, en 1933, en un pozo exploratorio a 440 metros de profundidad comenzó a surgir petróleo en forma inusitada, a razón de 6.800 m³ por día (su producción inicial fue de 110.000 toneladas de crudo en 18 días). El nacimiento del yacimiento de *Nebit-Dag* dio, como era obvio, la pauta del potencial petrolero de la región. La exploración continuó activamente y se sucedieron los hallazgos de campos como *Kum-Dag*, nuevo *Cheleken* (1950), *Kotur-Tepe* (1957) y *Barsa-Gelmes* (1964), los que en la actualidad producen en conjunto alrededor de 50.000 m³ de petróleo por día.

El yacimiento de *Kotur-Tepe*, ubicado en Turkmenia occidental, produce petróleo y gas de reservorios mixtos arenoso-limolíticos alojados dentro de la espesa sucesión de "red-beds" del Plioceno superior y medio (Formaciones *Akchagyl* y *Apsheron*, sincrónicas a la sección productiva de Azerbaijan). La estructura es un pliegue braquianticlinal complicado por fracturas que motivan a veces una distribución irregular de los fluidos. El intervalo productivo se extiende entre los 1.500 y 4.000 metros de profundidad. En este depósito multizonal el petróleo, petróleo más gas asociado, el gas y condensado, así como horizontes acuíferos intercalados, se distribuyen en 14 horizontes independientes. El crudo de *Kotur-Tepe* posee una densidad variable, entre 0,806 y 0,877, un contenido de parafina del 1 al 11 % y bajo tenor de azufre que no supera el 0,33 %.

Al sudeste del área centro-asiática recién descrita continúa la cuenca sedimentaria de Karakum. La sucesión sedimentaria está plegada y complicada

por positivos y depresiones del basamento. El arco de Karakum, en el centro de la cuenca, constituye el elemento estructural más prominente, acuñándose suavemente contra él las diversas formaciones mesozoicas. Hacia el margen norte se alarga la depresión del río Amu-Darya. Los mayores campos de gas de la región (*Gazli*, *Achak*, *Shehitli* y *Saman-Tepe*) con reservas del orden de los 100 a 500.000 millones de metros cúbicos de gas, se ubican en la porción sudeste de la plataforma de Turán. Los horizontes productivos corresponden, en general, a calcáreos senonianos, así como a otros reservorios clásticos del Cretácico que se encuentran desde los 400 metros de profundidad de acuerdo a su posición estructural. Como ejemplo, en el importante campo gasífero de *Gazli*, ubicado entre el mar Aral y la ciudad de Bukhara, los 8 horizontes productores se distribuyen entre los 400 y los 1.350 metros. El espesor productivo neto es aquí de 105 metros, los que encierran una gran reserva de gas con un 98 % de metano.

La producción conjunta de la zona denominada "Asia Central + Kazakhs-tán" que abarca nuestras regiones productivas 3 y 4, alcanzó en 1970 a los 35,4 millones de metros cúbicos de petróleo o, lo que es lo mismo, un 8,4 % del total producido por la Unión Soviética.

B-7 Cuenca del Dnieper-Donetsk

En el borde occidental de la plataforma rusa se encuentran dos importantes elementos negativos relacionados estructuralmente. El primero de ellos es un "graben" tectónico, conocido como cuenca del Dnieper-Donetz, extendido en la República S. S. de Ucrania. En su continuación noroeste y separado hoy por el positivo de basamento de Braginsky, se encuentra la depresión de Prepiatsky que, con unos 35.000 km², se alarga dentro de la República S. S. de Bielorusia. Sistemas de fracturas regionales separan esta larga faja negativa

del macizo cristalino de Bielorusia al norte, así como otro sistema de fallas la limitan por el sur contra el escudo de Ucrania.

Ambas depresiones poseen un espeso relleno sedimentario en donde el Eo-Cámbrico, Devónico, Carbónico, Pérmico, Mesozoico y Cenozoico suman entre 5 y 6 kilómetros de sedimentos, siendo muchos de ellos de origen evaporítico. Ambos grabens, ahora separados por una protuberancia de basamento cristalino, durante los tiempos paleozoicos estaban conectados en su margen norte por un estrecho corredor de sólo 30 kilómetros de ancho. En fecha reciente (1950) se inició la producción de petróleo en el sector ucraniano, en tanto que recién en 1965 se agregó Bielorusia como la más joven república productora de hidrocarburos de la U.R.S.S.

La industria petrolera de Bielorusia se originó con el hallazgo del yacimiento de *Rechitzky* en 1964 y en la actualidad su producción anual alcanza los 5,4 millones de metros cúbicos de petróleo liviano, libre de azufre. En numerosos yacimientos las formaciones productivas de la depresión de *Prepyatsky* corresponden a niveles del Devónico medio y superior, que son hallados entre los 2.000 y 3.500 metros de profundidad. El Devónico superior, tanto en el Frasniano como en el Fameniano, encierra potentes formaciones (hasta 1.140 y 3.200 metros respectivamente) constituidas por sal de gema, a veces con intercalaciones terrígenas saturadas de petróleo. El petróleo producido posee una densidad de 0,88 a 0,91, con contenido de asfaltos (15 %), parafina (hasta 6 %) y rastros de azufre (hasta 0,6 %).

Por su parte, desde el punto de vista petrolero, la región de Ucrania puede dividirse en dos zonas: una "occidental" que se inició con el hallazgo del campo de *Dolinsk* en la década del 50, con acumulaciones de hidrocarburos en sedimentos del Terciario inferior y medio, y otra "oriental" en donde los depósitos de petróleo y gas yacen en formaciones del Pérmico superior y del

Carbónico que se extienden por toda la cuenca sedimentaria del *Dnieper-Donetsk*.

En el yacimiento de *Dolinsk*, ubicado en la zona Ivano-Franco, el petróleo está preferentemente confinado a depósitos oligocenos. Encerrados en una masa de sedimentos pelíticos, se encuentran paquetes areniscosos aislados en donde el petróleo está almacenado en los espacios intergranulares como en sistemas de fisuras. El intervalo productivo paleogeno presenta tres horizontes explotables. La estructura principal está relacionada con una zona de corrimientos, facilitados por la mecánica de sal, lo cual hace la tectónica del campo sumamente complicada. El crudo producido en *Dolinsk* posee densidades entre 0,822 y 0,852, con un contenido parafínico del 6 al 12 %.

Los yacimientos conocidos de la cuenca Dnieper-Donetz se encuentran básicamente en estructuras desarrolladas bajo la acción predominante de tectónica de sal, de fluencia y diapirismo, es decir, en parte algo similar a lo visto en la región del Emba. De acuerdo a la profundidad, confinamiento o penetración de las masas salinas, pueden hacerse variadas clasificaciones en los yacimientos de petróleo y gas. Sin entrar en mayores detalles relacionados a domos confinados, ubicados dentro de un área de subsidencia regional prolongada. En estos casos, los reservorios poseen excelente relieve estructural y litología y con más de un 50 % de arenas, en general del Carbónico medio y superior. Los tipos menos favorables corresponden a aquellas estructuras altamente complicadas por domos salinos, las que pueden dividirse en perturbadas por domos "viejos", pre-Pérmico superior, y las perturbadas por domos modernos, pre - Paleogenos. Finalmente, en donde ha habido una total penetración y perforación por los domos salinos se encuentran estructuras generalmente desfavorables, pues ha habido escape de los hidrocarburos y deterioro, hasta des-

trucción total, de las primitivas acumulaciones de petróleo o gas.

Como ejemplo, podemos citar el famoso campo de gas de *Shebelinskoye*, ubicado a 60 km al sudoeste de la ciudad de Kharkov. Este yacimiento tiene sus reservas gasíferas acumuladas en sedimentos del Pérmico superior y Carbónico inferior. Aunque no se dispone de cifras de reservas, algunos autores sostienen que *Shebelinskoye* es aún más importante que los campos de gas natural de *Groninghen*, sobre el mar del Norte. La sección productiva presenta 14 zonas permeables separadas por intervalos de anhidrita y sal gema. Este campo, de fuerte relieve estructural, posee una extensión de 30 km de largo por 10,5 km de ancho, siendo su cierre vertical del orden de los 1.250 metros. Actualmente, el yacimiento es drenado por 300 pozos de gas, el que posee una composición de 92 % de metano y 5 % de hidrocarburos más pesados.

La producción de crudo sumada de las Repúblicas S. S. de Ucrania y Bielorusia alcanzó en 1970 los 16 millones de metros cúbicos, es decir, un 3,8 % del total producido en la U.R.S.S.

C-8 Provincia de Siberia Oriental

En años recientes, los geólogos soviéticos han descubierto en la Siberia asiática dos importantes provincias gasíferas y petrolíferas: 1) la llanura siberiana occidental, y 2) la plataforma siberiana oriental, separadas ambas por la anteclisa del río Yenisei.

La plataforma siberiana oriental es una extensa región de más de 3 millones de kilómetros cuadrados. Si bien este territorio aún no está debidamente investigado, intensas exploraciones se están llevando a cabo en sus porciones marginales en donde los resultados hasta aquí obtenidos son altamente promisorios. La presencia de hidrocarburos ha sido comprobada dentro de una amplia distribución estratigráfica, desde el Proterozoico superior y Cámbrico infe-

rior hasta Triásico, Jurásico y aún Cretácico.

Las formaciones portadoras corresponden a la cubierta sedimentaria acumulada en depresiones de la plataforma antigua, que está compuesta por rocas ígneas y metamórficas del Arcaico y Proterozoico inferior y medio. La sección sedimentaria de interés a veces reposa directamente sobre el basamento cristalino, o bien sobre depósitos mixtos del Proterozoico superior que alcanza desde 350 metros hasta los 5.000 metros en algunas de las áreas deprimidas post-geosinclinales. De acuerdo a la región varía la composición y el espesor de los sedimentos suprayacentes. En un perfil compuesto alcanzan potencias de 3.000 a 6.450 metros en las zonas central y sur de la plataforma.

Aquí el Cámbrico inferior es de particular interés, pues entre sus calizas y dolomitas (600 a 1.400 metros) encierra areniscas y arcillitas (Formación Mot) que han resultado buenas portadoras de gas, condensado y petróleo en la zona del "anfiteatro" de Irkust. El yacimiento de *Markov* puede citarse como ejemplo. El gas (metano y 8 a 14 % de hidrocarburos pesados) y condensado (densidad 0,73 con 91 a 99 % de fracciones livianas) provienen preferentemente de la arenisca de la Formación Mot (80 a 180 metros) en tanto que el petróleo liviano (densidad 0,82, 0,5 a 1,6 de azufre y 1 % de parafina) fluye de las dolomitas y calizas de la Formación Osin, también del Cámbrico inferior. En este horizonte, la permeabilidad principal se debe a redes de fracturas, en parte abiertas, tortuosas y ramificadas que en partes alcanzan valores de 2 al 4 % de porosidad y permeabilidad que llegan a 1.000 md., como en el caso del pozo I, con un rendimiento de 1.220 metros cúbicos de petróleo y 500 mil metros cúbicos de gas por día.

Hacia el norte y nordeste, por su parte, la extensa zona que va entre la plataforma siberiana y las cadenas de plegamiento hercínico de Verkhoyansk y

Taimir está colmada de depósitos areno-arcillosos del Pérmico, Triásico, Jurásico y Cretácico que llegan a alcanzar entre 4.500 y 8.000 metros.

La plataforma siberiana oriental está caracterizada por grandes elementos estructurales de primer orden (anteclisas, meganticlinoriums, macizos, sineclisas y extensas pendientes regionales) que no sólo poseen a veces historias geológicas independientes, sino que involucran sucesiones sedimentarias de diferentes edades. Ello hace que la investigación de este vasto territorio deba encararse dentro de un respectivo marco regional, dada la variedad de los ambientes, muchos de los cuales son promisorios para la generación y acumulación de hidrocarburos. Por ejemplo, en la sineclisa de Vilui (región de Yakutia) en la margen izquierda del río Lena, se han descubierto importantes depósitos de gas dentro de areniscas de Triásico inferior y medio (con porosidades de 6 a 15 %) y Liásico inferior a medio (porosidades entre 9 y 21 %). En el yacimiento de Vilui (con pozos de un rendimiento libre de hasta 2,5 millones de metros cúbicos de gas por día) el gas es metano, variando su contenido de hidrocarburos pesados según su procedencia (Triásico, 3 a 8 %; Jurásico 0,6 a 2 %). Junto al gas natural, se obtienen además interesantes producciones de condensado de densidad 0,75.

En la sineclisa de Vilui, así como en otras depresiones circundantes, la deposición del supra-Paleozoico y Mesozoico tuvo lugar en condiciones ambientales propicias para la generación de hidrocarburos, al tiempo que una persistente sedimentación pelítica durante el Jurásico superior y Neocomiano proporcionó excelente sello para eventuales migraciones de los fluidos acumulados en los horizontes inferiores. La presencia del magmatismo basáltico del final del ciclo hercínico y su hidrotermalismo posterior no afectó los depósitos de hidrocarburos, ya que su migración y entrapamiento se produjo

en tiempos posteriores a las intrusiones y al vulcanismo.

En el resto de la plataforma oriental se reconoce un prolongado hundimiento regional durante el Paleozoico bajo que contribuyó al rápido enterramiento de materia orgánica en sedimentos nerítico-costaneros hasta lagunares. Nuevas subsidencias (hasta 2.000 y 3.000 metros) durante el Paleozoico medio-superior y Mesozoico, siguiendo estructuras preformadas en el eo-Paleozoico, permitió aquí la migración y el entrapamiento del petróleo y gas, los que quedaron confinados bajo espesores de sal gema y calizas impermeables también pertenecientes al Paleozoico inferior.

La explotación de Siberia oriental sigue intensificándose, llegando las investigaciones hasta las fronteras de Mongolia, en las zonas del anfiteatro de Irkust y del lago Baikal.

C-9. Región de Sakhalin-Kamtchatka

En el lejano oriente soviético, ya enfrentando al Pacífico (mares del Japón, Okhotsk y Bering) desde la isla de Sakhalin y hasta el golfo de Anadryr, se extiende otra interesante región petrolífera y gasífera de la Unión Soviética. La misma abarca territorios y elementos estructurales diversos los que, debido a su importancia y caracteres geográficos y geológicos, han permitido diferenciarla como una provincia petrolífera independiente de la Siberia oriental.

En el norte de la isla de Sakhalin, son conocidos desde antiguo los manantiales de petróleo y lagunas de asfalto que afloran de sedimentos marinos supraterciarios que reposan discordantemente sobre el basamento paleozoico. Por recomendación de geólogos japoneses, en 1919 se inició la perforación de algunos pliegues anticlinales de rumbo meridional, iniciándose así la industria petrolera de la región. En la actualidad más de 30 yacimientos de petróleo y gas son conocidos en la isla, destacándose por su importancia los de *Erri*, *Sobo* y *Okha*. La formación productiva Okoby-

hay (Mioceno superior) está presente en todos los campos. Esta unidad, de 800 a 1.800 metros de potencia, está constituida por una alternancia de arcillitas, limolitas y areniscas gris-azuladas portadoras de fauna costanero-lagunar. Las arenas se hacen más frecuentes hacia el techo de la formación, mejorándose en tal sentido las condiciones de los reservorios, que a veces poseen permeabilidad que supera los 1.300 milidarcys. El petróleo producido de Sakhalin posee una densidad de 0.923. El gas, por su parte, será distribuido hasta la cuenca del río Amur y parte es exportado por el sur de la isla hacia Japón.

Mucho más al norte, en las inmediaciones del Círculo Ártico, se han hallado significativas evidencias de hidrocarburos en las penínsulas de Kamtchatka y Chukotska, por lo que esta parte del Lejano Oriente soviético está recibiendo especial atención en los programas de exploración inmediata. Algunos resultados recientes son por demás alentadores.

En la depresión de Anadyr, un reciente pozo exploratorio produjo 200.000 m³/día de gas de horizontes cretácicos, entre 1.000 y 7.480 metros de profundidad. Más al sur, intensos trabajos sísmicos se están realizando en la meseta de Koriak y en Kamtchatka para definir otras estructuras terciarias de posibilidades petrolíferas.

D-10. Provincia de Siberia occidental

Hemos diferido para el final la descripción geológica de la nueva y más importante provincia petrolera de la U.R.S.S. De acuerdo a lo ya explorado y a los pronósticos técnicos que se han presentado en el VIII Congreso Mundial del Petróleo, Siberia occidental encierra las mayores reservas de gas conocidas del mundo y constituye sin duda una de sus mejores áreas petrolíferas.

Las posibilidades de la llanura siberiana se pusieron de manifiesto en 1953, con el descubrimiento del campo gasí-

fero de *Beryozovo* que posee una reserva comprobada de 200.000 millones de metros cúbicos de gas. En 1960 se produjo el hallazgo del primer campo de petróleo en *Trekhozerny* comenzando la exploración comercial en 1964 en el pie oriental de los Urales y a lo largo del río Obi, en la región de *Tyumen*. Actualmente son conocidos más de 75 yacimientos de petróleo + gas, y 45 yacimientos de gas no asociado. La producción de 1970 alcanzó a 37 millones de metros cúbicos de petróleo, pero las perspectivas actuales permiten programar un vertiginoso crecimiento para alcanzar los 140 millones de metros cúbicos en 1974 y los 300 millones de metros cúbicos en 1980. Ello está condicionado a las posibilidades de evacuar el crudo hacia los centros de procesamiento y consumo. Las áreas productoras del extremo norte, preferentemente gasíferas, además de su ubicación remota (muchas detrás del Círculo Ártico), se encuentran situadas en la zona de "permafrost" en tanto que la región petrolífera de más al sur se halla en un 70 % en áreas de marismas, turbales y lagos profundos e inundada por el Obi durante la primavera. Todo esto, junto a las rigurosas condiciones del clima, hacen que la logística de las operaciones siberianas sea lenta, complicada y costosa. Muchos equipos perforadores deben ser transportados por aire, ya sea con helicópteros gigantes o vehículos sobre colchón de aire ("hover-crafts"). En otros casos, se construyen caminos temporarios de hielo, sobrecongelando las marismas y, en general, se utiliza la perforación direccional múltiple para minimizar la instalación de plataformas y subestructuras¹.

Desde el punto de vista geológico regional, la llanura siberiana occidental corresponde a la plataforma epinalcozoica que se extiende entre los Urales y la anteclisa del Yenisei, abarcando

¹ El mayor yacimiento de U.R.S.S., *Samotlor*, se ubica bajo un lago, debiendo perforarse desde plataformas y pasarelas.

una superficie de alrededor de 1.750.000 kilómetros cuadrados. En dicha zona pueden reconocerse tres pisos estructurales: el primero corresponde al "basamento", constituido por depósitos geosinclinales paleozoicos, altamente metamorfoseados, dislocados e intruidos magmáticamente. El piso estructural intermedio está constituido por depósitos transicionales, sedimentarios y efusivos, desarrollados en cubetas y grabens intermontáneos, de tectónica mucho más sencilla. Finalmente, el piso estructural superior está formado por la cubierta de plataforma que se inicia con depósitos terrígenos del Jurásico y que se prolonga hasta el Paleogeno. Esta cubierta sedimentaria final tiene especial interés, ya que a ella se asocian mayormente todas las acumulaciones de gas y petróleo de Siberia occidental. No obstante, algunos depósitos de hidrocarburos se señalan dentro del piso transicional intermedio y aún en las porciones superiores de rocas del "basamento".

La cubierta sedimentaria meso-cenozoica tiene espesores que llegan a 4/6.000 metros. En líneas generales, el basamento se hunde de sur a norte. Aflora al sur de Omsk y Novosibirsk, profundizándose irregularmente para estar a 3 kilómetros de hondura en la latitud del río Obi medio y alcanzar un máximo de 6 kilómetros de profundidad en el curso inferior del Yenisei donde se extiende de sudoeste a noreste una estrecha cubeta sedimentaria vecina al yacimiento gasífero de *Krasnoyarsk*. La sección sedimentaria se encuentra perturbada por amplios positivos, con depresiones y fallas asociadas. Tres son los elementos estructurales de primer orden: los arcos tectónicos de Shaim, Surgut y Nizhnaya Vasta, los dos últimos ubicados en el Obi medio. Los depósitos de hidrocarburos se relacionan con estos elementos positivos, estando confinados a altos locales, complicados por fallas, aunque algunos poseen también un neto control estratigráfico.

Desde el punto de vista petrolero,

podemos reconocer dos ambientes geológicos diferentes: la región de *Shaim*, en el pie oriental de los Urales, a los 60° de latitud norte, y la región del *curso medio del río Obi*. En la primera de ellas la cubierta sedimentaria de interés sólo tiene de 1.500 a 2.000 metros de potencia, debido al acuñaamiento de las diversas formaciones mesozoicas. En la región de *Shaim*, los campos poseen en general una sola zona productiva que corresponde a la llamada zona "P" del Jurásico superior. Son areniscas cuarzosas y polimícticas, con finas intercalaciones limosas y calcareníticas. Las trampas son de tipo estratigráfico deposicional, de intrincada configuración, acompañando lo topografía del basamento. Los espesores permeables efectivos no superan los 20 metros. Los petróleos de *Shaim* son livianos (densidades de 0,826 a 0,852), de baja viscosidad (entre 4 y 6 cp. a 20° C) y bajo tenor de azufre (0,35 %). Hasta 1970 se habían descubierto en *Shaim* 22 yacimientos, los que totalizaban una reserva final recuperable de alrededor de 240 MM de metros cúbicos.

Por el contrario, los yacimientos descubiertos en la región del *Obi medio* son multizonales, de mayor extensión que los anteriores y con un intervalo productivo de mayor espesor. Las trampas son del tipo de plataforma, de tectónica suave, pero algunas están originadas por deformación deposicional. El basamento se halla entre 4 y 6 kilómetros de profundidad. Las zonas de mayor interés petrolero se confinan a las masas arenoso-arcillosas del Cretácico, preferentemente de Valanginiano, Hauteriviano, Barreniano y Aptiano. Los horizontes productivos se reconocen por grupos: "A", con reservorios del A1 al A14, y "B", del B1 al B11. El primer grupo yace entre los 1.650 y 1.800 metros de profundidad, en tanto que el grupo "B" se encuentra entre los 2.050 y 2.500 metros. El intervalo productivo tiene entre 700 y 800 metros y cada uno de los reservorios individuales

posee hasta 80 metros de potencia. La roca reservorio es una arenisca polimítica en donde los fragmentos líticos y feldespatos frecuentemente superan al cuarzo. Los horizontes difieren por sus características de reservorio en su homogeneidad y productividad. En *Surgut*, las permeabilidades llegan hasta 580 md. (horizontes B1 a B6), en tanto que en *Nizhnaya-Vasta* alcanzan a 540 md. (horizonte B8) y 770 md. (horizonte A4-5). Además de todos estos reservorios cretácicos comercialmente productivos, las arenas del Jurásico han mostrado buenas impregnaciones y aún modestas producciones comerciales. No obstante la complejidad de la configuración de sus trampas, las variaciones litológicas frecuentes y las pobres condiciones de reservorios a mayores profundidades hacen considerar aún este objetivo en forma secundaria. Las características del crudo del Obi medio ofrecen variaciones de acuerdo al área y al nivel productivo. No obstante, podemos señalar que las densidades varían entre 0,845 y 0,88, el contenido de parafina entre 2,2 y 5 % y los tenores de azufre entre 0,9 y 1,81 %.

El mayor yacimiento petrolífero de la U.R.S.S. y —según algunos expertos soviéticos— uno de los más grandes del mundo, es el campo de *Samotlor*, en la región de *Nizhnaya-Vasta* del Obi medio. El intervalo neto permeable saturado de petróleo es aquí de 100 metros de potencia, en tanto que el grupo A de reservorios presenta una calota de gas, hecho que se repite en algunos yacimientos, aunque normalmente la energía del sistema está dada por empuje hidrodinámico que se incrementa artificialmente con inyección de agua obtenida del complejo Aptiano-Cenomaniano, con presiones, temperaturas y composición química idénticas a las aguas profundas del yacimiento. La estructura de *Samotlor*, descubierta en 1968, es única por sus dimensiones, así como por el hecho de poseer 6 espesos horizontes productivos de petróleo y gas que, si bien se encuentran en desarrollo,

ya indican reservas inigualadas para la Unión Soviética¹. Los pronósticos de los técnicos soviéticos aseguran que *Samotlor* estará produciendo en 1975 unos 230.000 metros cúbicos por día, es decir, unos 84 millones de metros cúbicos en el año, duplicando por sí solo la presente producción de petróleo de Siberia occidental. A modo de comparación, puede apuntarse que, si las predicciones son correctas, la producción de este solo yacimiento de *Samotlor* triplicará en 1975 la producción anual estimada de toda la Argentina.

Si bien el potencial de *Samotlor* aún puede albergar dudas con los datos disponibles, no ocurre lo mismo con la importancia comprobada de los campos de gas siberianos situados detrás del Círculo Ártico, al este del golfo de Obi, en su desembocadura en el mar de Kara. El mayor yacimiento gasífero del mundo es el de *Urengoiskeye*, descubierta en 1966. Es un enorme anticlinal chato de 140 km, de largo por 50 km de ancho y 250 metros de relieve estructural. El reservorio está constituido por areniscas y limolitas supracretácicas, que poseen una potencia neta productiva de 60 metros, pudiendo alcanzar en partes un máximo de 211 metros, con porosidades del orden del 30 %. Esta trampa gigantesca es una acumulación anticlinal con el contacto gas/agua entre 1.188 y 1.207 metros de profundidad. El gas de *Urengoiskeye* posee 98 % de metano y 1,5 % de anhídrido carbónico. La reserva de gas comprobada de este yacimiento es de 1,7 billones (millón de millones) de metros cúbicos y una reserva "explorada" (comprobada + probable) de 3,48 billones de metros cúbicos de gas natural.

Además de este inigualado campo de gas, existen también en la región del golfo del Obi otros grandes yacimientos que justifican reconocer a esa zona de

¹ Las reservas estimadas en 1970 para *Samotlor* alcanzaban a 2.400 MM m³, siguiéndole *Ust-Balyk* con 493 MM m³ y *Surgut* con 313 MM m³ de petróleo.

CUADRO 1

Yacimiento	Estructura				Reservorios gasíferos				Reservas (en 10 ⁹ m ³)	
	Descubierto	Largo	Ancho	Cierre vert.	Espesor	Profundidad	Edad	Comprobadas	Totales	
Urengoiskoye.....	1.966	140 km	50 km	250 m	40/200 m	1.200 m	Cretácico superior	1.700	3.480 ¹	
Zapolyarnoye.....	1.935	50 km	29,5 km	—	Máx. 211 m	1.130 m	Turon-Cenom.	1.500	1.681	
Medvezhye.....	1.967	109 km	19 km	113 m	27/32 m	1.120 m	Cenomaniano	1.000	1.287	
Gubkinskoye.....	1.965	30 km	15 km	180 m	25/54 m	725 m	Cenomaniano	300	500	
						Grandes totales		4.500 ²	6.948 ³	

¹ 6.000 × 10⁹ m³, según Dickey, P.A. (A.A.P.G., marzo 1971).

² 9.000 × 10⁹ m³,

³ 30.000 × 10⁹ m³,

Tyumen como la más grande provincia gasífera del mundo.

Podemos resumir las características de los campos gasíferos más importantes en el cuadro 1.

IV. RESUMEN DE LA INDUSTRIA DEL GAS Y PETROLEO DE LA U.R.S.S.

En el cuadro 2 se presenta un resumen estadístico de la evolución de la industria del petróleo y del gas en la Unión Soviética. Dicha sinopsis está basada principalmente en cifras de R. E. Ebel (junio de 1971), así como en diferente información estadística extraída de diversas fuentes. En ella se da una idea de la evolución cronológica de los rubros más indicativos de la industria en la U.R.S.S. expresados por las cifras correspondientes a los años 1960, 1965 y 1970, último período con datos oficiales a la fecha de realización del VIII Congreso Mundial del Petróleo. Se han agregado también algunos valores pronosticados correspondientes a metas publicadas provenientes del IX Plan Quinquenal Soviético y, a modo de parámetro de comparación, se han incluido también en la última columna cifras similares de lo realizado en EE. UU. durante el año 1970 (de acuerdo a datos extraídos de World Oil, VIII-71 y A. A. P.G., VII-71).

El análisis de cuadro 2 nos obliga a hacer algunos comentarios, al tiempo que permite extraer varias conclusiones de interés. En primer lugar, al analizar el rubro de reservas (rubro 16) debemos señalar los alcances del término ruso "reservas exploradas". Por cierto que este término no es comparable al de "reserva comprobada" utilizado en los países occidentales. Se trata de aproximadamente la suma de reservas "comprobadas" más "probables" y, en el consenso general, se acepta que la misma excede en un 50 % a la clásica categoría de "reservas comprobadas". De ser así, vemos que la cifra de 5.400 ×

CUADRO 2

Resumen de la industria del petróleo y gas en la U.R.S.S.

	Realizado		Programado 1975	Comparación EE. U.U.-1970
	1960	1965		
1. Perforación exploratoria (en 10 ⁶ metros).....	4,0	5,6	6,0 *	13,8
2. Perforación de desarrollo (en 10 ⁶ metros).....	3,7	5,1	7,3 *	28,6
3. Total miles de metros perforados en el año.....	7.715	10.719	13.2,2	42.448
4. Profundidad promedio pozos exploración (metros).....	—	2.330	2.882	1.821
5. Profundidad promedio pozos desarrollo (metros).....	—	1.649	1.847	1.423
6. Número de pozos en producción.....	34.700	42.270	50.350 †	517.177
7. Número de pozos completados por año, productivos.....	2.370	2.766	3.500 *	16.860
8. Producción promedio por pozo, crudo y cond. (m ³ /día).....	13,8	20,4	23,2	2,96
9. Producción anual de crudo (en 10 ⁶ m ³).....	177,3	291,5	423,1	558,9
10. Producción anual de gas (en 10 ⁹ m ³).....	4,53	127,7	198,0	673,6
11. Red oleoductos (en miles de km a fin de año).....	13,0	22,1	32,0	276,4
12. Red gasoductos (en miles de km a fin de año).....	20,9	42,2	70,6	385,0
13. Capacidad de refinación (en 10 ⁶ m ³).....	177,6	265,2	366,0	700,8
14. Consumo interno de crudo (en 10 ⁶ m ³ /año).....	125,9	192,1	284,0	868,6
15. Exportación de crudo y subproducción (en 10 ⁶ m ³ /año).....	39,8	77,3	108,0	14,6
16. Reservas « exploradas » ² de petróleo (en 10 ⁶ m ³).....	3.600 *	4.920 *	5.400 *	7.425 *
17. Relación reserva ² /producción petróleo ³	20/1	17/1	13/1	13/1
18. Reserva de gas « explorada » ² (en 10 ⁹ m ³).....	2.336	3.566	12.092	8.233 †
19. Relación reserva ² /producción de gas ³	52/1	28/1	61/1	12,2

— Sin datos disponibles

* dato estimado, no oficial

† incluye aproximadamente 1.700 pozos gasíferos

² « explorada » incluye reserva probada + probable. Se acepta que 2/3 de « explorada » puede considerarse como « comprobada »

³ dato estimado, tomando el nivel de producción de 1970

‡ reserva comprobada

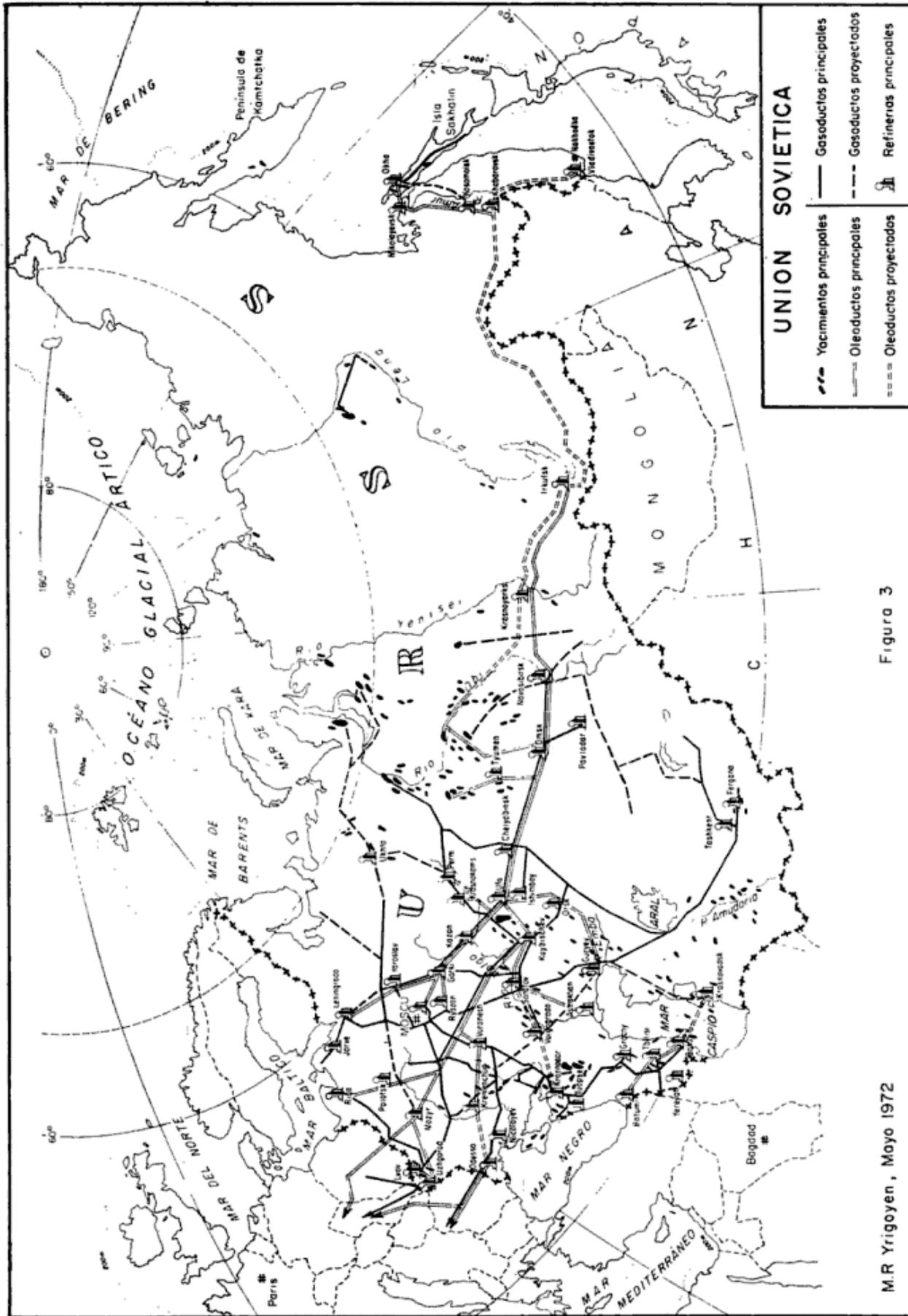


Figura 3

M.R Yrigoyen, Mayo 1972

10⁶ metros cúbicos de “reserva explorada” de petróleo se reduciría a 3.600×10^6 metros cúbicos de “reserva comprobada”, lo que arrojaría una relación de reserva/producción de sólo 8,5/1 al ritmo de producción de 1970.

Si aplicamos este valor al estudio del rubro 17 del cuadro 2 veremos la constante caída que han sufrido las reservas de petróleo de la U.R.S.S. durante el período estudiado. Debe aclararse que las cifras anteriores pueden estar sujetas a modificación, pues no hay datos oficiales de reserva de petróleo. A diferencia de los amplios datos publicados por la U.R.S.S. respecto a la floreciente rama del gas, las estadísticas rusas referentes a petróleo crudo, así como los datos de los respectivos yacimientos (reservas, producción, ubicación, etc.) son sumamente escasos y aún confusos¹.

Debe destacarse que algunos autores elevan ampliamente la cifra de 5.400 millones de metros cúbicos de reserva de petróleo aquí utilizada, siguiendo a R. E. Ebed. En algunas estadísticas europeas se apunta para dicho valor 9.100 millones de metros cúbicos, cifra bastante similar a los 58.000 millones de barriles frecuentemente citada en algunas estadísticas americanas. Las cifras de Ebed deben considerarse como conservativas, máxime teniendo en cuenta hoy los anuncios oficiales soviéticos de importantes adiciones de reservas de petróleo logradas durante 1971.

De cualquier manera, ante un continuo crecimiento de la demanda ocasionada por la agricultura y la industria y el respectivo —y necesario— incremento de la producción de petróleo, la adición de nuevas reservas está quedando atrás. Se ha comunicado en Moscú un aumento de las reservas soviéticas de petróleo de un 5,3 % anual, el que,

¹ De acuerdo al “Acta Soviética de Secretos de Estado” de 1947. Los mapas no poseen escalas ni coordenadas geográficas y las distancias de yacimientos a ciudades cercanas son inexactas y aún distorsionadas.

si bien configura un ritmo de crecimiento muy aceptable, no llega a alcanzar, ni a nivelar, el aumento de la producción que ha variado entre el 10 y el 6,9 % anual en un período similar. Corroborando esto, durante el VIII Congreso se comunicó (Semenovich y Erofeev) que las reservas soviéticas de crudo habían aumentado en los últimos 10 años 1,7 veces y las reservas de gas más de 5 veces. Pero también, durante el mismo período, la producción de petróleo aumentó 2,4 veces, lo que vuelve a señalarnos el desequilibrio que lleva a la progresiva disminución de las reservas que recién apuntáramos.

La situación anterior ha hecho perder terreno a las posibilidades soviéticas de constituirse en fuerte exportador de crudos a los países del este de Europa, tanto comunistas como no comunistas. No obstante ello, esta situación está en cierta forma balanceada por la bonanza de que goza la industria del gas, la que actualmente posee una reserva de más de 60 veces las producciones anuales al ritmo de 1970. La U.R.S.S., en la última década y merced al descubrimiento de tan ponderables reservas de gas natural, emergió como un fuerte exportador de gas en los mercados europeos. Actualmente, importantes volúmenes de gas soviético son transportados a Checoslovaquia, Polonia y Austria. Hay nuevos gasoductos diseñados para el suplido de gas a Bulgaria y República Democrática Alemana, habiéndose firmado contratos de exportación de largo plazo con Italia y Alemania occidental. Se hallan también en tratativas exportaciones similares de gas a Francia, Finlandia y Japón, esta última en un convenio de provisión de aceros y tuberías versus gas de la isla de Shakalin. Por su parte, la U.R.S.S. entraría en arreglos con los países limítrofes del sur (Irán y Afganistán) para comprarles gas para sus repúblicas más australes en donde el precio del fluido irano-afganistano sería mucho más reducido que el que debieran mover los

soviéticos de sus zonas productoras sumamente alejadas.

Idéntica reflexión cabe hacer para justificar la lenta pero segura penetración que realizan los soviéticos en algunos países árabes, particularmente en Irak, donde han podido ya concretar la exploración de algunos yacimientos en forma de contratos de asistencia técnica, lo que ha permitido desviar parte de dicha producción de petróleo de costo reducido a su propia zona industrial del Volga-Ural, situada muy lejos de sus yacimientos siberianos y de un alto costo de exploración, desarrollo y transporte.

Todo el cuadro anterior justifica de por sí la expansión que se está dando a la exploración y producción de hidrocarburos en la U.R.S.S. En estos momentos, se indica que la industria del petróleo y del gas en la U.R.S.S. recibe una inversión anual de más de 3.000 millones de rubros (= 3.300 millones de dólares), de los que una parte muy sustancial es invertida en exploraciones. Estas crecidas sumas han permitido el aumento de las reservas petrolíferas y gasíferas, así como su desarrollo a un ritmo nada despreciable, aunque quizá con cierto retraso para los planes soviéticos de exportación, como fuera señalado. Varias son las causas que motivan este retraso en la expansión de la industria del petróleo. La principal de ellas estriba en las condiciones físicas adversas de las grandes regiones productivas siberianas y la tremenda distancia que las separa de la zona industrial Volga-Ural. La exploración, perforación, producción y transporte de fluidos en grandes volúmenes a través de tundra, taiga, permafrost y marismas opone dificultades enormes que sólo con enormes inversiones y altos costos operativos pueden superarse. Otro punto débil es el nivel tecnológico de la industria soviética. Si bien uno puede asombrarse de algunas hazañas técnicas, el costo de las mismas las hace desmesuradamente antieconómicas. En perforación, el "turbodrill" —herramienta

universal de perforación rusa— pese a toda la investigación desarrollada, se torna ineficaz por debajo de los 2.500 metros.

Otras fallas tecnológicas han sido apuntadas también por los expertos occidentales. La urgencia que lleva el desarrollo de la industria hace muchas veces pasar proyectos de las mesas de diseño directamente a las áreas de operación, sin ensayos pilotos intermedios. Un ejemplo ha sido la instalación de tuberías de producción de gran diámetro (12") para obtener volúmenes diarios de 3 a 5 millones de metros cúbicos de gas en los pozos de yacimientos detrás del Círculo Ártico. En la práctica resultó desastroso, pues el gas caliente ocasionaba el descongelamiento del "permafrost" en un radio de hasta 6 metros, provocando el colapso de las instalaciones de superficie. Casos similares ocurrieron en la utilización de grandes gasoductos que, a poco de entrar en flujo, sufrieron daños muy severos. Los técnicos soviéticos están a la expectativa de las soluciones que puedan surgir de las operaciones en el "North Slope" de Alaska para poder implementarlas en sus propias áreas.

Los estudios de este tipo de problemas acucian a los especialistas de la U.R.S.S. Debemos recordar que la principal región productora de Ural-Volga, que hoy ofrece el 60 % del crudo soviético, está en su pico y sólo podrá mantener su producción actual por poco tiempo. La región siberiana deberá llenar rápidamente ese déficit y disminuir sus costos. Se conoce que la perforación en dichas zonas (según N. A. Sidorov, junio 1971) es sumamente cara, como lo exponen las cifras del cuadro 3.

Se aprecia aquí claramente la necesidad de perforar en un mínimo de tiempo, exigiéndose así un mayor rendimiento de los equipos de perforación. Gran parte de la investigación tecnológica está volcada a optimizar la producción de esas lejanas y penosas regiones. Una indicación de ello surge de la

CUADRO 3

Costos de perforación en pozos de desarrollo

Zona	Profundidad promedio	Rendimiento equipo/mes	Costo por metro
Tataria (Ural-Volga).....	1.695 m	2.059 m	US\$ 51,95
Bashkiria (Ural-Volga).....	1.486 m	1.831 m	US\$ 52,64
Siberia occidental.....	2.045 m	2.951 m	US\$ 93,73

progresiva disminución de los costos de producción en Siberia. En 1960, una tonelada de crudo siberiano tenía un costo promedio de 1,6 rublos (0,90 rublo = 1,00 u\$s) para bajar en 1965 a 9,42 rublos y a 3,80 rublos en 1970. En otros términos, en 1960 el costo de producción de un metro cúbico era de u\$s 11,00; en 1965 de u\$s 9,00 y en 1970 de u\$s 3,65. Basados en este mejoramiento y en técnicas a desarrollar, la U.R.S.S. ha planeado para Siberia occidental el ambicioso programa de producción que sigue (V. D. Shashin, junio 1971):

Año	Millones de m ³ de petróleo
1970	37,6
1975	120 a 144
1980	276 a 312

Recientemente, se han dado a publicidad las tratativas ruso-japonesas para la explotación conjunta de los recursos naturales siberianos. La Unión Soviética busca así el apoyo industrial y financiero que le permita el desarrollo del petróleo, el gas y el carbón siberianos. Esto ha comenzado con la construcción de un oleoducto de 3.900 km de longitud y 48 pulgadas de diámetro, que dará salida al petróleo de Tyumen, uniendo Irkust con el puerto pacífico de Nakhora (ver mapa 3). Dentro del acuerdo bilateral, el Japón compraría anualmente 55 millones de metros cúbicos

de petróleo ruso durante un período de 20 años, a partir de 1975. En igual forma, para poner en fluencia los grandes yacimientos de gas siberianos¹, la Unión Soviética está en adelantadas tratativas con empresas privadas norteamericanas, tales como Tenneco Gas, Texas Eastern y El Paso Natural Gas. Es interesante observar así cómo los intereses económicos permiten la colaboración mutua de países comunistas, monárquicos y democráticos, pese a defender políticas netamente antagónicas.

Si bien el desafío del petróleo siberiano no será fácil de cumplir, queda aún en la Unión Soviética otra gran fuente de recursos por explotar. Se debe tener en cuenta que la U.R.S.S. posee una extensa plataforma continental que, como se apuntó al principio, tiene una superficie prospectiva para explotación de hidrocarburos del orden de los 2,5 millones de kilómetros cuadrados, hasta los 200 metros de profundidad de agua. Si bien las heladas aguas del Artico presentan también difíciles problemas operativos, los científicos y técnicos soviéticos siguen muy de cerca las experiencias del mar del Norte y del Cook Inlet en Alaska y confían superar las dificultades técnicas de aquel "offshore" que están explorando geofísicamente desde hace ya algunos años.

¹ Ya ha comenzado la construcción del gasoducto "Aurora borealis" de un diámetro de 2,5 m (100 pulgadas) que unirá los campos nordsiberianos con el área de Moscú.

POST-SCRIPTUM

Luego de terminado el manuscrito, apareció publicado en el Boletín de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros (AAPG, vol. 56/, marzo 1972, pp. 454-471) un conciso artículo de Parke A. Dickey titulado "Geología de los yacimientos petroleros de la Llanura Siberiana Occidental". Dada la importante información que presenta sobre estratigrafía y características de los yacimientos siberianos, se recomienda especialmente su lectura.

Para la preparación de este trabajo, además de apuntes obtenidos durante las sesiones del VIII Congreso Mundial del Petróleo (Moscú, junio de 1971), se han extraído datos de varias contribuciones preparadas en ocasión de cele-

barse dicha reunión técnico-científica. Entre ellos merecen citarse:

- Ebel, R. E., *Two decades of Soviet Oil & Gas.*
- Krotunov, A., *Prospects for the Gas Industry in U.S.S.R.*
- Orudzhhev, S. A. & Fain, Y. B. *How West Siberian Reserves are being Developed.*
- Ovanesov, G. & Shabrev, I. *Where the U.S.S.R.'s Big Oil Is.*
- Polshokov, M. K. *Soviet Geophysical Research in Developing Fast.*
- Semenovich, V. V. & Erofeev, N. S. *New Oil & Gas Regions of the U.S.S.R. and their Prospects.*
- Shashin, V. D. *The Soviet Oil Industry - Today and Tomorrow.*
- Sidorov, N. A. *Achievements in Modern Soviet Drilling Techniques.*
- Vasilyev, V. G. *Technological Progress in U.S.S.R. Gas Industry.*
- Vysotsky, S. V. *Oil and Gas Deposits in the Soviet Union.*
- Varios autores. *Petroleum Industry of the U.S.S.R.*
- Petroleum Pres Service. *Spotlight on Russia.*

PRESENCIA DE MOTTRAMITA EN LA ZONA DE OXIDACION
DEL YACIMIENTO DE PLOMO, COBRE Y ZINC,
MINA CRUZ DEL SUR, LOS MENUCOS,
PROVINCIA DE RIO NEGRO, REPUBLICA ARGENTINA

Por KITARO HAYASE¹ y JORGE A. DRISTAS¹

RESUMEN

En la zona de oxidación de la mina Cruz del Sur, departamento 9 de Julio, provincia de Río Negro, se encontró un mineral de tonalidades verdosas que fue estudiado microscópicamente, por difracción de rayos X, análisis microquímicos, espectroscopía infrarroja y análisis químicos cuantitativos. El resultado de estos estudios demostró que el mineral es una mottramita, que es casi un término extremo de la serie mottramita-descloizita.

ABSTRACT

A green mineral which was found in the oxidation zone of the Cruz del Sur mine, 9 de Julio departament, Río Negro province, Argentina, was studied microscopically, by means of X-ray, microchemical test, infrared spectroscopy and chemical analysis. The results of the study indicates that this mineral is a mottramite, which is almost the end member of the mottramite-descloizite series.

I. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por finalidad dar a conocer el hallazgo de mottramita en la mina Cruz del Sur, donde los autores realizan actualmente un amplio estudio de la zona de oxidación de dicho yacimiento.

Se consideró de destacado interés describir la especie en cuestión por cuanto se trata de un mineral poco frecuente y cuya presencia se ha citado en raras oportunidades en yacimientos argentinos.

Por dicha razón se han empleado en su estudio el mayor número de técnicas posibles, en particular, aquellas que han sido consideradas de carácter diagnóstico por otros autores. Se destaca que,

¹ Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur.

de este modo, se puede determinar al mineral en cuestión, ya que cada técnica por separado no suministra una completa información.

La mottramita es un mineral que se presenta en cristales ortorómbicos de hábito prismático de color verde y representa un término extremo de la serie mottramita-descloizita —(Cu, Zn) Pb VO₄ (OH)—, en la que según Millman (1960), la relación OCu: OZn es 10: 1 en peso.

II. ANTECEDENTES

Se cita a continuación, aquellos trabajos donde se hace referencia a la presencia de minerales de la serie mottramita-descloizita en yacimientos argentinos.

En 1883 Brackebusch *et al*, describen

y dan análisis químicos de mottramita y descloizita en las provincias de San Luis y Córdoba respectivamente.

En 1965 Kittl y Villarroel determinan vanadinita en la mina Gonzalito, provincia de Río Negro, mencionando además la presencia de descloizita pero no dan datos de este último mineral.

En 1968 Gay y Hillar, describen un mineral hallado en las "Canteras El Sauce" en la localidad Salsipuedes, provincia de Córdoba, por estudios de óptica y difracción de rayos X, determinándolo como descloizita.

En 1969 Arcidiácono, menciona entre otros minerales, la presencia de mottramita y descloizita en la zona de oxidación de los yacimientos de plomo Las Aguadas, provincia de San Luis, identificados por medio de diagramas de difracción de rayos X, con algunas dificultades en su identificación, pues ambos minerales presentan "diagramas ro-

entgenográficos diferentes aunque similares".

III. OCURRENCIA

La mottramita fue hallada como un fino agregado cristalino de tonalidades verdosas, durante el estudio de los yacimientos de plomo-cobre del área de Los Menucos, en la zona de oxidación de la mina Cruz del Sur, que está ubicada 39 km al ESE de Los Menucos, en línea recta, como indica la figura 1.

La zona de oxidación reconocida por piques llega hasta 15 m, se desconoce la profundidad total. El espesor de la veta es 2-3 metros en los lugares donde existen labores.

En esta zona se pueden reconocer los siguientes minerales: galena, calcosina, digenita, covellita, cerusita, óxidos de hierro, wulfenita, vanadinita, paratacamita, atacamita, anglesita, malaquita, azurita, calcita, yeso y cuarzo.

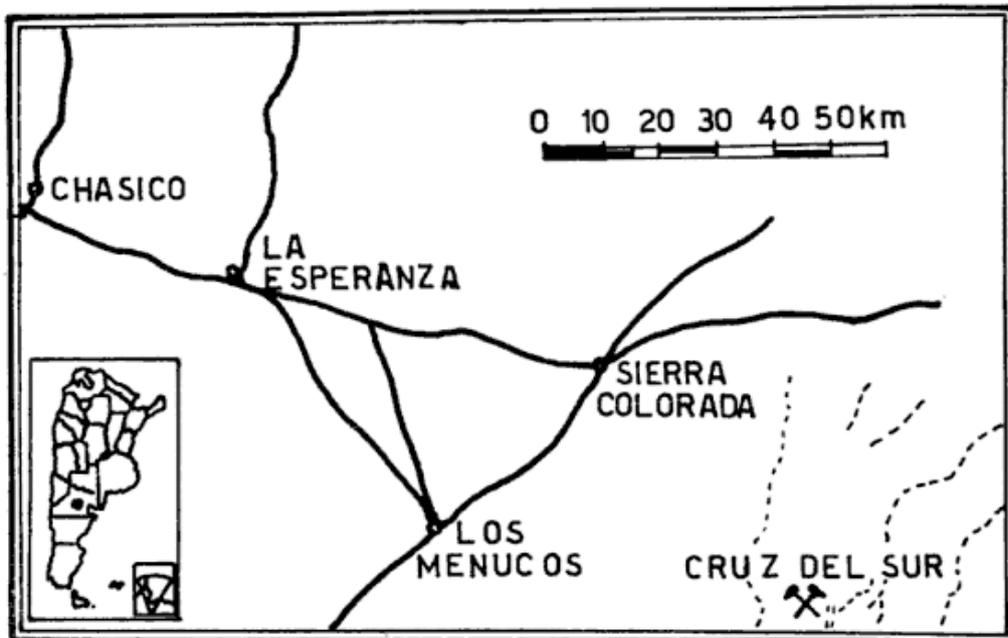


Fig. 1. — Mapa de ubicación

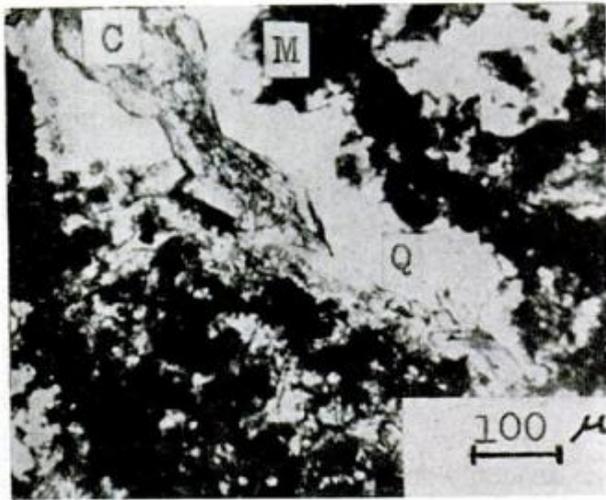


Fig. 2. — M, mottramita; C, cerusita; Q, cuarzo. Solamente con polarizador

IV. DESCRIPCION MICROSCOPICA

La técnica microscópica suministra en este caso una información limitada, dado que el tamaño muy pequeño de los cristales no permite un número completo de observaciones².

Los cristales de mottramita varían entre tamaños de 20 a 2 μ , formando agregados de disposición irregular asociados a cerusita y cuarzo como indica la figura 2.

Los cristales se presentan con los siguientes hábitos: a) prismático y b) acicular.

En los cristales de hábito prismático, figura 3, no se pudo determinar la elongación óptica por su elevada birrefringencia, siendo el pleocroísmo el siguiente:

Paralelo a la elongación: verde pardusco.

Perpendicular a la elongación: verde oliva.

En los cristales de hábito acicular se determinó la elongación óptica como negativa y el pleocroísmo es el siguiente:

²No se dan los índices de refracción (Nz: 2,32; Nx: 2,17 según Dana, 1966) por carecer de elementos para su medición.

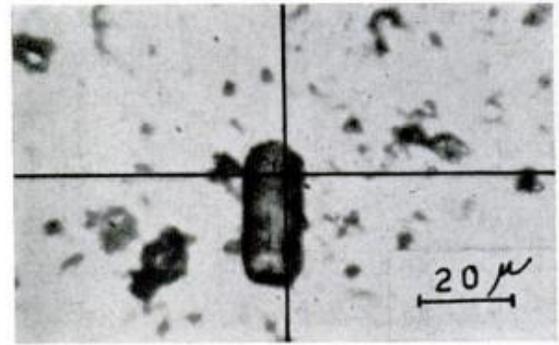


Fig. 3. — Cristal prismático de mottramita. Solamente con polarizador

Paralelo al rayo rápido: amarillo canario.

Paralelo al rayo lento: verde amarillento.

El tamaño de los cristales no permitió realizar observaciones conoscópicas.

V. DIFRACCION DE RAYOS X

El resultado del estudio de los diagramas de polvo por el método de difracción de rayos X se indica en el cuadro I.

Los valores de I/I_1 en las muestras (2) y (4) son proporcionales a la altura de los picos de ambos minerales.

Según Kingsbury y Hartley (1956), sólo existen diferencias significativas entre descloizita y mottramita en los espaciados menores de 1,652 Å.

Millman (1960), considera que no existen diferencias sustanciales en los espaciados y en las intensidades relativas entre 5 Å y 1,86 Å; existiendo para este autor diferencias en los espaciados entre 1,60 Å y 1,50 Å, 1,41 Å y 1,33 Å y de 1,25 Å a 1,09 Å.

Von Rahden y Dicks (1967), confirman los resultados de Kingsbury y Hartley para distinguir descloizita y mottramita por este método.

Los autores arriba mencionados han utilizado las técnicas fotográficas del método de difracción de rayos X, encontrando diferencias notables entre mottramita y descloizita solamente a partir de los picos menores a 1,60 Å.

CUADRO I

Datos de difracción de Rayos X de Mottramita y Descloizita

(1)			(2)		(3)			(4)	
hkl	d (Å)	I/I ₁	d (Å)	I/I ₁	hkl	d (Å)	I/I ₁	d (Å)	I/I ₁
011	5.07	80	5.08	54	001	5.12	80	5.12	48
020	4.66	40	4.64	49	020	4.75	40	4.77	20
—	—	—	4.48	12	—	—	—	4.72	26
111	4.24	60	4.25	45	111	4.25	60	4.25	32
120	3.99	40	3.97	34	120	4.00	40	4.04	32
210	3.54	40	3.57	37	210	3.54	40	3.53	30
—	—	—	3.39	15	—	—	—	—	—
121	3.31	30	3.32	26	121	3.34	30	3.35	21
201	3.24	100	3.25	90	201	3.23	100	3.23	84
—	—	—	3.076	20	—	—	—	—	—
211	3.03	40	3.026	30	{002}	3.04	40	3.045	46
—	—	—	2.995	24	{211}				
002	3.02	5	2.962	15	—	—	—	2.966	21
130	2.87	80	2.864	100	130	2.90	80	2.910	100
112	2.68	80	2.696	49	{112}	2.69	80 A	2.708	56
—	—	—	2.657	55	{221}				
221	2.66	80	2.590	77	—	—	—	—	—
131	2.59	80	2.533	26	131	2.62	80 A	2.625	49
022	2.54	5	2.479	12	022	2.55	20	2.558	43
310	2.47	5	2.406	14	310	2.44	20	2.446	12
230	2.41	5	2.381	12	—	—	—	2.424	11
122	2.39	5	2.306	45	040	2.37	5	2.378	10
212	2.30	60	—	—	212	2.30	60	2.306	38
—	—	—	—	—	—	—	—	2.257	19
{320}	2.24	30	2.247	13	320	2.24	30	2.236	12
{231}									
140	2.22	30	2.215	29	—	—	—	—	—
321	2.10	50	2.106	22	—	—	—	2.116	19

(1) Mottramita de St. Andrew. Inglaterra. Kingsbury y Hartley, Min. Mag. 31-289 (1956).

(2) Mottramita de la mina Cruz del Sur. Los Menucos. Río Negro. Orientada.

(3) Descloizita de la mina Venus. Córdoba. Argentina. Kingsbury y Hartley, Min. Mag. 31-289 (1956).

(4) Descloizita de «Canteras El Sauce». Salsipuedes. Córdoba. Datos obtenidos por los autores del presente trabajo, con muestra orientada.

Condiciones de la difracción para los datos (2) y (4).

Anticátodo: Cu; filtro: Ni; voltaje: 30 KV; corriente: 15 mA; ranuras: 1°, 0,2 mm, 1° constante de tiempo: 2 seg; multiplicador: × 1; veloc. de barrido: 2°/min.; velocidad de la carta: 2 cm/min.; integrador: × 16.

CUADRO I (Cont.)

(1)			(2)		(3)			(4)	
hkl	d (Å)	I/I ₁	d (Å)	I/I ₁	hkl	d (Å)	I/I ₁	d (Å)	I/I ₁
{141}	2.08	50	2.080	40	132	2.10	60	2.101	21
{132}	—	—	—	—	—	—	—	2.006	8
—	—	—	—	—	—	—	—	1.983	17
—	1.967	30	1.978	19	—	1.975	30	1.975	13
—	—	—	1.928	10	—	—	—	1.916	8
—	1.912	20	1.909	8	—	1.898	30	1.900	13
—	1.871	30	1.875	19	—	—	—	1.878	26
—	1.837	5	1.836	18	—	1.866	40	1.863	8
—	1.782	50 A	1.800	21	—	—	—	1.809	14
			1.786	28	—	1.787	50	1.789	25
			1.770	26	—	1.757	40	1.763	31
—	1.721	5	1.724	19	—	—	—	1.728	8
—	—	—	—	—	—	—	—	1.688	7
—	—	—	—	—	—	—	—	1.674	12
—	1.657	20	1.668	15	—	—	—	1.662	21
—	1.648	80	1.654	45	—	1.652	80	1.657	26
—	1.615	40	1.625	80	—	—	—	1.612	19
—	—	—	—	—	—	1.604	40	1.606	10
—	—	—	—	—	—	—	—	1.571	25
—	1.552	5	1.546	28	—	1.565	50	1.569	28
—	1.544	40	1.542	27	—	—	—	—	—
—	—	—	1.513	10	—	1.517	30	1.519	14
—	1.497	30	1.501	15	—	1.507	20	1.515	15
—	1.483	30	1.460	13	—	1.468	10	1.501	12
—	1.454	20	1.457	15	—	1.446	5	1.468	3
—	1.409	20	1.410	10	—	1.409	60	1.447	3
—	1.391	20	1.392	21	—	1.392	5	1.413	27
—	1.370	10	1.374	7	—	1.370	5	1.395	11
—	—	—	—	—	—	1.360	30	1.372	6
—	1.336	50	1.341	16	—	1.334	30	1.358	6
—	—	—	—	—	—	—	—	1.346	14
—	—	—	—	—	—	—	—	1.335	12
—	—	—	1.290	11	—	1.309	—	1.315	6
—	—	—	1.255	17	—	1.268	—	1.292	6
—	—	—	—	—	—	1.241	20	1.255	5
—	—	—	—	—	—	1.209	10	1.240	8
—	—	—	—	—	—	—	—	1.211	7

A : ancho

Los autores del presente trabajo han comprobado que mediante el uso de difracción de rayos X, permite distinguir claramente los términos extremos de la serie mottramita-descloizita. Del análisis del cuadro I surgen evidencias de que existen notables diferencias en los picos: 3,25 Å-3,23 Å, 3,026 Å-3,045 Å, 2,864 Å-2,910 Å, 2,590 Å-2,625 Å y 2,533 Å-2,558 Å de mottramita y descloizita respectivamente, que corresponden a las intensidades mayores de ambos minerales. Asimismo se puede comprobar que la muestra de la mina Cruz del Sur pertenece claramente al término "mottramita".

Para el cálculo de los valores de la celda unidad de la mottramita de la mina Cruz del Sur, se partió de las constantes de la ficha 12-538 de la ASTM, se calcularon los valores de "d" para los índices 131, 022, 230, 122, 212, etc., que corresponden a los picos más definidos y se compararon con los valores de los picos observados. Luego, se modificaron los valores de las constantes de la celda unidad y se repitió el cálculo de los valores de "d", se compararon nuevamente con los valores observados hasta que se obtuvo una coincidencia aceptable con los siguientes valores:

$$\begin{aligned} a &= 7.690 \text{ \AA} \pm 0,005 \\ b &= 9.255 \text{ \AA} \pm 0,005 \\ c &= 6.050 \text{ \AA} \pm 0,005 \end{aligned}$$

VI. ANALISIS QUIMICOS

Los resultados del análisis químico de la mottramita de la mina Cruz del Sur se indican en el cuadro II.

Estos datos indican que la muestra contiene cierta cantidad de cuarzo o de algún silicato y de cerusita. Esta mottramita es exactamente un término ideal de la serie mottramita-descloizita con el siguiente contenido iónico.



CUADRO II

Componente	%
Insoluble (*).....	6,18
PbO.....	52,14
CuO.....	16,54
ZnO.....	no
V ₂ O ₅	18,72
As ₂ O ₃	0,69
Fe ₂ O ₃	0,83
H ₂ O (+).....	2,65
H ₂ O (-).....	0,53
Total.....	98,28

(*) Material insoluble en una solución caliente de HNO₃ (1 : 1).

H₂O (+) Pérdida de peso entre 110-350°C.

H₂O (-) Pérdida de peso a menos de 110°C.

VII. ANALISIS MICROQUIMICOS

Según Millman (1960), las técnicas fotográficas de rayos X son muy indefinidas para la determinación de estos minerales y los análisis químicos completos constituyen un método muy tedioso, proponiendo consecuentemente una técnica microquímica rápida de determinación de cobre y zinc, para la discriminación de los términos de la serie mottramita-descloizita.

A fin de destacar el carácter comparativo del método, se utilizó una muestra del mineral de las "Canteras El Sauce" el cual fue determinado como descloizita por Gay y Hillar (1968).

De acuerdo con la técnica propuesta por Short (1948) y por Guillemín (1953), más tarde adoptada por Millman (1960), se sometió la muestra de "Canteras El Sauce" a la prueba con tiocianato de mercurio y potasio, dando bajo el microscopio petrográfico sin analizador, solamente cristales con forma de cruces plumosas blancas a grises, lo que indica la presencia de zinc; la no aparición de cristales verde amarillentos, indica que el OCu, en caso de

estar presente, estaría en una proporción menor al 2 % en peso. La especie determinada corresponde al término "descloizita".

La muestra de la mina Cruz del Sur ensayada por este método, dio solamente agregados de cristales y cristales aislados de hábito acicular, de color verde amarillento; este resultado indica que el mineral hallado en esta mina posee menos del 2 % en ZnO y corresponde al término "mottramita".

VIII. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

En la opinión de Von Rahden y Dicks (1967), el método sugerido por Millman (1960) es aún subjetivo para un uso general y sugiere la espectroscopía infrarroja como medio más satisfactorio para caracterizar a los minerales de la serie mottramita-descloizita, especialmente el término intermedio o descloizita cuprífera, que es de difícil identificación por medio del método de difracción de rayos X.

En la figura 4 se comparan los diagramas obtenidos por los autores arriba mencionados y los de las muestras de la mina Cruz del Sur y "Canteras El Sauce".

Los picos que se encuentran por debajo de las frecuencias 600 cm^{-1} no se pudieron registrar por exceder la capacidad del aparato usado.

La figura 4 y el cuadro III indican claramente que la muestra de la mina Cruz del Sur corresponde al término "mottramita". El pico que aparece en

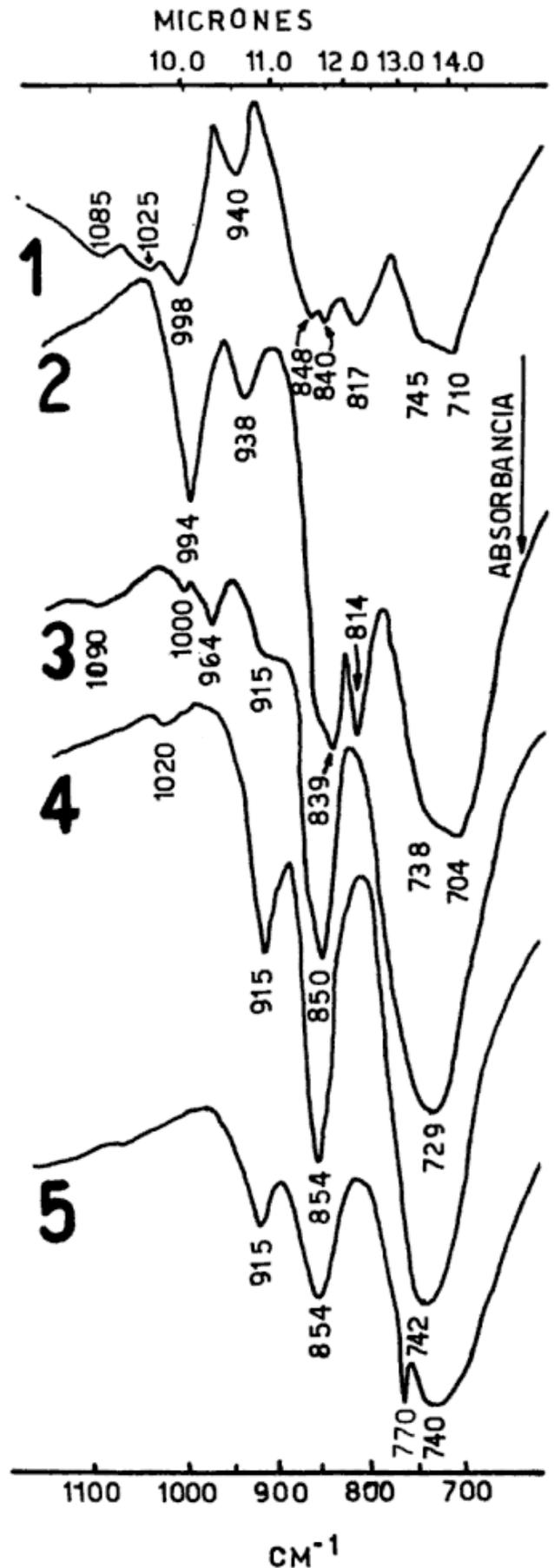


Fig. 4. — Espectros infrarrojos. 1, Mottramita, mina Cruz del Sur, Río Negro; 2, Mottramita, Tsumeb, Sudáfrica. (Von Rahden y Dicks. *Am. Min.* Vol. 52, 1967); 3, Descloizita cuprífera, Freisenberg, Sudáfrica. (Von Rahden y Dicks. *Am. Min.* Vol. 52, 1967); 4, Descloizita, Berg Aucas, Sudáfrica. (Von Rahden y Dicks. *Am. Min.* Vol. 52, 1967); 5, Descloizita, «Canteras El Sauce», Córdoba. (Datos obtenidos por los autores del presente trabajo).

CUADRO III

Muestra	Picos de absorción característicos de mottramita y descloizita en cm^{-1}		
Mottramita (1).....	998	940	817
Mottramita (2).....	995	940	814
Descloizita (4).....			915
Descloizita (5).....			915

770 cm^{-1} , en la muestra (5), pertenece a la pastilla de BrK.

IX. CONSIDERACIONES

- 1ª Las observaciones microscópicas efectuadas, dentro de las limitaciones impuestas por el tamaño del mineral, permiten determinar características ópticas correspondientes al mineral "mottramita". Esto induce a los autores a comprobar tal observación por medio de métodos más determinativos tal como difracción de rayos X, análisis químicos, análisis microquímicos y espectroscopía de infrarrojo.
- 2ª La identificación de este mineral por medio de difractogramas de rayos X, permitió utilizar los picos más característicos tales como: $3,25 \text{ \AA}$, $3,026 \text{ \AA}$, $2,864 \text{ \AA}$, $2,590 \text{ \AA}$ y $2,533 \text{ \AA}$, dado que, por este método, dichos picos, se definen más claramente que por el método fotográfico de rayos X.
- 3ª El análisis químico indicó una ausencia total de zinc en el mineral analizado.
- 4ª El análisis microquímico, como test rápidamente determinativo del contenido en Cu y Zn, permitió establecer, que el mineral de la mina Cruz del Sur no contenía zinc por encima del tenor mínimo de tolerancia para el método empleado. Este método, al igual

que el de espectroscopía infrarroja, son muy útiles cuando se disponen escasas cantidades de muestra.

- 5ª El espectro de infrarrojo realizado sobre la muestra del mineral de la mina Cruz del Sur coincide claramente con el de "mottramita" dado por Von Rahden y Dicks (1967).

X. CONCLUSIONES

- 1ª El conjunto de observaciones antes enumeradas permiten confirmar que el mineral hallado en la mina Cruz del Sur es un miembro de la serie isomorfa mottramita-descloizita.
- 2ª Se puede afirmar que se trata de "mottramita", es decir, que es un término casi puro de la serie, la cual queda claramente establecido por la ausencia de Zn comprobada por medio de análisis químico cuantitativo.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos dejar nuestro expreso agradecimiento al Dr. Horacio Gatica por los espectros infrarrojos, al Dr. Osvaldo Schicariol y licenciado Raúl Coniglio por habernos facilitado la realización de los análisis químicos y a la Dra. Hebe Gay por habernos facilitado la muestra de descloizita.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Arcidiácono, E. C., 1969. *Sobre asociaciones minerales en las zonas de oxidación de yacimientos de plomo, distrito Las Aguadas, prov. de San Luis, República Argentina*. Rev. Asoc. Geol. Arg., XXIV, 2. Buenos Aires; págs. 119-125.
- Brackebusch, L., et al, 1883. *Sobre vanadatos naturales de la prov. de Córdoba y San*

- Luis. Bol. Acad. Nac. Cienc., Córdoba. V; págs. 439-524.
- Dana's System of Mineralogy, 1966. Vol II; pág. 811.
- Gay, H. D. y Hillar, N. A., 1968. *Sobre el hallazgo de wulfenita, vanadinita, descloizita y Willemita, en "Canteras El Sauce", dpto. Colón, Córdoba.* Terceras Jornadas Geológicas Arg., III; págs. 13-23.
- Guillemin, C., 1956. *Contribution a la mineralogie des arséniates, phosphates et vanadates de cuivre.* Bull. Soc. Franc. Minér. Crist., 79, 219-275.
- Kingsbury, A. W. G. and Hartley, J., 1956. *New occurrences of vanadium minerals (mottramite, descloizite and vanadinite) in the Caldbeck area of Cumberland.* Mineral. Mag., 31, p. 289-295.
- Kittl, E. y Villarroel, H., 1965. *Vanadita de Río Negro.* Segundas Jornadas Geológicas Argentinas, II; págs. 140-144.
- Millman, A., 1960. *The descloizite-mottramite series of vanadates from minas Do Lueca, Angola.* Amer. Mineral., 45, p. 763-773.
- Short, M. N., 1948. *Microscopic determination of the ore minerals.* U. S. Geol. Surv. Bull. 914.
- Von Rahden, H. V. R., and Dicks, L. W. R., 1967. *Descloizite, mottramite and vanadinite from South West Africa: an infrared and X ray study.* Amer. Mineral., 52, p. 1067-1076.

Recibido el 8 de mayo / 12 de julio de 1972.

INTRODUCCION A LA GEOLOGIA DE TUCUMAN, REPUBLICA ARGENTINA

Por RICARDO MON Y ANTISTENES URDANETA

RESUMEN

En este trabajo se dan las líneas generales de la geología de la provincia de Tucumán.

La unidad más desarrollada es un complejo metamórfico intruido por cuerpos graníticos, atribuido al Precámbrico y/o al Paleozoico inferior, sobre el que se apoyan sedimentos del Cámbrico; una espesa cobertura de sedimentos continentales cretácico-terciaria y depósitos cuaternarios.

En esta región se han hecho sentir tres o más ciclos diastróficos. El último de ellos corresponde al ciclo Andico que es el responsable de la estructura y el relieve actuales, además de la diferenciación de dos unidades morfo-estructurales: las Sierras Pampeanas y las Subandinas.

ABSTRACT

In this paper the general geology of Tucumán province, Argentina, is outlined.

The most developed stratigraphical unit is a metamorphic basement intruded by granitic bodies (Precambrian or Lower Cambrian). This basement is covered by cambrian sandstones; a thick coerture of cretaceous and tertiary continental sediments and quaternary deposits.

At least three diastrophical cycles were recognized. The last one is the Andean cycle, it is the responsible of the actual structure, actual relief and the differentiation of two morpho-structural unities: the Pampean and the Subandean Ranges.

INTRODUCCION

Después de dos años de estudios geológicos en la provincia de Tucumán consideramos que ha llegado el momento de detenernos a evaluar los progresos conseguidos y de replantear algunos problemas que presenta la geología de esta provincia.

Para ello hemos considerado de fundamental importancia la confección de un mapa geológico (R. M. con la colaboración de A. U.) que incluya todos los datos disponibles. Esta tarea ha tropezado con la falta de bases topográficas adecuadas; hemos debido recurrir a documentos de diversos orígenes y calidades y darles unidad. En algunos sectores hemos tenido que conformarnos

con mosaicos fotográficos semi-controlados. El mapa geológico ha sido hecho en base a la foto interpretación de toda la provincia realizada por uno de nosotros (R. M.); a nuestras observaciones de campo que se refieren a la mayor parte de la misma; a la Hojas Geológicas de la Dirección Nacional de Geología y Minería publicadas e inéditas y a otros trabajos que se citan más adelante.

Las hojas geológicas han sido modificadas en algunos detalles y enriquecidas considerablemente en cuanto a información estructural. Grandes extensiones de la mitad septentrional de la provincia nunca habían sido objeto de una cartografía geológica de cierto detalle.

La espesa vegetación que cubre la

mayor parte del territorio tucumano entorpece en gran medida los trabajos de campo, en las zonas cubiertas las observaciones pueden hacerse casi exclusivamente a lo largo de ríos y arroyos.

La fotointerpretación fue hecha a escala 1: 50.000, la compilación final del mapa a 1: 200.000 y se publica a escala 1: 400.000.

Este trabajo se pudo llevar a cabo gracias al apoyo material brindado por la Universidad Nacional de Tucumán, Plan NOA I Geológico Minero del Servicio Nacional Minero Geológico y Fundación Miguel Lillo, instituciones a las que manifestamos nuestro agradecimiento.

Numerosos colegas nos han brindado gentilmente informaciones y sugerencias que hemos tenido en cuenta durante la ejecución de este trabajo entre ellos recordamos especialmente a M. Alderete, O. Gonzalez, O. Cravero, J. C. Porto y G. Bossi.

Con los doctores J. C. M. Turner y O. Ruiz Huidobro hemos mantenido fructuosas discusiones sobre algunos aspectos de la geología del noroeste argentino que nos han permitido esclarecer ciertos puntos tratados en este trabajo.

ANTECEDENTES

Ya a principios del siglo, algunos sectores de la provincia de Tucumán fueron considerados en estudios geológicos por parte de los investigadores que visitaron el noroeste argentino en aquella época. En general estos trabajos fueron sumamente expeditivos, algunos de ellos están acompañados por mapas esquemáticos tales como los de Rassmuss (1914, 1918-19) sobre la sierra del Aconquija; Stappenbeck (1921) sobre las sierras del nordeste de la provincia. En 1917-18 Bonarelli y Pastore presentaron un bosquejo geológico de la provincia de Tucumán a escala 1: 500.000, que a pesar de que fue hecho en base a observaciones muy rápidas y aisladas se encuentra en él las líneas generales de

la geología tucumana claramente representadas.

Un investigador que se ocupó sistemáticamente de la geología de Tucumán fue Abel Peirano, quien recorrió la mayor parte de la provincia. En sus trabajos publicados entre 1932 y 1957 nos brinda descripciones sumamente valiosas de muchos lugares de la misma.

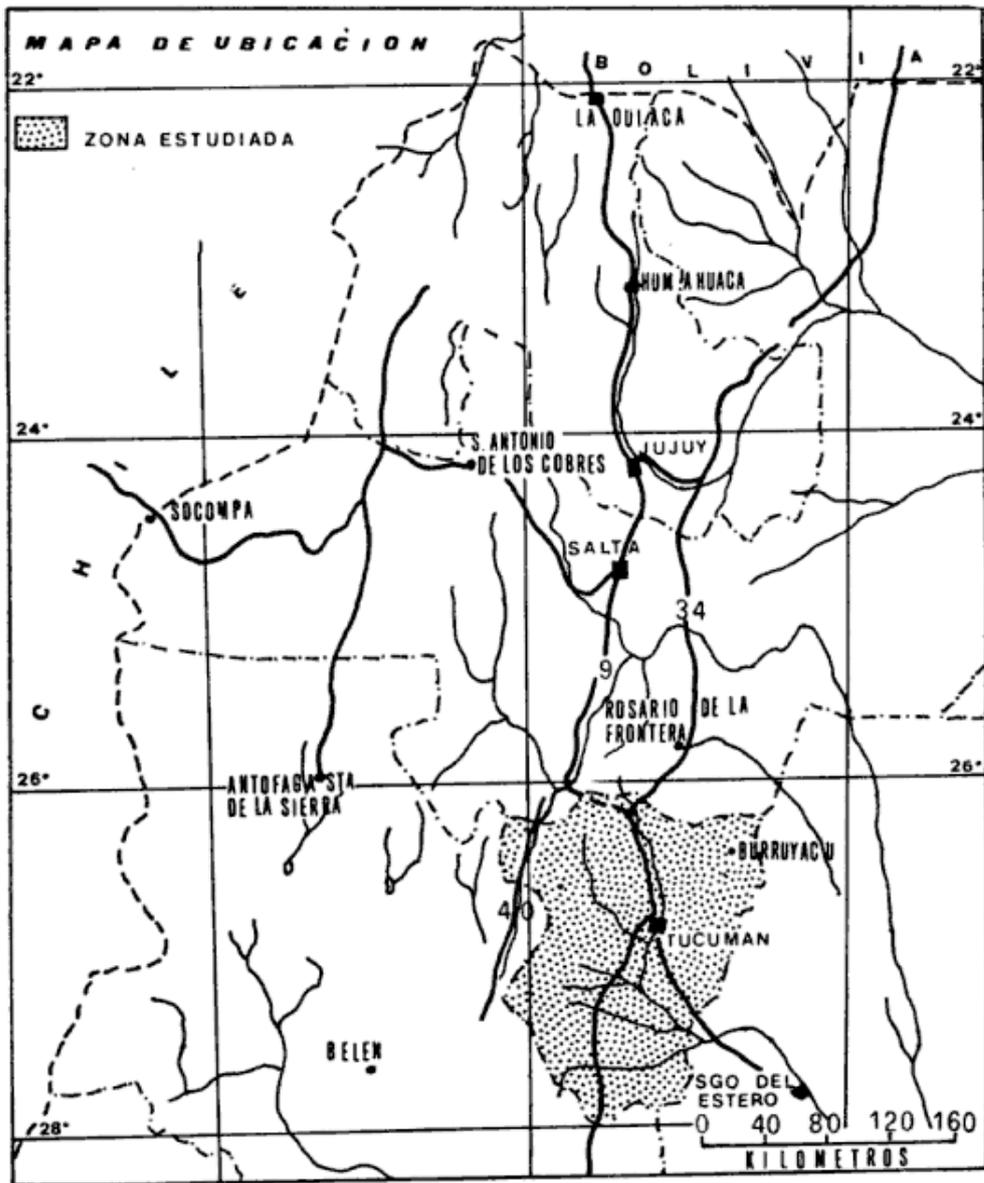
En una etapa posterior comenzaron a levantarse las Hojas Geológicas de la Dirección Nacional de Geología y Minería que cubren gran parte de la sierra del Aconquija y de las Cumbres Calchaquíes (Gonzales Bonorino, 1950b, 1951; Ruiz Huidobro, 1966; Galván, 1960). El levantamiento de estas hojas significó un valioso aporte al conocimiento geológico de Tucumán.

Ruiz Huidobro (1960) estudió varios perfiles en las sierras del nordeste que contribuyeron al mejor conocimiento de la estratigrafía de esta zona.

Por otra parte los investigadores del Instituto Miguel Lillo: Danieli (1956, 1967); Danieli y Porto (1968), Porto (1970, 1971) realizaron trabajos en distintos sectores de la provincia que son básicos para la comprensión de la estratigrafía de la misma. Bossi (1969) hizo un trabajo en detalle en el extremo sur de la sierra de Medina en el que se definen nuevos conceptos para la estratigrafía de la región y se dan las características sedimentológicas de las formaciones del Cretácico y del Terciario.

ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía de la provincia de Tucumán está dada por la presencia de un basamento metamórfico de composición compleja y edad precámbrica y/o paleozoica inferior. Al mismo se le superpone una cobertura sedimentaria constituida por pequeños restos de Paleozoico inferior; depósitos continentales de edad cretácica atribuibles al Grupo Salta; una espesa sucesión de sedi-



mentos terciarios también continentales y depósitos cuaternarios.

Basamento metamórfico

Este aflora extensamente en toda el área montañosa de la provincia, constituye la mayor parte de las sierras.

Dentro del mismo se pueden distinguir dos grandes unidades: la primera (Formación Medina, Bossi, 1969) está representada por ectinitas de bajo metamorfismo; la segunda por facies afectadas por un intenso metamorfismo, fenómenos de migmatización y granitización. El límite entre ambas unidades es impreciso, está representado esque-

máticamente en la figura 2. Como se observa en ella, las facies de bajo metamorfismo componen las sierras del nordeste, sierra de San Javier y las estribaciones orientales de las Cumbres Calchaquíes. Entre ambos complejos no se nota ninguna discordancia, sin embargo consideramos que la zona de contacto debe ser estudiada cuidadosamente a fin de determinar su verdadera naturaleza, ya que en el estado actual de nuestros conocimientos, no estamos en condiciones de decidir si las facies de bajo grado de metamorfismo representan una unidad estratigráfica más joven superpuesta a otra más antigua, que posee un grado de metamorfismo más

alto, o si se trata de un pasaje lateral de facies de metamorfismo dentro de rocas de la misma edad.

La unidad de bajo grado de metamorfismo está constituida por pizarras y filitas de color gris azulado intensamente deformadas y, en algunos sectores, profusamente atravesadas por venas de cuarzo. A pesar de la intensa deformación conservan muchos de los rasgos sedimentarios primitivos, el más conspicuo es una laminación en capitas de un centímetro de espesor aproximadamente, dada por la intercalación de láminas arenosas finas y pelíticas. En esta unidad, la intensidad del metamorfismo no supera la facies de esquistos verdes.

El basamento afectado por metamorfismo más intenso está distribuido en gran parte de las Cumbres Calchaquies, sierra de Quilmes, sierra del Aconquija, Silleta de las Higueras, Silleta de Escaba, Cumbre de los Llanos y de Potrerillo.

Gonzalez Bonorino (1950 a, 1950 b, 1951) estudió extensamente el basamento de la sierra del Aconquija y el de sus prolongaciones australes. Este autor distinguió dentro de las ectinitas tres unidades sin valor stratigráfico, de límites imprecisos, con rumbo aproximadamente norte-sur e inclinación predominante hacia el este. De manera que de oeste a este y de abajo hacia arriba se encuentra: a) micacitas biotíticas, b) filitas cuarzosas, c) filitas cuarzosas bandeadas. Estas unidades fueron reconocidas también por Ruiz Huidobro (1966) en el extremo septentrional de la sierra del Aconquija y en las Cumbres Calchaquies. Las mismas han sido profundamente modificadas en las zonas de migmatización, hasta el punto de resultar irreconocibles. Las zonas de migmatización ocupan franjas irregulares de rumbo aproximado norte-sur.

En las Cumbres Calchaquies se encuentran afloramientos de calizas cristalinas, se trata de cuerpos lenticulares concordantes con respecto a la estruc-

tura del basamento, del cual forman parte. Presentan rumbo general NNE-SSW e inclinaciones que oscilan entre 45° y 70° hacia el SSE. Estas fueron estudiadas por Danieli (1963), Ruiz Huidobro (1966), Luna Reyerros (1968). En una visita realizada por uno de nosotros (A. U.) pudimos comprobar que se trata de calizas de textura granosa gruesa, de color gris azulado y blanquecino. Como minerales accesorios se ha comprobado la presencia de piritita, calcopiritita y principalmente grafito.

Entre los cuerpos intrusivos Gonzalez Bonorino (1950) distinguió granitos pre-tectónicos, sintectónicos y apotectónicos. Estos últimos corresponden a los cuerpos mayores, en general discordantes con respecto a la estructura de las ectinitas.

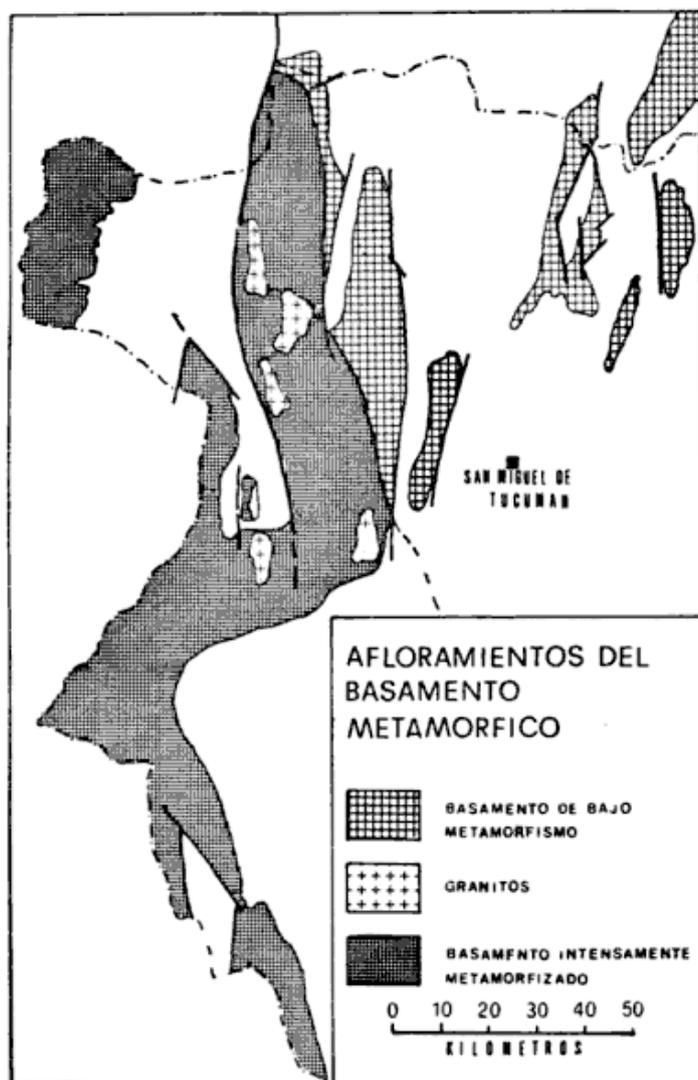
Edad del basamento metamórfico

Hasta hace poco tiempo los investigadores que se ocupan de la geología del noroeste argentino admitían en forma prácticamente unánime la edad precámbrica del basamento, sin embargo en los últimos años, con el progreso de las mediciones radimétricas, ha surgido la idea de que éste debe ser asimilado al Paleozoico, al menos en parte. Han concurrido a reforzar esta idea algunos hallazgos paleontológicos.

Aunque todavía no estamos en condiciones de emitir un juicio definitivo, nos parece altamente improbable que pueda asignarse todo el complejo al Paleozoico.

A continuación revisaremos algunos argumentos en favor de la existencia de rocas paleozoicas dentro del basamento.

1. Las mediciones radimétricas realizadas por Gonzales, R. R. (1971) señalan una edad entre 456 y 479 m.a. (Ordovícico inferior) para uno de los cuerpos graníticos de las Cumbres Calchaquies. Para las ectinitas del extremo norte de la sierra de San Javier y del faldeo oriental de las Cumbres Calchaquies, Gonzalez, Kawashita y Cabrera (1971) han determinado una edad ra-



dimétrica de 513 y 483 m.a. respectivamente (Cámbrico superior - Ordovícico inferior).

2. Mirré y Aceñolaza (1971) han comunicado el hallazgo de *Oldhamia* sp. (traza fósil característica del Cámbrico de varios lugares del mundo) en ectinitas del basamento.

3. La asignación original de edad precámbrica al basamento deja un cierto margen de incertidumbre, que proviene del hecho de que la edad de los sedimentos que se le superponen, en fuerte discordancia (Grupo Mesón), no es bien conocida. Se admite que es cámbrica pero no puede precisarse a qué nivel del Cámbrico pertenecen. De manera que existe la posibilidad teórica de que el basamento pertenezca a un

Cámbrico más antiguo que el representado por el Grupo Mesón. Esto implicaría admitir la existencia de movimientos tectónicos sumamente importantes dentro del Cámbrico, ya que ambos complejos —el basamento y el Grupo Mesón— están separados por una discordancia angular de gran importancia regional.

Por otra parte hemos encontrado los siguientes argumentos que contribuyen a fortalecer la idea de que una gran parte del basamento es de edad precámbrica.

1. El Grupo Mesón se encuentra por debajo del Ordovícico inferior, en algunos lugares separado por una discordancia no muy marcada. Aunque en la provincia de Tucumán se halla pobre-

mente representado, en la Cordillera Oriental (provincia de Jujuy) alcanza los 3.000 metros de espesor (Turner, 1964). De acuerdo a estudios recientes sobre velocidad de sedimentación, hechos en varias cuencas oceánicas, sobre distintos tipos de sedimentos, se ha comprobado que, como máximo, se depositan espesores de 30 metros por millón de años (Winterer *et al.*, 1971). Suponiendo que el Grupo Mesón se haya depositado a una velocidad todavía mayor, 40 metros por millón de años, sus 3.000 metros habrían demandado 75 millones de años, lo que es equivalente a la totalidad o a la mayor parte del período Cámbrico.

El metamorfismo y la complejidad de la estructura del basamento impiden estimar el espesor real de los sedimentos que lo componen. Pero originalmente éstos representaban una sucesión de sedimentos de tipo "flysch" depositados en una cuenca geosinclinal en la que probablemente alcanzaron un espesor de varios miles de metros. La deposición de esta pila sedimentaria tiene que haber insumido un lapso de tiempo considerable. Luego ésta fue plegada, metamorfizada y arrasada por un período prolongado de erosión. En resumen, resulta difícil ubicar todos estos acontecimientos en el lapso de tiempo que representa el Cámbrico (70 a 90 millones de años); sin duda gran parte de los mismos tienen que haber descendido hasta el Precámbrico.

2. Las mediciones radimétricas registran las edades de los últimos acontecimientos (metamorfismo, granitización, mineralización, acontecimientos térmicos en general). Pero, ¿cuál es la edad de los sedimentos originales? ¿Cuánto tiempo transcurrió entre su depositación en una cuenca sedimentaria y los procesos de granitización y metamorfismo?

3. Hasta ahora dentro del ambiente de la Cordillera Oriental, las Sierras Pampeanas del noroeste y las Sierras Subandinas no se han observado fenómenos de metamorfismo regional inten-

so o de granitización fuera del basamento. Los sedimentos cámbricos y ordovícicos en ningún caso están afectados por cuerpos graníticos. Sin embargo cabe también admitir la posibilidad de que las intrusiones se hayan producido en el Paleozoico pero que no hayan llegado a atravesar totalmente a los sedimentos que actualmente constituyen el basamento. En este caso habría que admitir que, al menos, parte de las intrusiones fueron independientes de las principales fases de metamorfismo regional y plegamiento, responsables de la discordancia que separa al basamento de los sedimentos del Paleozoico inferior, lo que no resulta fácil de aceptar.

Como conclusión a todas estas consideraciones podemos decir que si bien, la mayor parte de las ectinitas del basamento deben ser precámbricas, es posible la participación de materiales paleozoicos. Dentro de los granitos puede ocurrir algo similar. No se nos escapa el hecho de que, al admitir que dentro del basamento existen tanto materiales precámbricos como paleozoicos, estamos admitiendo la posibilidad de un pasaje sin discordancias importantes entre ambos (esto ya ha sido verificado en otros lugares del mundo).

PALEOZOICO

Formación Candelaria

Fue definida por Ricci y Villanueva (1969) en la falda occidental de la sierra de la Candelaria (prov. de Salta), su perfil tipo está en ese mismo lugar en la quebrada de Orcomato.

Se trata de areniscas cuarzosas rosadas y blanquecinas de grano mediano a grueso, con muy poco cemento, fuertemente consolidadas, estratificación bien marcada en bancos de 0,15 a 0,60 metros de espesor con laminación entrecruzada. En la base se encuentra un conglomerado con rodados bien redondeados de cuarzo y de ectinitas del basamento. Los rodados en general no superan los 10 centímetros de diámetro.

En la provincia de Tucumán esta formación está representada por dos afloramientos reducidos en la falda oriental de la sierra del Campo. En este lugar no ha proporcionado fósiles, éstos han sido encontrados en el cerro de Cantero (prov. de Salta), situado a pocos kilómetros al noreste. El hallazgo fue hecho por el Sr. J. C. Dinkel del Instituto Miguel Lillo, quien encontró trazas fósiles que fueron objeto de un análisis preliminar por parte del Dr. A. V. Borello quien pudo determinar formas cámbricas.

En la sierra del Campo las areniscas cuarzosas se encuentran apoyadas en marcada discordancia sobre el basamento metamórfico y por encima de ellas, también en discordancia, se encuentra la Formación Pirgua (Cretácico superior). En esta localidad alcanza un espesor mínimo de 105 metros (Mon, Urdaneta, Suayter, 1971 *a*). En la sección tipo de la quebrada de Orcomato poseen un espesor real de 750 metros (Ricci y Villanueva, 1969).

Hemos asignado estas areniscas al Cámbrico, por correlación litológica y estratigráfica con los afloramientos de la falda occidental de la sierra de la Candelaria y los del cerro Remate donde fueron encontrados los fósiles. En la sierra de la Candelaria, encima de las areniscas cuarzosas, que se apoyan en discordancia sobre el basamento metamórfico, se encuentra un paquete de lutitas y limolitas verdosas en el que Ricci y Villanueva (1969) han encontrado restos fósiles (*Parabolina argentina*) que permite atribuirlo al Tremadociano inferior. De manera que resulta lícito pensar, que las areniscas infrayacentes pertenecen al Cámbrico, hecho que confirman las trazas fósiles del cerro de Cantero.

MESOZOICO

Grupo Salta

Este representa una sucesión sedimentaria en la que predominan netamente

los materiales de origen continental. Es todavía un hecho discutido si el Grupo Salta está representado o no, en el territorio de la provincia de Tucumán. En trabajos anteriores (Mon, Urdaneta, Suayter, 1971 *a* y *b*) hemos optado por incorporar al Grupo Salta gran parte de las secuencias sedimentarias que afloran en las sierras del noreste de la provincia, siguiendo el criterio de Ruiz Huidobro (1960) y de Danieli y Porto (1968). Sin embargo este criterio no es totalmente compartido por otros investigadores como Bossi (1969) y el Dr. C. Reyes, que tuvo la gentileza de comunicarnos verbalmente algunas de sus ideas al respecto. Uno de nosotros (A. U.) está estudiando este problema en detalle en la sierra de Medina, donde puede estar la zona de transición lateral de dos secuencias sedimentarias depositadas en cuencas distintas.

Bossi (1969) en el extremo austral de la sierra de Medina creó un sistema estratigráfico diferente, el Grupo Tucumán, que sería el equivalente lateral del Grupo Salta. Sin embargo al hacer un estudio regional, como el presente, resulta difícil establecer los límites entre ambos.

Hemos observado, a medida que se progresa de norte a sur, el acuñaamiento de la Formación Yacoraite y de algunos niveles de la Formación Santa Bárbara. En la parte basal (Formación Pirgua) no se notan cambios importantes.

En el presente trabajo hemos adoptado como patrón estratigráfico el Grupo Salta, que es el que más se adapta al grado de conocimiento actual. Probablemente en trabajos posteriores puedan establecerse correlaciones precisas con el Grupo Tucumán.

Formación Pirgua

Constituye la base del Grupo Salta y es la parte del mismo mejor representada en la provincia de Tucumán.

Esta unidad fue reconocida y estudiada en la Cordillera Oriental y en las Sierras Subandinas de Salta y Jujuy.

Está constituida principalmente por areniscas rojas de grano mediano, friables con cemento calcáreo. Presentan intercalaciones conglomerádicas y de bancos de areniscas cuarzosas muy consolidadas y tenaces. Están estratificadas en bancos de 0,30 a 1,00 metro de espesor con laminación entrecruzada.

En la base se encuentra un conglomerado brechoso de color gris formado por grandes rodados y bloques de ectinitas del basamento y cuarzo. En el extremo austral de la sierra de Medina, en la sierra de la Ramada y en el extremo norte de las Cumbres Calchaquíes esta brecha de base adquiere una gran participación de materiales volcánicos: numerosos rodados de basalto, vulcanitas ácidas y mesosilícicas muy alteradas. Intercalados con los bancos conglomerádicos aparecen mantos de basalto y algunos cuerpos traquíticos (Bossi, 1969). Donde estos cuerpos volcánicos adquieren dimensiones mapeables los hemos distinguido como una unidad aparte (Complejo Alto de las Salinas). El espesor total del conglomerado brechoso es muy variable, va desde los pocos metros hasta los 320 metros que ha registrado Bossi (1969) en el extremo austral de la sierra de Medina, donde decidió considerarlo como una formación diferente (Formación El Cadillal).

Por encima de este conglomerado brechoso de color gris, se encuentra un conglomerado en el que predominan los rodados bien redondeados de cuarzo con una matriz arenosa de color rojo. Además de rodados de cuarzo se encuentran rodados de ectinitas y areniscas cuarzosas que provienen de la Formación Candelaria; éstos son muy abundantes en el extremo septentrional de la sierra de Medina.

La participación conglomerádica decrece gradualmente hacia arriba hasta que se pasa a las areniscas conglomerádicas ya descriptas.

En el extremo austral de la sierra de San Javier, en la confluencia de los ríos

Lules y Potrero, se encuentra un paquete de areniscas conglomerádicas con rodaditos de rocas volcánicas alteradas, de aproximadamente 20 metros de espesor que descansa directamente sobre el basamento metamórfico; encima de ellas se encuentran limolitas bien consolidadas, de color rojo ladrillo, estratificadas en bancos que no superan los 0,15 m de espesor, con abundantes concreciones calcáreas. Sobre ellas se encuentran bancos de limolitas calcáreas que alcanzan 5 metros de espesor. Hacia arriba aparecen nuevamente limolitas finamente estratificadas de color rojo y pardo. Encima de esta sucesión de limolitas con participación calcárea aparecen las areniscas de la formación suprayacente (Santa Bárbara). Estas limolitas en parte calcáreas, bien estratificadas y litificadas, representan probablemente una variación lateral de la Formación Pirgua, pero por el momento no estamos en condiciones de afirmarlo con plena seguridad.

La Formación Pirgua aflora extensamente en la provincia de Tucumán, se la encuentra rodeando a los núcleos metamórficos de las sierras del nordeste y de San Javier, además se la encuentra en las estribaciones orientales de las Cumbres Calchaquíes. Los testigos más australes que se conocen son los afloramientos del extremo sur de la sierra de San Javier, aunque según el Dr. O. Ruiz Huidobro (comunicación verbal) ésta podría extenderse mucho más al sur por la sierra de Guasayán (prov. de Santiago del Estero).

Dentro de esta formación se han encontrado pocos restos fósiles, Bonaparte y Bossi (1967) hallaron en el borde occidental de la sierra de la Candelaria (prov. de Salta), en las proximidades del límite con Tucumán, restos de un dinosaurio (*Antarctosaurus*) que ha permitido fijar la edad de esta unidad.

La Formación Pirgua se apoya en fuerte discordancia angular sobre el basamento metamórfico y sobre las areniscas cuarzosas cámbricas. En la ma-

por parte de la provincia de Tucumán, encima de la Formación Pirgua se encuentra directamente la Formación Santa Bárbara, ya que la Formación Yacoraite está escasamente representada.

Por considerarlas estrictamente equivalentes, hemos asimilado a la Formación Pirgua los afloramientos de la Formación Las Cañas (Ruiz Huidobro, 1966), que se encuentran en el faldeo oriental de las Cumbres Calchaquies.

El espesor de la Formación Pirgua disminuye de norte a sur: en la quebrada de Cañizares (extremo septentrional de la sierra de Medina) Ruiz Huidobro (1960) ha medido un espesor de 750 metros; en la falda oriental de la sierra del Campo posee un espesor muy pequeño y llega a acuñarse por completo; al oeste de Tafí Viejo en la sierra de San Javier no supera los 30 metros.

Complejo Alto de las Salinas

Este es el nombre que le otorgó Bossi (1969) al complejo volcánico que se manifiesta en el extremo austral de la sierra de Medina, este autor pudo distinguir la presencia de traquitas, riolitas, andesitas y basaltos intruidos aproximadamente en ese orden.

Sin duda, entre todas estas vulcanitas predominan los basaltos olivínicos, que se extienden también por la sierra de la Ramada y en las elevaciones que se encuentran en el extremo nordeste de la provincia de Tucumán, que forman parte de una franja volcánica que prosigue hacia el norte por territorio salteño.

Formación Yacoraite

Se encuentra en concordancia sobre la Formación Pirgua. En la provincia de Tucumán está representada por facies atípicas que representan el borde de cuenca. Esta unidad está muy bien desarrollada más al norte, como todos los integrantes del Grupo Salta.

En la provincia de Tucumán fue localizada por Ruiz Huidobro (1960) en el extremo norte de la sierra de Medina,

constituida por areniscas pardo-rojizas con intercalaciones de banquitos calcáreos de color blanco que contienen restos de gasterópodos que son los que permitieron individualizarla en la quebrada de Cañizares. El mismo autor señala, con reservas, la posibilidad de que se encuentre representada más al sur donde tendría un espesor muy reducido. Porto (1970) ubicó también a la Formación Yacoraite, con gasterópodos en el río Uruña (límite entre las provincias de Tucumán y Salta), en la prolongación septentrional de la sierra del Campo. En la quebrada de Cañizares el espesor es cercano a los 200 m.

Formación Santa Bárbara

Es la unidad más joven dentro de las integrantes del Grupo Salta. Como todas las anteriores, tampoco está representada por sus facies más típicas en la provincia de Tucumán. Dentro de la misma se pueden distinguir dos miembros: el inferior, predominantemente arenoso, constituido por areniscas de grano mediano a grueso, a veces conglomerádicas, con estratificación poco visible en bancos gruesos de cerca de un metro de espesor, de colores blanco, grisáceo, rosado con manchas verdes y el miembro superior el cual es eminentemente pelítico y está constituido por margas y lutitas verdosas, amarillentas y blancas, bien estratificadas, con intercalaciones finas de yeso, banquitos de areniscas gruesas de color gris y de lutitas moradas con fractura concoidal.

Esta formación aflora en diversos lugares en el borde occidental de la sierra de Medina y en la depresión que hay entre ésta y las estribaciones orientales de las Cumbres Calchaquies; aflora también entre la sierra de Medina y la del Campo. A los afloramientos de areniscas que se encuentran en los Altos de la Totorá, Cumbres de Cabra Horco, Cumbres de Raco, los hemos incorporado a la Formación Santa Bárbara con ciertas reservas, siguiendo criterios de correlación litológica, ya que se trata de are-

niscas rosadas gruesas, conglomerádicas, muy friables. Introduce ciertas dudas el hecho de que encuentran en contacto directo con el basamento faltando por completo la Formación Pirgua.

La Formación Santa Bárbara ha proporcionado restos de peces y élitros de insectos (Porto, 1971) los que no han permitido fijar una edad muy definida.

Esta formación sigue en concordancia a la Formación Yacoraite y, cuando ésta no está presente, se la encuentra en contacto directo con la Formación Pirgua. Como señalamos más arriba, hay lugares en que se apoya directamente sobre el basamento metamórfico. Hacia arriba pasa gradualmente a la Formación Río Salí (Terciario), el pasaje se verifica por una disminución de las margas y lutitas verdes y un aumento de las limolitas rojas y yeso, típicos de la última formación.

El espesor de la Formación Santa Bárbara disminuye de norte a sur y de oeste a este, tanto es así que en el borde oriental de las sierras del Campo y de la Ramada se acuña por completo o se reduce a un espesor insignificante. En el extremo septentrional de la sierra del Campo le hemos medido un espesor de 300 metros. Ruiz Huidobro (1960) en la quebrada de Cañizares registró un espesor de superior a los 700 metros.

Edad y correlaciones de las formaciones del Grupo Salta

Hasta hace poco tiempo la edad del Grupo Salta era objeto de profundas controversias, pero en la actualidad se ha consolidado la idea de que pertenece al Cretácico superior. Ha contribuido a ello el hallazgo de *Antarctosaurus* (Bonaparte y Bossi, 1967) que indica esta edad. Moreno (1970) señala que la parte superior de la Formación Santa Bárbara podría ascender hasta el Daniano.

Como señalamos más arriba el Grupo Salta presenta en la provincia de Tucumán características anómalas, típicas de un borde de cuenca, que hacen difícil el reconocimiento de sus formaciones.

Esto ha inducido a Bossi (1969) a crear un nuevo sistema estratigráfico, en el extremo austral de la sierra de Medina, que se adapta muy bien a esa zona, pero presenta también dificultades cuando se trata de extrapolarlo hacia el norte. Este problema se encuentra en vías de solución por medio de los estudios estratigráficos de detalle que se están llevando a cabo en este momento (A. U.).

Bossi (1969) sostiene que lo que se ha considerado un conglomerado brechoso basal de la Formación Pirgua, debe considerarse como una unidad independiente (Formación El Cadillal), que estaría separada del conglomerado rojo suprayacente y de las areniscas del mismo color por una discordancia. Por otra parte ambos complejos tendrían edades distintas, el conglomerado brechoso en el cual se intercalan mantos basálticos pertenecería al Cretácico inferior (Bossi y Wampler, 1969) y las areniscas y el conglomerado rojos al Cretácico superior. Si estas observaciones se comprueban en otros lugares sería necesario redefinir la Formación Pirgua.

Ubicándonos siempre dentro del Grupo Tucumán, a la Formación El Cadillal, seguiría hacia arriba la Formación Río Loro que sería equivalente a las areniscas y al conglomerado rojo de la Formación Pirgua, más los tramos arenosos basales de la Formación Santa Bárbara. A la Formación Río Loro sigue la Formación Río Salí, a la que Bossi (1969) redefinió incorporando los términos pelíticos de la Formación Santa Bárbara.

Esta división tiene la ventaja de eliminar el margen de incertidumbre, que se produce con la desaparición de la Formación Yacoraite, para separar las Formaciones Pirgua y Santa Bárbara que quedan en contacto.

CENOZOICO

Terciario

En la provincia de Tucumán se encuentran tres complejos sedimentarios atribuidos al Terciario: Grupo Choromoro, Grupo Santa María y Grupo Aconquija, entre los cuales resulta difícil establecer sus edades relativas porque sus afloramientos están desvinculados entre sí. Por otra parte, al tratarse de sedimentos continentales, han proporcionado escasos restos fósiles, entre los cuales predominan elementos de escaso valor diagnóstico.

Grupo Choromoro

Incluimos en este grupo, cuyo nombre introducimos en el presente trabajo, a las Formaciones Río Salí e India Muerta, a las que no hemos distinguido en el mapa. Esta unidad aflora en la amplia depresión que se encuentra al norte de la sierra de San Javier, entre las estribaciones orientales de las Cumbres Calchaquies y la sierra de Medina, se la encuentra también rodeando a dichas sierras y a las del Campo y la Ramada. Corresponde a lo que muchos autores han incluido en el amplio término de "Terciario Subandino".

Formación Río Salí

Representa la base del Grupo Choromoro. Fue definida y estudiada por Ruiz Huidobro (1960), quien estableció también sus correlaciones con las unidades terciarias que se encuentran más al norte. Está constituida principalmente por limolitas y arcilitas de color pardo-rojizo con abundantes intercalaciones de yeso, lutitas verdes, cineritas grises y calizas oolíticas. Las limolitas pardo-rojizas presentan estratificación poco visible en bancos de aproximadamente un metro de espesor. Las intercalaciones de yeso macizo, que constituyen un rasgo característico de esta formación, alcanzan hasta 0,70 m

de espesor, hay además bochones de yeso cristalino de hasta cinco centímetros de diámetro y laminillas de yeso fibroso de pocos milímetros de espesor que se ubican en los planos de estratificación y rellenan las diaclasas. Las intercalaciones de caliza oolíticas de color gris amarillento son también abundantes en algunos tramos de la Formación Río Salí, los más espesos alcanzan hasta 1,0 m (muchos de ellos son objeto de explotación).

Los afloramientos de esta formación se encuentran ampliamente distribuidos en todas las sierras del nordeste y en la de San Javier, los más australes se encuentran al sudoeste de esta última y al este de la población de Monteagudo, en el límite con la provincia de Santiago del Estero (Beder, 1928). Los perfiles más ilustrativos se observan en la falda occidental de la sierra de Medina.

La Formación Río Salí se apoya en concordancia sobre la Formación Santa Bárbara, con la cual presenta un pasaje gradual. En los lugares en que esta última desaparece por acuñaamiento, se encuentra directamente sobre la Formación Pirgua y, en el sector sudeste de la sierra del Campo, donde ésta también se acuña se apoya sobre el basamento metamórfico. El contacto directo entre la Formación Río Salí y la Formación Pirgua, que se observa en gran parte de las faldas orientales de las sierras del Campo y la Ramada, está marcado por un paquete de areniscas tobáceas rosadas y grisáceas de 4 a 6 metros de espesor, que podría representar a la Formación Santa Bárbara sumamente condensada y desprovista de su miembro pelítico.

El espesor total de la Formación Río Salí alcanza aproximadamente los 800 metros.

Esta ha sido atribuida al Terciario por Ruiz Huidobro (1960), quien la correlacionó con la Formación Carahuasi que aflora más al norte, en la provincia de Salta.

Formación India Muerta

Constituye la parte superior del Grupo Choromoro, fue definida por Bossi (1969) en el sector austral del valle del Choromoro. Su perfil tipo se encuentra en el arroyo India Muerta.

Está constituida por areniscas y limolitas pardas pobremente consolidadas, con intercalaciones conglomerádicas. En las areniscas se observa laminación entrecruzada y la presencia de intercalaciones laminares de material ferruginoso de color rojo.

Aflora en varios sectores del valle del Choromoro parcialmente cubierta por sedimentos cuartarios.

Ha proporcionado restos fósiles tales como *Eoesclerocalyptus planus* (Peirano, 1957), *Testudo sp.* (Bossi, 1969).

Bossi (1969) ha medido un espesor visible de 700 metros, pero es posible que éste sea mucho mayor, especialmente en el sector septentrional del valle del Choromoro donde aflora aisladamente debajo de los sedimentos cuartarios.

Esta formación fue asignada al Plioceno por Peirano (1957), en base a su contenido faunístico.

El profesor J. C. Porto del Instituto Miguel Lillo nos mostró una secuencia arenosa, que aflora al norte de San Pedro de Colalao, encima de la Formación Río Salí, ésta probablemente puede ser incorporada a la Formación India Muerta, los estudios de detalle que está llevando a cabo dicho investigador sin duda lo resolverán.

Grupo Santa María

Es un espeso complejo sedimentario que aflora en el valle del mismo nombre. Fue ampliamente estudiado por Galván y Ruiz Huidobro (1965), quienes distinguieron dentro del mismo ocho subunidades con valor de formaciones. En la parte tucumana del valle de Santa María no afloran los términos inferiores del grupo.

A la latitud de Colalao del Valle, en

la base de la columna aflorante, se encuentra una secuencia abigarrada constituida por areniscas rojas, lutitas verdes, amarillentas y rojas, limolitas rojas, areniscas amarillentas y grises conglomerádicas, a la que se superponen nuevos términos de areniscas rojas, lutitas violáceas, limolitas rojas y amarillentas con abundantes intercalaciones de yeso fibroso y cristalino; areniscas parduscas y grises conglomerádicas con laminación entrecruzada y frecuentes intercalaciones de tobas grises; encima de este conjunto se encuentra un conglomerado con rodados de hasta 40 cm de diámetro, bien redondeados, la mayor parte de los mismos son de rocas volcánicas y del basamento. Los términos conglomerádicos superan los 200 m de espesor y todo el conjunto alcanza los 2.500 metros.

Como señalamos más arriba la base del Grupo Santa María no aflora en la provincia de Tucumán. A este de Cafayate (prov. de Salta) a pocos kilómetros al norte de la frontera tucumana, se lo encuentra superpuesto a sedimentos atribuidos al Cretácico (Galván y Ruiz Huidobro, 1965).

Sus afloramientos se encuentran en la margen derecha del río Santa María, adosados tectónicamente al basamento de las Cumbres Calchaquies y sierra del Aconquija.

El espesor total del Grupo Santa María supera los 3.000 metros.

Esta unidad ha sido atribuida al Terciario superior, probablemente Plioceno, en base a los materiales fosilíferos que ha proporcionado (Peirano 1943; Galván y Ruiz Huidobro, 1965).

Los afloramientos del Grupo Santa María están separados de los del Grupo Choromoro por el macizo metamórfico de las Cumbres Calchaquies, lo que impide establecer correlaciones claras. La litología de ambos complejos presenta diferencias marcadas, quizá sea posible equiparar los tramos ricos en yeso del Grupo Santa María con los tramos yesíferos de la Formación Río Salí del

Grupo Choromoro, teniendo en cuenta que la depositación del yeso requiere condiciones climáticas y sedimentológicas muy especiales que no se repiten con frecuencia.

Grupo Aconquija

Hemos incluido bajo esta denominación a la secuencia sedimentaria que aflora en el borde oriental de la sierra del Aconquija y sus prolongaciones australes, como así también en los valles tectónicos intramontanos.

Se caracteriza por tener una participación importante de materiales de origen volcánico. Sus afloramientos son muy escasos a causa de la espesa cubierta vegetal y de suelos. Hemos podido observar una sección más o menos completa en el arroyo Casa de Piedra, afluente del río Cochuna, en la depresión tectónica situada entre el cuerpo principal de la sierra del Aconquija y la prolongación septentrional de la sierra de Narvéez. En la base de la secuencia se encuentra un paquete de 40 m de espesor aproximadamente de areniscas finas de color rojo ladrillo con intercalaciones de arcilitas del mismo color, algunos de los bancos arenosos son microconglomerádicos, con rodaditos de cuarzo. A las areniscas rojas se le superponen areniscas tobáceas de color gris verdoso y tobas de color castaño claro, este tramo aflora pobremente. Sigue hacia arriba un conglomerado, altamente consolidado, con rodados bien redondeados que alcanzan hasta 60 cm de diámetro, éstos presentan una alteración superficial importante, predominan los de rocas volcánicas principalmente andesitas y basaltos, tobas andesíticas, ectinitas, granitos y microgranitos del basamento. En la matriz, de carácter arenoso, se observa también la presencia de abundante material volcánico.

El tramo inferior de areniscas rojas se observa también en el río Los Sosas, en la carretera que conduce de Monteros a Tafí del Valle.

Una secuencia similar a la descripta fue observada por nuestro colega M. Alderete (comunicación verbal) en diversos lugares de la falda oriental de la Silleta de Escaba, sitio que no pudimos visitar durante nuestros trabajos de campo.

El Grupo Aconquija se encuentra encima del basamento metamórfico y está casi totalmente cubierto por los depósitos pedomontanos del Cuartario. Hemos calculado que el espesor total del mismo alcanza los 500 metros.

Hemos atribuido esta unidad al Terciario superior teniendo en cuenta que es correlacionable con sedimentos calchaquenses y araucanenses, que afloran al oeste y al sur (González Bonorino, 1950 b).

Posiblemente el conglomerado volcánico con el que culmina la secuencia sea equivalente al conglomerado que se encuentra en el techo del Grupo Santa María. En la actualidad no estamos en condiciones de establecer correlaciones con el Grupo Choromoro.

Formación El Zarzo

Representa una unidad que se encuentra aislada sobre el basamento del extremo norte de la sierra del Aconquija.

Está integrada principalmente por brechas andesíticas con intrusiones basálticas.

El nombre de esta formación fue introducido por Ruiz Huidobro (1966), y según este autor puede estar relacionada a un centro eruptivo oculto, de edad terciaria.

Depósitos cuartarios

Estos cubren una gran parte de la provincia de Tucumán. En el mapa geológico hemos distinguido tres unidades que no intentan tener valor estratigráfico, ya que las hemos separado principalmente en base a criterios morfológicos.

Depósitos pedemontanos

Se encuentran sobre las extensas superficies de pedimentación que rodean a las sierras, éstas alcanzan su máximo desarrollo en el valle de Santa María. Los sedimentos que las cubren son generalmente gravas, arenas gruesas y sedimentos más finos, limosos o arcillosos, en las partes distales.

En las cumbres del Aconquija se distingue, en las fotografías aéreas, la morfología típica de depósitos glaciales, éstos también fueron señalados por González Bonorino (1951). Se deben a una glaciación de extensión muy reducida, que ha debido tener lugar en épocas sumamente recientes.

Depósitos aluviales

Bajo esta amplia denominación hemos incluido los sedimentos que rellenan los cauces de los ríos y las grandes depresiones que constituyen el valle de Santa María, el de Tafí y el del Chormoro, como así también a la extensa llanura tucumana, que se extiende a partir del borde oriental de las sierras.

Incluyen estos depósitos una amplia gama de sedimentos arenosos, limosos, arcillosos y conglomerádicos, que no trataremos en este trabajo, considerando que ellos deben ser objeto de un estudio especial debido a la enorme importancia que tienen en la economía de la provincia.

ESTRUCTURA

Ya en trabajos anteriores (Mon, 1971 *a* y *b*) hemos señalado la presencia de dos unidades morfo-estructurales en el territorio de la provincia de Tucumán: las Sierras Subandinas y las Sierras Pampeanas.

La diferenciación de ambas unidades se habría producido, durante los movimientos ándicos, a causa de las diferencias en el comportamiento tectónico del basamento de bajo grado de metamor-

fismo, con respecto al de metamorfismo más elevado. El primero ("subandino"), dotado de cierta ductilidad, permitió la existencia de deformación por plegamiento en una proporción apreciable, mientras que el segundo ("pampeano") tuvo un comportamiento rígido que sólo le permitió reaccionar ante los esfuerzos mediante fallas de gran rechazo.

Por otra parte las diferencias existentes surgen también de la simple observación del mapa y del perfil que acompañan a esta comunicación, en ellos se comprueba que las sierras del nordeste y la de San Javier forman un conjunto totalmente diferente al de los elevados macizos occidentales.

La elevación formada por los Altos de la Totorá, Altos de Vipos y Cumbres de Raco representa un caso particularmente interesante, allí se observa que la parte septentrional (Altos de la Totorá), constituida por facies de bajo metamorfismo, se ha plegado con un estilo marcadamente subandino, en cambio hacia el sur, donde el metamorfismo aumenta, el macizo adquiere un comportamiento rígido y se incorpora al bloque de las Cumbres Calchaquies. El contacto representado esquemáticamente en la figura 2 puede considerarse como el límite entre las Sierras Pampeanas y las Subandinas, en esta región.

Antes de los movimientos ándicos se manifestaron otros ciclos diastróficos que imprimieron, en el basamento metamórfico y en el Paleozoico, estructuras que les son propias.

Estructura del basamento metamórfico

Este posee una estructura compleja, producida probablemente por varias fases de deformación. Por otra parte el metamorfismo ha obliterado la mayor parte de los rasgos sedimentarios primitivos de las ectinitas, lo que hace más difícil y, en algunos casos, imposible la determinación de los elementos estructurales propios del basamento.

En las zonas en que afloran las facies de bajo metamorfismo se nota la presencia de pliegues apretados, a veces insoclinales, cuya longitud de onda no pasa de los treinta metros. En gran parte de los casos, presentan uno de sus flancos fallado. A causa de la densa cubierta vegetal y de suelos, no se encuentran afloramientos lo suficientemente grandes como para poder seguir estas estructuras sobre distancias considerables.

En general la esquistosidad es paralela a la estratificación primitiva, sin embargo, en algunos sectores, se nota la presencia de un clivaje de fractura, asociado a un microplegamiento de pocos centímetros de longitud de onda.

La mayor parte de los elementos estructurales del basamento (esquistosidad, ejes de pliegues, lineaciones, etc.) presentan un rumbo que oscila entre N 30 W y N 60 W. No hemos notado una dirección predominante en la inclinación de la esquistosidad y ni en la de los planos axiales de los pliegues.

En cuanto a la edad de los movimientos que produjeron la deformación y el metamorfismo del basamento, se puede decir que éstos son claramente anteriores a la depositación de las areniscas cuarzosas de la Formación Candelaria (Cámbrico).

Estructura del Paleozoico inferior

Las areniscas cuarzosas de la Formación Candelaria presentan un estilo de deformación propio que se observa muy bien en el afloramiento situado más al sudoeste, en la falda oriental de la sierra del Campo. Allí se las encuentra apoyadas en fuerte discordancia sobre el basamento metamórfico y plegadas en pliegues de plano axial vertical cuyos flancos presentan inclinaciones entre 60° y 70°, además están intensamente diaclasadas. Encima de ellas se ubican, en discordancia angular, los términos inferiores de la Formación Pirgua, de manera que las areniscas cuarzosas cámbricas se encuentran entre dos dis-

cordancias angulares, que la separan tanto del basamento como del Grupo Salta.

La edad de los movimientos responsables de este plegamiento es difícil de establecer, ya que queda un amplio margen entre el Cámbrico y el Cretácico superior.

Estructura ándica

Los movimientos ándicos tuvieron lugar en el Terciario superior y alcanzaron probablemente su máxima intensidad en el Plioceno. Ellos son los responsables de la estructura actual de la región y de la diferenciación de las dos unidades morfo-estructurales mencionadas más arriba.

Estructura de las Sierras Pampeanas

Las Sierras Pampeanas están constituidas por bloques rígidos de basamento, elevados y basculados por fallas inversas de alto ángulo.

Entre estos bloques sobresalen por su magnitud los representados por las sierras de Quilmes, Calchaquies y Aconquija. Del primero, sólo una pequeña parte está en la provincia de Tucumán, en el extremo noroeste de la misma. Este ha sido elevado y basculado hacia el este por una gran falla de rumbo aproximado norte-sur que corre por su borde occidental (fuera de la provincia de Tucumán). El bloque de las Cumbres Calchaquies, ha sido elevado por fracturas que corren tanto por su borde occidental como oriental y que inclinan en sentido opuesto, hacia el interior del mismo. El de la sierra del Aconquija ha sido también elevado y basculado por una falla que se encuentra en su borde occidental.

Entre las fallas representadas en el mapa, las más importantes son las que están acompañadas por las cruces que indican el labio elevado de las mismas.

En el cordón formado por las Cumbres Calchaquies y la sierra del Aconquija, con sus prolongaciones australes,

se nota que las fracturas están agrupadas en tres direcciones principales y que las unidades orográficas están orientadas según esas direcciones. El conjunto serrano compuesto por las Cumbres de Narváez, Silleta de Escaba, Silleta de las Higueras, Cumbres de los Llanos y Cumbres de Potrerillo está compuesto por bloques muy bien definidos, basculados hacia el este por un sistema de fallas de rumbo predominante NNW-SSE. Entre ellas se destaca por su importancia, la que marca el borde occidental de la Silleta de Escaba y que cuya continuación austral divide los bloques de las Cumbres de los Llanos y de Potrerillos. Dentro de este sistema entran también las fallas del borde oriental de la depresión de Las Estancias. Se observan además, en las sierras mencionadas, fallas de rumbo NNE-SSW, como la que determina el borde sudeste de la depresión de Escaba, que no alcanza la importancia de las primeras.

En el tramo de la sierra del Aconquija, situado al sur de Tafi del Valle se verifica un cambio brusco en la dirección de las fallas y lineaciones. Allí la dirección predominante está dada por un sistema de rumbo NE-SW, contra el cual parece terminar el sistema anterior (NNW-SSE). La falla principal responsable del basculamiento del bloque del Aconquija tiene también rumbo NE-SW. Este cambio brusco en la dirección de las fallas provoca una inflexión en las unidades orográficas, que es la bahía estructural de Concepción, situada en el borde oriental de las sierras, que llamó la atención de muchos investigadores.

En el extremo norte de la sierra del Aconquija y en las Cumbres Calchaquies, la dirección predominante de las fallas es norte-sur con ligeras desviaciones tanto hacia el nordeste como al noroeste. Dentro de este sistema se destacan por su importancia regional las fallas del borde occidental y oriental de las Cumbres Calchaquies. La primera está parcialmente afectada por fracturas de rumbo NNW-SSE, que probable-

mente fueron reactivadas al producirse el levantamiento del bloque; el rechazo de esta fractura es del orden de los miles de metros; Ruiz Huidobro (1966) afirma que puede alcanzar hasta los 5.000 m, de cualquier modo tiene que ser superior al espesor del Grupo Santa María (3.000 metros). La falla principal del borde oriental es la que corre al este de los Altos de la Totorá, Altos de Vipos, Cumbres de Raco, se trata también de un accidente de primera magnitud, similar al anterior, su rechazo aumenta de norte a sur; está dividida en dos ramas una de rumbo NNW-SSE y otra NNE-SSE, la primera posee un escalón dado por una fractura fuertemente oblicua con respecto al rumbo general de la estructura. Al oeste de San Pedro de Colalao se encuentra una falla de cierta importancia que ha participado también en el levantamiento del bloque de las Cumbres Calchaquies.

Depresiones tectónicas dentro de las Sierras Pampeanas

Entre los bloques de las Sierras Pampeanas se encuentran zonas deprimidas, que corresponden a bloques o partes de bloques hundidos con respecto a los que forman las sierras. En estas depresiones han quedado resguardados restos de la cobertura terciaria, que en otras partes ha sido eliminada por la erosión.

Valle de Santa María

Constituye la depresión tectónica más importante de la región, el borde oriental está dado por las grandes fallas que han elevado y basculado los bloques de las Cumbres Calchaquies y de la sierra del Aconquija hacia el este. Estos están separados entre sí por otra depresión tectónica, el valle de Tafi, del cual nos ocuparemos más adelante.

El borde occidental está marcado también por una falla, de menor importancia que las anteriores, que corre al pie de la sierra de Quilmes; ésta no se manifiesta claramente en la parte tucu-

mana del valle, pero se observa muy bien más al norte (prov. de Salta). Representa una fractura de reajuste o de compensación del movimiento entre los bloques (ver perfil). Por otra parte el límite occidental de los afloramientos terciarios es una fractura similar a las responsables del levantamiento de los bloques, pero con un rechazo que no ha tenido la magnitud suficiente como para hacer aflorar el basamento, sin embargo esto ocurre más al norte, hacia donde éste aumenta.

Los sedimentos terciarios que rellenan el valle (Grupo Santa María), se encuentran suavemente plegados, lo que indicaría que éstos se han movido independientemente del basamento rígido, aprovechando superficies de despegue que probablemente se han ubicado siguiendo tramos ricos en yeso o en la base de la cubierta sedimentaria. También podría explicarse este plegamiento mediante movimientos diferenciales de bloques de basamento situados en el subsuelo.

El valle de Santa María no es una depresión aulacogénica, como han señalado algunos investigadores, ya que la mayor parte de la sedimentación terciaria es anterior a las fallas que han producido el valle y no contemporánea a la formación de las mismas, como sucede en los aulacógenos.

Depresión de Tafí y Amaicha del Valle

Esta depresión de rumbo NNW-SSE separa a la sierra del Aconquija de las Cumbres Calchaquías. En su extremo noroccidental, al sudeste de Amaicha del Valle, posee carácter netamente tectónico, allí está limitada al este por las fallas del borde del bloque de Calchaquías, y por la que ha separado una escama del mismo. Su borde occidental está dado por una falla de compensación que ha afectado el extremo septentrional del bloque de Aconquija.

Hacia el sudeste el panorama no es tan claro, ya que se trata de una zona cubierta por sedimentos cuaternarios. La

falla del borde de Calchaquías disminuye su rechazo hacia el sur, es probable que se continúe por el pie de sierra y penetre en el valle del río Los Sosas, donde tendría un rechazo muy pequeño. Resulta difícil comprender a presencia de la Loma Pelada situada al sudoeste de Tafí del Valle, emergiendo de los sedimentos cuaternarios. ¿Representa un monte isla dejado por la erosión? ¿Es un bloque elevado por una falla que correría por su borde occidental?

Depresiones de las Estancias y de Escaba

La primera está situada entre la prolongación septentrional de las Cumbres de Narvaéz y la sierra del Aconquija; la segunda entre las silletas de Escaba y las Higueras. Ambas obedecen a dispositivos similares de fallas y de bloques: fracturas de rumbo NNW-SSE que cortan a fracturas de rumbo NNE-SSW, en ambos casos los bloques elevados se encuentran hacia el este y la parte más profunda de la depresión, hacia donde convergen los ríos, se halla justamente en el punto donde se cortan las fallas.

Los bloques elevados y basculados hacia el este debieron formar diques naturales para los ríos que corrían hacia el naciente, tales como los ríos de las Cañas y Escaba (ambos antecedentes) (Gonzalez Bonorino, 1951). Curiosamente esta combinación de elementos estructurales y morfológicos ha proporcionado excelentes sitios para la construcción de aprovechamientos hidráulicos: la presa de Escaba, ya construida, y la presa del Potrero del Clavillo, proyectada en la garganta de la embocadura del río de las Cañas (límite entre las provincias de Tucumán y Catamarca).

Estructura de las Sierras Subandinas

Esta ya ha sido tratada en algunos de nuestros trabajos anteriores (Mon, Urduñeta, Suayter, 1971 *b*; Mon, 1971 *a*), de manera que ahora veremos solamente sus rasgos más sobresalientes.

Los elementos estructurales de las Sierras Subandinas tucumanas, situadas al nordeste y al oeste de la ciudad de Tucumán, presentan rumbo predominante NNE-SSW. Están distribuidas en dos cordones constituidos por sierras en posición escalonada, uno de ellos está formado por la sierra de la Candelaria (Prov. de Salta), la sierra de Medina y la de San Javier; el otro situado más al este está integrado por las sierras del Campo y la Ramada. Cada sierra corresponde a un gran anticlinal en cuyo núcleo aflora el basamento metamórfico, los ejes de los anticlinales buzan tanto hacia el norte como hacia el sur. Estos pliegues se han producido por el ascenso de bloques de basamento fallados, que al elevarse han plegado la cobertura sedimentaria, pero al mismo tiempo los bloques han sido lo suficientemente dúctiles como para experimentar también deformación por plegamiento. Esto se comprueba al observar las terminaciones periclinales suaves que exhiben los anticlinales en sus extremos. Por otra parte algunos de ellos como el de la sierra de la Ramada, no están asociados estrechamente a ninguna fractura, lo mismo ocurre en el extremo austral de la sierra de Medina.

Se observa además que tanto el basamento como la cobertura se han plegado juntos sin que se note ningún juego independiente entre ambos. Como señalamos más arriba, la presencia de este basamento dúctil es uno de los elementos típicos de las Sierras Subandinas.

Las fallas más conspicuas están distribuidas en dos sistemas principales: uno de rumbo NNE-SSW, dentro del cual se encuentra la falla del borde oriental de la sierra de San Javier; la que corre al oeste de las sierras del Campo y la Ramada y que, más al sur guía aparentemente al cauce del río Salí; el otro sistema de rumbo NNW-SSE está bien representado por las fallas con disposición escalonada que se observa en el tramo medio de la sierra de Me-

dina, como así también la responsable del levantamiento de la sierra del Campo.

Los bloques de basamento que constituyen los núcleos de las sierras están basculados tanto hacia el oeste como hacia el este: el de la sierra de San Javier lo está hacia el oeste, los de las sierras del Campo y la Ramada hacia el este; la sierra de Medina ofrece un panorama más complejo, ya que en su parte sur se observa que constituye un anticlinal asimétrico con su flanco occidental más empinado, lo que indica que el bloque subyacente ha sido basculado hacia el este, pero la fractura responsable del basculamiento no se observa en superficie, por otra parte su tramo septentrional ha sido inclinado hacia el oeste por una fractura que corre por su borde oriental, además las fracturas escalonadas del tramo medio presentan en todos los casos el labio occidental elevado con respecto al oriental. La sierra del Nogalito representa un bloque de menor tamaño adosado al de Medina con el que se suelda en su extremo austral, este bloque ha sido basculado hacia el oeste por una falla que corre por su borde oriental.

Valle del Choromoro

Recibe este nombre la depresión que se extiende entre las estribaciones orientales de las Cumbres Calchaquíes de la sierra de Medina, al norte de la sierra de San Javier.

Esta depresión está situada dentro del ambiente de las Sierras Subandinas. En ella afloran principalmente sedimentos terciarios (Grupo Choromoro), en gran parte cubiertos por depósitos cuaternarios, en sus bordes y en algunos núcleos anticlinales asoman los sedimentos del Grupo Salta.

El límite occidental del valle de Choromoro es de origen tectónico, las grandes fallas que afectan el borde oriental de las Cumbres Calchaquíes y de sus estribaciones ponen el basamento y, en algunos casos, a la Formación Pirgua

en contacto con los sedimentos terciarios que rellenan la depresión. El borde oriental está dado por la sierra de Medina, donde los sedimentos del Grupo Salta inclinan hacia el oeste con un ángulo de 45° aproximadamente, de manera que se hunde rápidamente en esa dirección, para reaparecer en el núcleo de algunos anticlinales suaves al oeste de la ruta 9.

El eje del anticlinal de San Javier presenta un fuerte bruzamiento hacia el NNE, de manera que el basamento desaparece también rápidamente en esa dirección.

No se puede establecer con exactitud cual es el espesor total de los sedimentos cretácico-terciarios que rellenan la depresión del Choromoro, ya que éstos se presentan en afloramientos aislados cuyas relaciones no son bien conocidas, pero en base a lo que se observa en el flanco occidental del anticlinal de la sierra de Medina se puede afirmar que alcanzan como mínimo 2.500 metros.

Estos sedimentos están nuevamente plegados, los flancos de los pliegues rara vez superan los 30° de inclinación. Como en el caso del valle de Santa María, no estamos en condiciones de decidir si éstos se deben a movimientos diferenciales del basamento mediante fracturas o son producidos por el despegue de una parte de la cobertura que se ha movido independientemente del resto. En las sierras se observa que la cobertura se ha deformado solidariamente con el basamento y que todos sus rasgos tienen su origen en el mismo, pero bien puede ocurrir que en las depresiones, donde se encuentran grandes pilas sedimentarias con abundantes intercalaciones de yeso, que pueden actuar como lubricante, se produzcan despegues. Estos problemas podrán resolverse cuando se posean datos de estudios geofísicos y de perforaciones profundas.

Tanto en las Sierras Pampeanas como en las Subandinas el rumbo predominante de las fallas es cercano al de los meridianos, sin embargo se nota la presen-

cia de fracturas de rumbo fuertemente oblicuo con respecto al de las estructuras principales. ¿Representan éstas líneas de fallas más antiguas parcialmente reactivadas por los movimientos ándicos?

Para los movimientos ándicos, el territorio de la provincia de Tucumán ha formado parte del borde cratónico, afectado en cierta medida por movimientos que han sido consecuencia lejana de los intensos fenómenos tectónicos ocurridos en el geosinclinal ándico, situado mucho más al oeste, en territorio chileno.

Fenómenos de neotectónica

En diversos lugares de la provincia de Tucumán, tanto dentro del ambiente de las Sierras Subandinas como el de las Sierras Pampeanas, se observan pliegues y fallas sumamente recientes que afectan a sedimentos del Cuartario. Los pliegues se deben a movimientos verticales, producidos mediante fallas, que han provocado basculamientos en los sedimentos cuartarios. Los ejemplos más notables se observan al oeste de la sierra de Medina, en la margen derecha del río Vipos, donde ya fueron notados por Bossi (1969) y en el valle de Santa María, es decir donde están mejor representados los depósitos pedemontanos, que es donde puede detectarse con mayor facilidad estos fenómenos.

CONCLUSIONES

La provincia de Tucumán tenía sectores bien estudiados, como los que habían sido cubiertos por Hojas Geológicas, o por estudios en detalle, pero al mismo tiempo existían grandes extensiones de las sierras del nordeste; de la parte septentrional del valle del Choromoro; de la sierra de San Javier; de las estribaciones orientales de las Cumbres Calchaquís de las que se poseía muy poca información geológica o directamente no había ningún dato. De manera que el objetivo fundamental de nuestro trabajo ha sido eliminar estos desniveles en el conoci-

miento geológico de Tucumán y presentar un panorama lo más coherente y completo posible, de cualquier modo éste presenta todavía grandes espacios en blanco, que deberán ser llenados en futuros trabajos. Consideramos que la petrología del basamento metamórfico ofrece un campo de investigación donde casi todo está por hacerse. Dentro de la estratigrafía de la cobertura sedimentaria hacen falta estudios detallados que resuelvan problemas que nosotros apenas hemos alcanzado a plantear.

Creemos que los mejores resultados los hemos obtenido en los aspectos estructurales, aunque todavía sabemos muy poco de la estructura interna del basamento, que debe ser objeto de estudios minuciosos acompañados de análisis petrofábricos.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Beder, R., 1928. *La sierra de Guayasán y sus alrededores*. Direc. Gen. de Minas Geol. e Hidrol. XVI.
- Bonaparte, J. y Bossi, G., 1967. *Sobre la presencia de dinosaurios en la formación Pirgua del Grupo Salta y su significado cronológico*. Acta Geol. Lill. IX, 25-44.
- Bonarelli, G. y Pastore, F., 1917-1918. *Bosquejo geológico de la provincia de Tucumán*. Primera reunión de la Sociedad Argentina de Ciencias en Tucumán. 27-46.
- Bossi, G. E., 1969. *Geología y Estratigrafía del sector sur del Valle del Choromoro*. Acta Geol. Lill. X, 17-64.
- Bossi, G. E. y Wampler, M., 1969. *Edad del complejo Alto de las Salinas, formación El Cadillal según el método K-Ar*. Acta Geol. Lill. X, 141-160.
- Danieli, C., 1956. *Las tobas y sedimentos tobáceos del Alto de Yerba Huasi, Dpto. Famaillá, prov. de Tucumán*. Acta Geol. Lill. I, 145-184.
- 1963. *Noticia preliminar sobre el hallazgo de un yacimiento de caliza cristalina en la provincia de Tucumán*. Acta Geol. Lill. IV, 135-146.
- 1967. *Facies tucumanas del Terciario Subandino, sus correlaciones estratigráficas y litológicas en el noroeste argentino*. Acta Geol. Lill. VIII, 147-155.
- Danieli, C. y Porto, J. C., 1968. *Sobre la extensión austral de las formaciones mesozoico-terciarias de la provincia de Salta, límite con Tucumán*. Terc. Jorn. Geol. Argent. I, 77-90.
- Ferreiro, V. y Mon, R., 1972. *Geomorfología y Tectónica del Valle de Santa María*. Acta Geol. Lill. En prensa.
- Galván, A. F., 1960. *Estudios geológicos en el sector septentrional de las Cumbres Calchaquies, provincias de Salta y Tucumán*. Direc. Nac. de Geol. y Min. Buenos Aires. Inédito.
- Galván, A. F. y Ruiz Huidobro, O. J., 1965. *Geología del Valle de Santa María, Estratigrafía de las formaciones mesozoico-terciarias*. Segundas Jorn. Geol. Argent. III, 217-230.
- González, R. R., 1971. *Edades radimétricas de algunos cuerpos eruptivos de Argentina*. Rev. Asoc. Geol. Argent. XXVI, 411.
- González, R. R., Kawashita, K. y Cabrera, M. A., 1971. *Edades radimétricas de algunas rocas del basamento de las Sierras Pampeanas*. Rev. Asoc. Geol. Argent. XXVI, 527.
- González Bonorino, F., 1950 a. *Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas*. Rev. Asoc. Geol. Argent. V, 81-110.
- 1950 b. *Descripción geológica de la Hoja 13 e, Villa Alberdi, Tucumán y Catamarca*. Direc. Nac. de Geol. y Minas Bol. 74.
- 1951. *Descripción geológica de la Hoja 12 e, Anconquiya, Catamarca y Tucumán*. Direc. Nac. de Geol. y Minas Bol. 75.
- Luna Reyes, A., 1968. *Las calizas de la provincia de Tucumán*. Inst. Miguel Lillo, Univ. Nac. de Tucumán. Inédito.
- Mirré, J. C. y Aceñolaza, F. G., 1971. *El hallazgo de Oldhamia sp. (traza fósil) y su valor como evidencia de edad cámbrica para el supuesto Precámbrico del borde occidental del Aconquiya, prov. de Catamarca*. Ameghiniana. En prensa.
- Mon, R., 1971 a. *Estructura geológica del extremo austral de las Sierras Subandinas, prov. de Salta y Tucumán, República Argentina*. Rev. Asoc. Geol. Argent. XXVI, 209-220.
- 1971 b. *Relaciones estructurales entre las Sierras Pampeanas y Subandinas en la provincia de Tucumán, República Argentina*. 1er. Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Sec. I, II, 661-680.
- Mon, R., Urdaneta, A. y Suayter, L., 1971 a. *Sobre la presencia del Paleozoico inferior en la provincia de Tucumán*. Acta Geol. Lill. XI, 291-306.
- 1971 b. *Estudio geológico de las sierras del Campo y la Ramada (prov. de Tucumán)*. Acta Geol. Lill. XI, 291-306.
- Moreno, J. L., 1970. *Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico superior en la Cuenca del Noroeste Argentino, con especial mención a los subgrupos Balbuena y Santa*

- Bárbara. Rev. Asoc. Geol. Argent. XXV, 944.
- Peirano, A., 1943. *Algunos yacimientos de fósiles en la parte central del Valle Santa María y del Valle del Cajón, Tucumán y Catamarca*. Cuad. Miner. Geol. Univ. Nac. de Tucumán, III, 40-54.
- *Estratigrafía y tectónica de la parte meridional del Valle alto del Río Salí o Valle del Choromoro, prov de Tucumán*. Acta Geol. Lill. I, 1-60.
- Porto, J. C., 1970. *Nota acerca de la Formación Yacoraite fosilífera en el Río Urueña, prov de Tucumán*. Rev. Mundo Geológico, n° 8, 6-7.
- 1970. *Geología de las Cumbres del Taji-cillo, Sierra de San Javier septentrional, provincia de Tucumán*. Acta Geol. Lill. XI, 27-68.
- Rasmuss, J., 1914. *Relevamiento geológico de la Hoja 13 e, 1:200.000, referente a la fracción montañosa de Tucumán y Catamarca, comprendida entre los paralelos 27° 30' y 28° y meridianos 65° 30' y 65° 15'*. Direc. Nac. de Geol. y Minas, inédito.
- 1918-19. *La Sierra del Aconquija*. Ira. Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencias Naturales en Tucumán. 47-69.
- Ricci, H. I. y Villanueva, A. G., 1969. *La presencia del Paleozoico inferior en la sierra de la Candelaria (prov. de Salta)*. Acta Geol. Lill. X, 1-16.
- Ruiz Huidobro, O. J., 1960. *El Horizonte Calcáreo-dolomítico en la provincia de Tucumán*. Acta Geol. Lill. III, 147-172.
- 1966. *Contribución a la geología de las Cumbres Calchaquíes y sierra del Aconquija (Tucumán-Catamarca)*. Acta Geol. Lill. VIII, 215-247.
- Stappenbeck, R., 1921. *Estudios geológicos e hidrológicos en la zona subandina de las provincias de Salta y Tucumán*. An. Min. Agric. Sec. Geol. Miner. XIV.
- Turner, J. C. M., 1964. *Descripción geológica de la Hoja 2 c, Santa Victoria (prov. Salta y Jujuy)*. Direc. Nac. Geol. y Minas Bol. 103.
- Winterer, E. L. et al., 1971. *Deep Sea Drilling Project*. Leg 17. Geotimes, XVI, n° 9, 12-14.

Recibido el 8 de mayo de 1972.

CONSIDERACIONES PETROLOGICAS Y ESTRUCTURALES
DEL FALDEO ORIENTAL DE LA SIERRA DE LOS GIGANTES
PROVINCIA DE CORDOBA, REPUBLICA ARGENTINA

POR HUGO N. LUCERO¹ Y CARLOS A. RINALDI²

RESUMEN

En primer lugar, se describen, sobre la base del apoyo de numerosos levantamientos geológicos realizados a diferentes escalas y por buen número de descripciones petrográficas, las circunstancias geológicas y petrológicas imperantes en la zona bajo estudio, con especial atención a las rocas graníticas, las que se caracterizan por ser esencialmente microclínicas, señalándose que una observación aislada que hizo sospechar la presencia de otra variedad potásica por su maclaje carlsbádico, bien puede hallarse ligada a la orientación del corte, tal vez coincidente con la cara (100), que obliterando la asociación según periclino, puede destacar claramente la arriba mencionada, que no es por otra parte una característica privativa de las ortoclasas.

Seguidamente se postula —con carácter de mera hipótesis de trabajo— la posibilidad de que la estructura general de la Sierra Grande de Córdoba pudiera ser permeable al ajuste de una mecánica de tipo esfenogenético, ligada a la existencia de *esfuerzos* no necesariamente horizontales, de naturaleza derivante en un determinado sentido y actuantes sobre limitaciones curvas de índole ántero-cóncava.

Se describen y analizan los eventos tectónicos locales, como los efectos disyuntivos estáticos (diaclasas), que tomados en detalle (escala 1:250) según una malla muy abierta, sobre una superficie total de alrededor de 100 km² y convenientemente tratados según determinadas técnicas de representación planimétrica, posibilitan obtener conclusiones relativas a génesis y reales papeles litoadmisivos representados por este tipo de accidentes; asimismo se señala la existencia de posibles relaciones entre las frecuencias de las fracturaciones pegmatíticas reforzantes y el posterior emplazamiento de algunas de las grandes fajas de deformación.

ABSTRACT

In the first place, geological and petrological prevailing circumstances at the zone under study are described, upon the data support provided by geological surveys performed at different scales, and by a good number of petrographic descriptions. Special attention is paid to granitic rocks, that are characterized as being essentially microclinic ones, pointing out the fact that an isolated observation that arose suspicion about the presence of another potassic variety because of its Carlsbad twins, might well be related to the orientation of the cutting, may be in coincidence with the face (100), that obliterating the association according with the pericline twins, could clearly emphasize the above mentioned one, which is not, at the other hand, a private feature of the orthoclásticos.

Secondly, the possibility is stated —only as a simple hypothesis of work— that the general structure of the Sierra Grande of Córdoba could be permeable to the adjustment of a mechanics of sphenogenetic type, related to the existence of not necessarily horizontal stresses, of nature deriving to a certain direction and acting upon limitation curves of antero-concave disposition.

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica.

² Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Local tectonic events are furtherly described and analyzed, as the disyuntive static effects diaclastics that, considered in detail (1:250 scale), according with a very open net, over a total area of around 1000 km² and conveniently dealt with according with certain techniques of planimetric representation, make it possible to draw some conclusions regarding genesis and real lithoadmisive roles played by this type of accidents. Besides, it is pointed out the existence of possible relations between the frequency of pegmatic reinforcing fractures and the subsequent emplacement of some of the large deformation bands.

I. UBICACION DEL AREA ESTUDIADA

La zona de "Los Gigantes" en general, y en particular el área más afectada a las observaciones que hacen a este trabajo (yacimientos uraníferos "Schlagintweit" y "Los Europeos") se encuentra a unos 80 km por caminos, hacia el



Fig. 1. — Ubicación del área estudiada

oeste de la ciudad de Córdoba y a una altura de aproximadamente de 1.700 m. s.n.m. (fig. 1). Estructuralmente corresponde a restos de la superficie de un amplio escalón tectónico de rumbo general NNW-SSE, dominado desde occidente por un tronco de alta montaña recortado por la erosión. La zona posee un fuerte drenaje dendrítico y convergente, que proviene en forma exclusiva del oeste y noroeste.

II. GEOLOGIA DE LA ZONA

Como elementos litológicos predominantes, aparecen rocas de composición granítica que corresponden al basamento (prolongación NE del batolito de Achala), acompañadas por un séquito filoniano casi exclusivo de pegmatitas; hacia el este, ya fuera de los límites del sector estudiado, afloran metamorfitas de alto grado (gneisses, anfibolitas, calizas cristalino-granulosas, etc.). Parcialmente el área se encuentra cubierta en forma muy discontinua por un delgado mantillo regolítico que se localiza ya disimulando depresiones y marginando cursos temporarios o permanentes, ya delatando la presencia en subsuelo de las grandes líneas de fractura al constituir dilatadas vegas de muchos kilómetros de longitud sobre sus ocultas corridas.

II a. LAS ROCAS GRANÍTICAS

El carácter que predomina está ligado a la textura "porfiroidea" común a la mayor parte de las exposiciones y a la escasa tenacidad evidenciada por las variedades de grano grueso, las que dominan sobre las restantes.

En determinados sitios, el grano se torna más regular y pequeño, a la par que aumenta la cantidad de ferromagnesianos; estos caracteres influyen en la frecuencia de los planos de disyunción menos distanciados en las variedades de grano fino, dando de este modo lugar a formas de erosión típicas para cada término petrológico.

Dentro de este ambiente granítico pueden observarse con frecuencia ciertas petroinhomogeneidades de las que se hace a continuación una breve referencia; es interesante la presencia de una suerte de "gabarros", abundantes en determinados sectores tales como las vecindades del yacimiento "La Morenita". Se trata de enclaves "homogéneos", es decir, concentraciones tipo "schlieren", ricas en ferromagnésicos que corresponderían a segregaciones magmáticas precoces llevadas a cabo en procesos de consolidación intratelúrica; tales discontinuidades, de pigmentación entre gris-rojiza y gris oscuro (en realidad más ácidas de lo que su aspecto sugiere), evidencian al microscopio una composición muy similar a la de la roca que las contiene, siendo aún clasificables como "granitos".

Una descripción petrográfica de estos "schlieren" (Linares y Rinaldi, 1967) habla de una roca granular hipidiomorfa de grano mediano a fino, portadora de abundante *cuarzo*, escasos *feldespatos* y gran cantidad de láminas de *mica*. Posee más sílice libre que la roca de caja y es conspicua portadora de individuos de meta-autunita; no parece tratarse de una discontinuidad de carácter endopolígeno ligada a procesos endomórficos que actuaron sobre rocas preexistentes, sino de fenómenos de cristalizaciones precoces diferenciadas. "Existen, sin embargo, en otras áreas de la superficie reconocida, vecinas a los afloramientos metamórficos que aparecen al Este de la misma, verdaderos xenolitos de carácter enalógeno y aun endopolígeno de tamaños variables entre el puño y algunas decenas de metros; su presencia es abun-

dante en el sector sudoriental de la zona, donde posee caracteres gneísicos y anfibolíticos aún reconocibles" (*op. cit.*).

III. PETROGRAFIA

Se dispuso de las descripciones petrográficas contenidas en un trabajo anterior (Linares y Rinaldi, 1967) y de las correspondientes a un grupo complementario de muestras descritas por los autores y por Toselli (Cátedra de Petrografía de la Universidad Nacional de Córdoba).

III a. LOS GRANITOS COMUNES

Los granitos porfiroideos se caracterizan por su textura básicamente alotriomorfa — en parte también hipidiomorfa — en toda la gama de inequigranularidades posible. Los minerales esenciales, citados según orden decreciente son:

a) *feldespato potásico*: se trata de *microclino pertítico* (Pastore, 1932) presente en grandes individuos que aparecen como oiocristales portadores de muchos de los restantes minerales esenciales no se descarta la posibilidad de que lo acompañen también pequeñas cantidades de ortosa, según una única determinación que corresponde a la manifestación "Los Europeos".

Si bien no habría incompatibilidades teóricas en cuanto a la convergencia de ambas especies dentro del campo analizado, cabría señalar que la presencia de solo un individuo de *feldespato potásico* maclado según Carlsbad no puede ser argumento decisivo en cuanto a una forzosa coexistencia ortosa - *microclino*. En efecto, Si bien un corte según (001) permitiría la visualización del maclaje periclinal, también es cierto que secciones efectuadas según (100) pueden poner en evidencia la asociación carlsbádica que no es en manera alguna privativa de las ortosas.

b) o c) *cuarzo*: se presenta en cris-

tales anhedrales, con marcada cataclásis y es por ende poseedor de cierto grado de extinción ondulosa, presente por otra parte en diversos grados de regularidad periférica.

c) o b) *feldespatos calcosódicos*: oligoclasas o albitaoligoclasas, subhedrales, parcialmente seritizadas y/o caolinizadas.

d) *ferromagnésicos*: representados por biotita subhedral, fresca y/o deferrizada en los más variados grados, al punto de dejarse asimilar ópticamente a muscovitas; evidencian claros efectos de flexuras. Los citados procesos de deferrización llegan a comunicar a la roca pigmentaciones pardas a pardo amarillentas al examen macroscópico.

Como minerales accesorios, se cuenta con la presencia de *apatita*, *circón* y *rutilo*, etc. La *apatita*, que contiene *uranio*, es casi siempre fluorescente y se muestra en individuos desde aciculares hasta redondeados; de mayor tamaño que el común en este tipo de rocas; aparece a veces incluida en el cuarzo al igual que las agujas de rutilo. En cuanto al *circón* que es también portador de *uranio*, se presenta como inclusión tanto en la biotita como en el cuarzo y también como microcristal dentro de las *apatitas*. En las micas, donde es especialmente abundante, forma halos pleocroicos y llega a ser tan frecuente que han podido encontrarse hasta 10 gramos por mm² (Latorre, 1968). En cuanto a las variedades no porfiroides, no presenta diferencias esenciales con respecto a las descriptas, salvo en lo textural; los granitos de grano mediano a fino son simplemente un tanto más ricos en ferromagnésicos.

III b. LOS APLOGRANITOS

Un corte delgado realizado en material del cerro Aspero, de grano fino y algo más oscuro, permitió clasificarlo como un melanoaplogranito; geológicamente parece corresponder a una intru-

sión dentro del granito de la zona, a juzgar por las relaciones observables en sus límites (incluye restos semidigeridos de la variedad porfiroide). Al microscopio evidencia textura granosa alotriomorfa con escasos individuos hipidiomorfos.

El feldespato potásico es microclino; la plagioclasa, oligoclasa ácida que localmente reemplaza a aquél. El cuarzo presenta muy escasos efectos cataclásticos. Entre los minerales fémcicos hay abundante biotita y algunos prismas de augita, siendo los accesorios los comunes del granito. Cabe suponer que no sería éste el único accidente intrusivo post-plutónico de la región; en efecto, algunos de los breves afloramientos de granitos oscuros de grano fino presentes en la zona, parecen corresponder a verdaderos mantos de indefinible potencia que se alojan en forma subhorizontal dentro de la roca de caja, según algunos de los sistemas de diaclasas rasantes o subrasantes más comunes; estas observaciones no son válidas para las formaciones masivas de grano mediano a fino que cubren ciertos sectores de gran desarrollo areal y que corresponden a simples variaciones texturales del granito normal de la región.

III c. MUESTRAS DE PROFUNDIDAD

Todas las descripciones efectuadas hasta ahora coresponden a muestras tomadas en superficie. A los efectos de poder efectuar comparaciones, se realizaron cortes delgados de testigos de perforación, sacados de una profundidad de 120-150 m, cuyas características generales son las siguientes: la textura es holocristalina granular hipidiomorfa; los minerales esenciales y accesorios, los mismos que los de las rocas ya descriptas. El cuarzo que predomina es anhedral, con extinción ondulosa y presenta una textura muy saturada. El microclino aparece como grandes cristales entre subhedrales y anhedrales, con incipiente alteración caolínica y con inclusiones

de plagioclasa anhedral, muscovita, cuarzo y escasa biotita deferrizada. La plagioclasa, oligoclasa subhedral, se halla alterada, encontrándose desde casi límpida hasta con avanzada sericitización. La biotita anhedral, se presenta en agrupaciones de individuos en parte frescos y en parte deferrizados.

Esta roca, que presenta una tenacidad un tanto mayor que las superficiales estudiadas debe tal carácter sólo a su mayor saturación granular, fenómeno ligado muy probablemente al efecto de presiones que no llegaron por otra parte a determinar la formación de estructuras cataclásticas.

El acentuado grado de disgregabilidad que evidencian todos los granitos de la zona, difícilmente podría dejarse explicar en forma sencilla aceptando la exclusiva intervención de intensos procesos de meteorización, favorecidos por la fuerte tectónica existente, los que por otra parte no son los únicos efectos, ya que "muchas islas" salvadas del fenómeno mecánico de referencia, presentan las mencionadas características de delezabilidad. Se supone, sin fundamentos muy avalados, la probable intervención de un determinado tipo de alteración química, de carácter tal vez hidrotermal.

IV. CARACTERES DE LAS PENETRACIONES IGNEAS POST-PLUTONICAS (FILONICAS O MASIVAS)

Confirmándose una conocida regla petrológica, se señalará que en un ambiente tan sobrecargado de manifestaciones esquizolíticas (pegmatitas en este caso) cual la estudiada, tampoco parece haberse dado la retroposibilidad de descargas de naturaleza asquistica, tales como pórfiros, etc.

Como ya se adelantó, el grueso de la xenopenetración soportada por el área granítica, corresponde al rubro pegmatítico, clasificable en tres categorías principales, a saber: *a*) pegmatitas simples, no orientadas, de difusa limitación con

respecto a las cajas y correspondientes genéticamente a una suerte de protopegmatitas que en el proceso de emplazamiento de los plutones juegan normalmente el papel de avanzadas; no portan mineralización diferenciada; *b*) pegmatitas también simples, de hábito tabular y neta limitación lateral, presentes como diques o *sills* según los sistemas de diaclasas que propiciaron su emplazamiento; predominan netamente las interposiciones subrasantes. Como las anteriores, a las que cortan, están desprovistas de toda mineralización diferenciada; *c*) pegmatitas petrológicamente más completas, ricas en minerales neumatógenos y presentes como gruesas masas irregulares de limitaciones netas aunque no rectilíneas y generalmente poseedoras de estructuras zonales; son conspicuas portadoras de mineralización berilífera siendo también frecuentes las diferenciaciones feldespáticas y cuarzosas de gran tamaño.

IV a. CONSIDERACIONES SOBRE LA SIGNIFICACIÓN DEL APORTE PEGMATÍTICO TIPO *b*)

Si bien se considera que no se cuenta con el número de observaciones suficientes como para elaborar conclusiones definitivas sobre el carácter de la distribución de este tipo tan abundante de penetraciones en la región, se expondrá — con las reservas pertinentes —, el cuadro resultante de esta primera etapa de estudios regionales, realizados sobre el trazado de una malla de muestreo tectónico-litológico de 16 unidades emplazadas lo más regularmente posible sobre un área de alrededor de 100 km².

Este tipo de rocas integra dentro del área reconocida, un 4-5 % en volumen y sus frecuencias parecen guardar cierta relación con respecto a la franja anómala uranífera principal ("Los Europeos", "Schlagintweit", "C^o Aspero").

En efecto (ver cuadro A) parecería que dicha faja y muy en general, la densidad de la penetración pegmatítica

decrece un tanto con respecto a las zonas ubicadas tanto al E como al W de ella; si se examina el área en dirección meridiana, se nota también una determinada suerte de distribución general decreciente de N a S. Los sectores más ricos del área, en estas diasquistitas, son evidentemente los orientales, especialmente hacia las cercanías de los contactos metamórficos.

En cuanto a las relaciones existentes entre las frecuencias pegmatíticas y la naturaleza de la roca encajante (cuadro A), sólo puede decirse también de modo muy general, que los granitos de grano mediano a fino parecen estar menos cargados de pegmatitas que los porfiroideos y normales de grano grueso; en el caso particular del cerro Aspero (un aplogranito oscuro) tal afirmación se cumple rigurosamente ya que su masa carece prácticamente de penetraciones.

La explicación de esta preferencia litológica de la descarga pegmatítica por las áreas más granudas, no debe buscarse en el predominio de determinados juegos de diaclasas las que no difieren esencialmente entre los distintos tipos de granitos (ver diagrama de frecuen-

cias de diaclasas) y es posible que se deje relacionar menos forzosamente con el diverso grado de accesibilidad (según diaclasas) presentado por los distintos tipos graníticos, desarrollado con mayor frecuencia en las especies granudas que parecen poseer juegos de ruptura más aliviados y hendibles.

La variación en el grado de relleno, soportado por la masa encajante puede haber influido en la localización posterior de algunas de las grandes fajas de deformación; la gran fractura responsable de la principal escarpa del área está ubicada sobre una franja menos reforzada por el proceso de cerramiento concomitante al emplazamiento de la descarga esquizolítica regional.

Se señala que no se postula la existencia de relación directa alguna entre la posición de la faja anómala uranífera parcialmente mineralizada) y el grado de la invasión pegmatítica en ella observado, siendo las únicas concomitancias posibles las dadas por las siguientes circunstancias:

a) Producción de una vasta descarga pegmatítica de densidad selectiva en posible dependencia con la naturaleza de

CUADRO A

Representación esquemática de la distribución areal de los sectores levantados en detalle (características generales de la roca encajante y % de penetraciones pegmatíticas)

Granito porfiroideo anormal, mediano y fino (2 % peg.).	Granito porfiroideo (3,5 % Peg.).	Granito anormal de grano grueso (5 % Peg.).	Granito normal de grano grueso (10 % Peg.).	N ↑ ↓ S
Granito porfiroideo (6 % Peg.).	Granito porfiroideo (2 % Peg.).	Granito porfiroideo (3 % Peg.).	Granito normal de grano grueso a mediano (2 % Peg.).	
Granito normal de grano grueso (4 % Peg.).	Granito normal de grano grueso, a mediano y fino (2 % Peg.).	Granito porfiroideo (5 % Peg.).	Granito porfiroideo (20 % Peg.).	
Granito normal de grano mediano a fino (2 % Peg.).	Aplogranito oscuro (0,3 % Peg.).	Granito porfiroideo (3 % Peg.).	Granito normal de grano mediano a fino (5 % Peg.).	
Oeste ←-----→ Este				

los diversos tipos de rocas preexistentes.

b) Existencia de una selectividad, que dejó ciertas franjas menos reforzadas, sobre las que se localizaron algunas futuras grandes líneas de fracturas que controla una deposición uranífera de génesis independiente.

IV b. OTRAS PENETRACIONES FILÓNICAS MENORES

En el carácter de oligointerposiciones, pueden también observarse en el área algunas aplitas de hábito tabular; un corte delgado (Toselli) dio lugar a la siguiente descripción: cuarzos subredondeados, con extinción recta, a veces incluidos en plagioclasas; las mismas, oligoclasas entre subhedrales y anhedrales, se presentan en individuos mayores que los de cuarzo, estando un tanto alteradas en sericita y escaso caolín.

La biotita fresca, desde euhedra hasta anhedra es de tamaño variable y se la encuentra dispersa por toda la masa. El feldespató potásico (microclino), algo caolinizado, se presenta como relleno intersticial, revistando sólo como mineral accesorio, lo mismo que la apatita y la muscovita que aparecen dentro de las plagioclasas o marginándolas. Se trata de una aplita tonalítica.

V. ESTRUCTURA

Son numerosas y variadas las concepciones hasta el presente desarrolladas y/o aplicadas a la estructura de las Sierras Pampeanas en general, y más taxativamente a la de Córdoba, desde la de los bloques rígidos lateralmente volcados (la de mayor aceptación), hasta la de las fallas curvas ántero-convexas (González Bonorino, 1950) pasando por la de una mecánica polarizada en el proceso erosivo (Rovereto, 1911) y la de los pliegues de gran radio (Penck, 1920), enriquecida con el aporte de una tafrogénesis de naturaleza compresiva (Gross, 1948).

Los autores no consideran oportuno en esta circunstancia realizar un análisis exhaustivo de estos trabajos, dada la naturaleza del presente. En diversas oportunidades y sitios, se realizaron numerosas observaciones en el área cordobesa y puntana, hasta ahora de naturaleza muy fragmentaria, que serán tratadas con más detenimiento en un trabajo posterior; se relacionan a las posiciones de numerosos relictos de cubierta sedimentaria sobre el basamento, existentes sobre y a los costados de algunos troncos serranos tales como los de las sierras Grande, Chica y Norte de Córdoba, "La Estanzuela" y "Tilisarao" en San Luis. En las dos primeras existen sobre los bordes occidentales de sus dorsos, numerosos afloramientos de ese tipo, que inclinándose diversamente de este a oeste parecerían corresponder a distintos escalones tectónicos de orientación meridiana; por otra lado, al oeste de las Sierras Grande y Chica aparecen sedimentitas que infrayacen al basamento, y al oriente de la segunda, relictos de aquellas adosados al mismo.

V a. TECTÓNICA REGIONAL

Dos fenómenos de ruptura, fallamiento y diaclasamiento, han convergido en la elaboración del relieve actual de este sector; el primero, como factor determinante del estilo morfológico evidenciado por este cuerpo de sierra, y el segundo, en combinación con el primero, en la adopción de una determinada actitud y forma de respuesta frente al proceso erosivo desencadenado por el facturamiento.

Tomando el hecho tectónico a una escala muy general, se sugiere la posibilidad de que la arquitectura de esta sierra y su mecánica, pudieran admitir el ajuste a un esquema del tipo "cuña compuesta" en el sentido de Migliorini (1948). No habiéndose logrado postular analíticamente la imagen de referencia, se la hará con todas las reservas del caso y sólo en el carácter de adelanto de una hipótesis de trabajo.

De acuerdo con las presentes teorizaciones, el esfuerzo responsable debió ser variable en el tiempo según un sentido determinado, tanto en la dimensión clinométrica cuanto en la azimutal; en un primer momento, la acción compresiva de un esfuerzo casi horizontal podría haber propiciado el asomo de un bloque esfenomorfo con caras opuestas inclinadas en el mismo sentido (por lo menos en sus niveles más elevados). Posteriores desplazamientos del eje de presión según buzamientos progresivamente mayores podrían haber determinado en los sectores más occidentales del bloque original (fig. 2) el comienzo de una elaboración tectónica más detallada — desde el exterior hacia adentro — generándose así una cuña con escalones poseedores de planos de fractura sucesivos más alejados de la horizontal, a la par que hacia el Este habrían comenzado a predominar circunstancias gravitacionales con parcial retorno de algunos de los peldaños hacia sus cotas de origen. Esta mecánica necesita también el concurso de nociones de desplazamiento sobre superficies curvas, sobre la base de un esquema ántero - cóncavo, opuesto al arriba mencionado; se trataría así, de fracturas que actuaron como inversas hacia la superficie y como directas hacia la profundidad, conformando elementos de un cuadro capaz de explicar en forma satisfactoria determinados tipos de yacencia y enfrentamientos estratigráficos de aparente normalidad.

Un perfil curviforme de este tipo constituiría, por otra parte, una explicación

plausible para casos como: 1) el de los “estratos de Cosquín” (Terciario) que buzaban fuertemente contra la gran fractura compresiva del pie occidental de la sierra Chica (Basamento), y 2) el de las areniscas y conglomerados de “Quebracho Ladeado” (Córdoba) buzantes contra la escarpa occidental de la sierra de Comechingones, etc. Es evidente que una fractura recta habría producido buzo-deslizamientos, sin deshorizontalizaciones sensibles de los paquetes sedimentarios afectados.

Sería difícil de explicar, por otra parte, sobre la sola base del concepto de deformación, la aludida posición angular de la Formación Cosquín frente a la fractura de bloque, relación que se mantiene sin variantes sensibles a lo largo de una faja de deformación de unos 90 km de extensión, entre Bialest-Massé por el sur y Capilla del Monte por el Norte; no se cree en una independencia entre el fenómeno deshorizontalizador de estos estratos y el ligado a la generación de la fractura que los hace infrayacer al basamento.

En cuanto al “Canal tectónico Puni-lla - Calamuchita”, ya señalado en parte por Gross (1948) como faja táfrica, correría conforme a la imagen esfenogénica, entre dos cuñas no simultáneamente generadas, habiéndolo sido con cierta anterioridad la correspondiente al bloque de la sierra Grande, como parece desprenderse de ciertas observaciones sedimentológicas y tectónicas (Lucero, 1959; Lencinas, 1963). En efecto: a) la composición mineralógica de la Formación Cosquín demuestra una exclusiva procedencia a partir de elementos litológicos de la sierra Grande (Lencinas, comunicación verbal) y b) la Formación Casa Grande sobrepuesta a la anterior, se compone, con la misma exclusividad de elementos provenientes de la sierra Chica, sólo entonces existente como unidad positiva. Entre ambas acumulaciones debió iniciarse el ascenso tectónico y la consecuente erosión parcial de esta última.

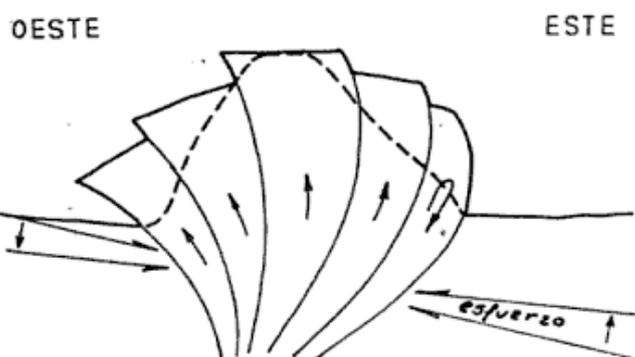


Fig. 2. — Perfil esquemático de la sierra Chica de acuerdo al esquema presentado

V b. TECTÓNICA LOCAL

El cúmulo de datos estructurales de que se ha dispuesto, corresponde a tres diferentes escalas de observaciones: a) una muy general, de carácter fotointerpretativo (1 : 20.000, Gamba, 1968); b) una segunda, más detallada (1 : 250), escala a la que se llevaron a cabo todos los levantamientos geológicos de superficie de las áreas de interés uranífero, amén de todo un juego de mosaicos de 100 m de lado, que a manera de muestreo tec-

tónico se distribuyeron más o menos regularmente sobre una superficie de alrededor de 100 km² (y c) una tercera, de mucho mayor detalle (1 : 25) empleada en el levantamiento de frentes de labores de exploración.

En cuanto a los órdenes dentro de los cuales juegan dimensionalmente los accidentes observados, serían, de acuerdo con tablas de modelos de equidistancias estructurales, los siguientes. Vaclav Nemeč, 1970 a y 1970 b) :

Accidentes	Categoría	Orden	Dimensión
Grandes líneas tectónicas, de rumbo general NNW-SSE.....	Megaescala	12	3.000m
Tectolíneas deuteragónicas, de rumbo predominante NNW-SSE	»	15	400m
Fracturas menores, principalmente subhorizontales	Macroescala	22-23	3-1,5m
Diaclasas (en granitos porfiróideo y normales de grano grueso)	»	23	1,5m
Diaclasas en aplogranitos, de grano fino.....	»	25	0,4m

Fracturas: Dos grandes fajas de formación, de rumbo general NNW-SSE y 65-70° y de buzamiento al WSW correspondientes a las limitaciones orientales de sendos escalones tectónicos, pueden observarse dentro del área reconocida; ellas son, de este a oeste, la llamada "falla del Matadero" y la de "Los Gigantes" propiamente dicha y evidencian su carácter compresivo en el gran desarrollo de sus productos de milonitización y en la total falta de "espacios abiertos" en el seno de los mismos.

La potencia de la segunda, la principal, es de 50 y 100 metros, siendo fácilmente reconocible su continuidad en el terreno por las dilatadas fajas de vegas con que su oculta presencia se refleja en superficie. Puede también apreciarse en la misma, que el retroceso de la escarpa hacia el oeste, identificada con toda una corrida de abruptos farallones, debidos al proceso erosivo, es de 200 a 300 metros. También es digno de mencionarse la presencia de otra importante fractura en el lugar, perteneciente a un segundo juego, re dumbo casi este-oeste y posición subvertical, posiblemente ligado a una fluctuación en la dirección de los empujes; estos planos, tam-

bién portadores de milonitas arcillosas, cortan aquéllas, determinando estructuras diédricas, poseedoras de un conspicuo buzamiento de 67° en dirección oeste, e interesante desde el punto de vista del efecto mecánico de vehiculación y pantallaje que han tenido sobre las acumulaciones uraníferas existentes en el lugar. A lo largo del plano de esta fractura, particularmente tomada en consideración, parecen haber tenido lugar deslizamientos tanto de rumbos como de inclinación; los primeros se traducen en un desfaseamiento de la falla principal "Los Gigantes", con traslación del bloque más austral hacia oeste (o del septentrional hacia este) circunstancia que pone en claro la secuencia existente entre ambos juegos. Por otra parte, su carácter premineral queda documentado en el hecho de que su presencia no desplaza la continuidad norte-sur de las anomalías uraníferas que aparecen sobre ambos labios de la perturbación. Con respecto a los movimientos sobre inclinación, se acotará que las equizolitas tipo protopegmatítico (indiferenciadas del grupo a) que teóricamente corresponden a niveles profundos de las masas graníticas que las contienen, pa-

recen ser aquí más usuales en el bloque septentrional del juego en análisis, circunstancia que apoyaría la idea de que ese sector estaría ahora exponiendo — a la misma altura topográfica que la contraparte austral— niveles otrora más profundos.

Hay otros sistemas de fracturas transversales, muy subordinados a las anteriores y caracterizados, aparte de no contener arcillas de fricción, por haber espacios ya rellenados por aportes de sílice ferruginosa que comentan las brechas y microbrechas que se destacan netamente sobre el relieve granítico de algunos sectores de la zona, las que pueden deberse a respuestas gravitacionales de solicitudes al restablecimiento de equilibrios locales, rotos por la acción de los sistemas compresivos descri-

tos. En conclusión se señalará que no sería imposible, dado la distribución observada de penetraciones diasquísticas y de fajas de deformación, que la localización de las principales líneas estructurales pueda en algún grado estar condicionada a la resistencia ofrecida por las franjas afectadas que se caracterizan por haber soportado un menor “cierre” pegmatítico reforzante (ver cuadro A).

V c. DIACLASAMIENTO: REPRESENTACIONES ADOPTADAS

Todo el material obtenido por las observaciones especiales de detalle efectuadas en forma de muestreo tectónico según malla sobre el total del área estudiada, fue volcado en 16 diagramas de frecuencias (fig. 3). Tales gráficos re-

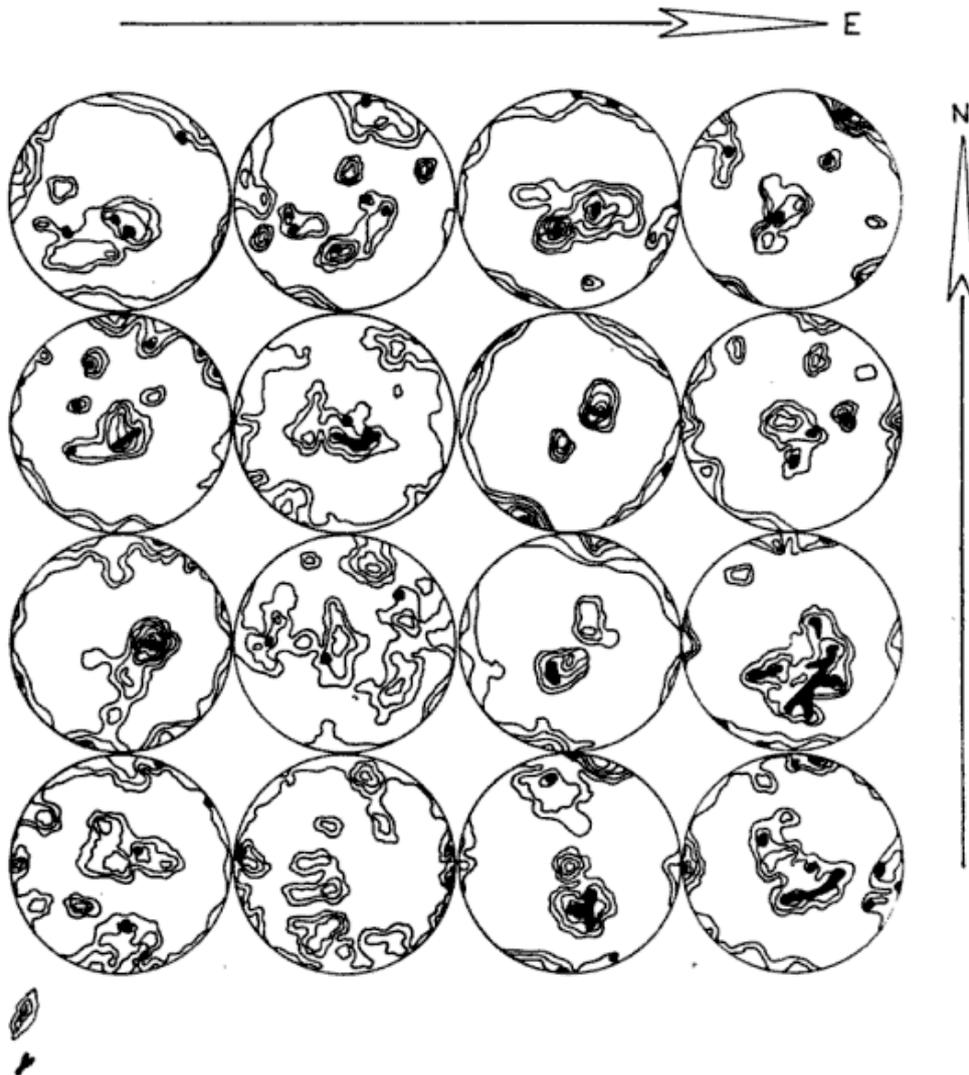


Fig. 3. — Diagramas de frecuencias de diaclasas

presentan en síntesis las frecuencias porcentuales de todos los juegos de accidentes (con intensidades y sentidos de las inclinaciones) habiéndose registrado también en ellos el tipo de roca presente y las frecuencias y relaciones volumétricas de las penetraciones pegmatíticas del grupo *b*) que, por no faltar totalmente en ningún sector, llegan a constituir una característica más de individualización local, de la roca de fundamento e inseparable de su carácter regional. Es evidente como lo demuestran los gráficos aludidos, que este embate ígneo demuestra poseer una preferencia casi absoluta por aquellos accidentes de posiciones poco apartadas de la horizontal y variado rumbo con excepción del nordeste y noroeste; muy raramente ocupan planos verticales o subverticales.

Además de la representación diagramática individual de los sectores afectados al muestreo tectónico de referencia, que sintetizan todo un cúmulo de circunstancias relativas a posiciones espaciales de planos, frecuencias y comportamiento de las unidades esquizolíticas ácidas interpuestas, se han adoptado aún otros tipos de representación según cuadros sucesivamente más escuetos; es de hacer notar que tales representaciones tienden a propiciar otros tipos de visualización más esquemáticos, que suponen siempre una pérdida parcial de expresión en cuanto a rumbos, y casi total en cuanto al valor de la dimensión planimétrica normal. En los cuadros "B" y "C", los rumbos se han ordenado por encasillamientos de grupos previa división en ocho, de la unidad ortogonal de arco, y sus buzamientos sólo en dos únicas categorías ("vertical - subvertical" y "horizontal-subhorizontal"), a los efectos de brindar una representación más de conjunto, si bien de orden aún más cualitativo. El cuadro final "D" se refiere a rangos de frecuencia de accidentes, en carácter de síntesis regional de toda el área estudiada, con apoyo de una sencilla representación gráfica.

VI. CONSIDERACIONES SOBRE LA NATURALEZA Y GENESIS DE LAS DIACLASAS

Hurgando el arduo problema de la calificación genética de las diaclasas de la zona, sólo puede adelantarse — con el grado de reserva conseqüente — que, el más conspicuo juego entre las de posición vertical (rumbo WNW a NW-SE) podría ser encasillado dentro de la categoría de las tensiones, tanto por la nitidez de su limitación, cuanto por su posición con respecto al sentido de las líneas de presión. Fuera del juego mencionado, el grueso de los restantes (un 60 %) se ubican los de posición subhorizontal (según los más variados rumbos con excepción de NE y NW, casi nunca observables), no siendo ilógico asignar a éstos el carácter de diaclasas de relajamiento, producidas por expansiones concordantes con un proceso de rápida eliminación de las sobrecargas preexistentes atacadas por una erosión muy activada, como es posible observar en ciertos trabajos de exploración en los cuales el grueso de la mineralización uranífera se subordina a los planos que coinciden con estas posiciones. Los fenómenos de piezoalivio por expansión — de carácter diferencial según el tipo de roca afectada por el proceso — debieron ser decisivos en cuanto a los grados de "cerramiento pegmatítico" que se logran por tal actividad invasora.

Finalmente, se agregará que parte de las diaclasas no consideradas en los párrafos anteriores, poseedoras localmente de una caótica radialidad y por ello muy difícil de encasillar en sistemas de orientación constante, podrían ser catalogadas sin rodeos como "piezoclasas".

CONCLUSIONES

- 1º Petrológicamente, el ambiente estudiado se identificaría con el de una provincia graníticodiasquistífera que hubo de comportarse por ello, como

- Revista de la Asociación Geológica Argentina, Tomo V, N° 3, Buenos Aires.
- Gross, W., 1948. *Cuadro tectónico del Valle de Punilla*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Tomo III, N° 2. Buenos Aires.
- Latorre, C., 1968. *Estudio petrográfico de muestras de Schlagintweit*. Provincia de Córdoba. Distrito Centro Informe 94/68. CNEA. Inédito.
- Lencinas, A., 1963. *Geología del flanco occidental de la Sierra Chica y Valle de Punilla*. Tesis Doctoral de la Univ. Nac. de Tucumán. Inédito.
- Linares, E. y Rinaldi, C., 1967. *Estudio preliminar mineralógico-petroológico del área de los yacimientos 'Los Europeos' y 'Schlagintweit'*. Córdoba, CNEA. Inédito.
- Lucero, H. N., 1959. *Observaciones tectónicas sobre la falda occ. de la Sierra Chica entre las localidades de Cosquín y la de Capilla del Monte (Cba.)*. CNEA. Inédito.
- Migliorini, C. I., 1948. *I cunei composti nell'orogenesi*. Soc. Geo. Italiana. Bol. 67. Italia.
- Pastore, F., 1932. *Hoja 20 i del Mapa geológico de la República Argentina*. Bol. N° 36. Relevamiento geológico y explicación. Direc. Nac. de Minería. Buenos Aires.
- Penck, W., 1920. *Der Sudrand der puna de Atacama. Ein Beitrag zur Kenntnis des andinen Gebirgstypus und zu der Frage der Gebirgsbildung*-Abhandlungen der matem. physch. klasse der Sachischen Akademie der Wissenschaften. XXXVII, 1.
- Rovereto, G., 1911. *Studi di geomorfología argentina. I. La Sierra di Córdoba*. Bol. Soc. Geol. Ital. XXX.
- Vaclav, Nemeč, 1970 a. *The law of regular structural patterns. Its applications with special regard to mathematical geology (Geo-industria-Prague Czechoslovakia) Rerum Montanarum Pribram Scientiae*. Symposium and Kansas Geological Survey (USA).
- Vaclav, Nemeč, 1970 b. *Exploration Strategy with regard to Regular Structural Patterns*. The University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA.

impermeable a la generación de manifestaciones porfíricas de toda índole, constituyendo en ese sentido, un caso opuesto al de la sierra Norte. Se trata de un granito microclínico porfiroideo, rico en enclaves homogéneos, un tanto alterado tal vez en forma hidrotermal y conspicuo portador de intrusiones pegmatíticas de tipo simple.

2ª La densidad areal de estas esquizolitas está en razón directa con el tamaño del grano de la roca huésped siendo por ende más frecuente en las especies granudas que parecen poseer juegos de ruptura según diaclasas, más aliviados y hendibles; alojándose con preferencia según los sistemas rasantes o subrasantes.

3ª El juego de diaclasas de mayor nitidez (rumbos de WNW-ESE a NW-SE) parecería corresponder al tipo tensional; el grupo de las restantes (60 % aproximadamente) es subhorizontal según los más variados rumbos, salvo el NE y NW, siendo clasificables como diaclasas de relajamiento producidas por una rápida eliminación de sobrecargas sujetas a la erosión; el grueso de la depositación uranífera se subordina a estos sistemas de ruptura.

4ª La distribución de frecuencias de las penetraciones de pegmatitas dentro del área estudiada, lograda mediante un muestreo regional expeditivo, parece señalar relaciones con el emplazamiento de algunas de las grandes fajas de deformación, preferentemente localizadas sobre franjas menos reforzadas por el proceso de rellenamiento pegmatítico de fisuras.

5ª En el carácter de de una mera hipótesis de trabajo, se postula para las sierras de Córdoba una interpretación tectónica de raíz esfenogenética, ligada a la acción de esfuerzos derivantes no horizontales y generadores de superficies curvas con perfiles ántero-cóncavos.

6ª Los bloques que forman el piso de las fosas existentes inmediatamente al oeste de las sierras Grande y Chica parecerían haber sido activos y haberse movido contra superficies curvas; el hecho de ser parcialmente portadores de sobrecarga sedimentaria permite presumir el carácter de los movimientos que deshorizontalizaron los sedimentos haciéndolos infrayacer a los bloques orientales contiguos.

7ª Observaciones sedimentológicas y tectónicas parecen apoyar una sucesión genética: sierra Grande - sierra Chica, ya que la Formación Cosquín se compone exclusivamente de elementos provenientes de la primera, perteneciendo en cambio los integrantes de la Formación Casa Grande, que se superpone a la anterior con toda exclusividad a la sierra Chica. El ascenso y consecuente erosión parcial de esta última, debió iniciarse entre los procesos de depositación de ambas formaciones.

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren dejar constancia de su agradecimiento a la Comisión Nacional de Energía Atómica que posibilitó la realización de este trabajo al igual que a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, al doctor Pedro Stipanovic por las sugerencias recibidas en la elaboración del mismo y al doctor Horacio J. Harrington por la lectura del capítulo relacionado con la estructura.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Gamba, J. L., 1968. *Interpretación geológica del área de la mina "Schlagintweit"*. Los Gigantes-Cba. CNEA. Inédito.
- González Bonorino, F., 1950. *Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas*.

Valores referentes a rumbos e inclinaciones predominantes en el área estudiada

Oeste ← ————— → Este

Rumbos predominantes	Inclinación		Inclinación		Inclinación	
	Vert. subv.	Subh. horiz.	Vert. subv.	Subh. horiz.	Vert. subv.	Subh. horiz.
N-S	×	—	—	X (P)	—	—
NNE-SSW	" X "	—	X	X (P)	—	X
NE-SW	X	—	—	X	X (P)	X
ENE-WSW	—	" X (P)	X	—	—	—
NNW-SSE	—	X (P)	X	X (P)	—	X (P)
NW-SE	X (P)	—	" X (P)	" X (P)	X	" X (P)
WNW-ESE	X (P)	—	—	—	—	X
E-W	—	—	—	—	" X (P)	X (P)
N-S	—	—	X	—	X	—
NNE-SSW	X	X (P)	—	X (P)	—	X (P)
NE-SW	X (P)	X (P)	X	X (P)	—	X (P)
ENE-WSW	—	" X (P)	X	X (P)	X	—
NNW-SSE	X (R)	X (P)	—	X (P)	—	—
NW-SE	—	X	" X "	" X "	—	—
WNW-ESE	" X "	—	X (P)	—	X	X (P)
E-W	X	X (P)	—	—	—	X
N-S	—	" X (P)	X	—	—	X (P)
NNE-SSW	—	X (P)	" X (P)	—	—	X (P)
NE-SW	—	—	—	—	—	X (P)
ENE-WSW	X	X	—	—	" X "	X
NNW-SSE	X (P)	X (P)	X	X (P)	—	X (P)
NW-SE	—	—	—	—	—	X (P)
WNW-ESE	" X (P)	—	X	—	X (P)	X (P)
E-W	—	—	—	—	—	—
N-S	X (P)	X	X	X	" X (P)	X
NNE-SSW	X	—	X	X	X (P)	X (P)
NE-SW	—	—	—	—	—	X (P)
ENE-WSW	" X "	" X "	X	X	—	X (P)
NNW-SSE	—	X (P)	—	—	—	X (P)
NW-SE	—	—	—	—	—	X (P)
WNW-ESE	X (P)	X	X	X	X (P)	X (P)
E-W	X	—	—	—	—	—
N-S	—	—	—	—	—	—
NNE-SSW	—	—	—	—	—	—
NE-SW	—	—	—	—	—	—
ENE-WSW	—	—	—	—	—	—
NNW-SSE	—	—	—	—	—	—
NW-SE	—	—	—	—	—	—
WNW-ESE	—	—	—	—	—	—
E-W	—	—	—	—	—	—

Referencias: X : presencia de diaclasas de determinado juego; " X " : presencia predominante de diaclasas de determinado juego; X (P) o " X (P) : juego de diaclasas portador de pegmatitas; — : ausencia de diaclasas de determinado juego.

CUADRO C

Síntesis del cuadro B (bajo supresión de la dimensión N-S y de la relativa a las inclinaciones)

Oeste ← _____ → Este

Rumbos predominantes

N-S.....	4 x	6 x	2 x	6 x
NNE-SSE.....	6 x	5 x	5 x	6 x
NE-SW.....	3 x	3 x	1 x	4 x
ENE-WSW.....	6 x	3 x	5 x	4 x
NNW-SSW.....	6 x	7 x	3 x	1 x
NW-SE.....	3 x	4 x	4 x	4 x
WNW-ESE.....	6 x	6 x	6 x	7 x
E-W.....	4 x	1 x	2 x	4 x

x : Indica la presencia de diaclasas de determinado juego ya referidos en el cuadro B.

CUADRO D

Oeste _____ Este

Rangos	Frecuencias				
I	Entre 6 y 7 x.				
II	Entre 4 y 5 x.				
III	Entre 2 y 3 x.				
IV	1 x.				

NOTAS BREVES

PRESENCIA DE SEDIMENTITAS DEVONICAS Y NEOPALEOZOICAS EN LA PUNA DE ATACAMA, PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA.

POR F. G. ACEÑOLAZA¹, J. L. BENEDETTO², M. KOUKHARSKY,
J. A. SALFITY² Y O. VIERA³

La presente nota tiene por objeto anunciar el hallazgo de sedimentitas fosilíferas del Devónico y Carbónico-Pérmico en la Puna salteña. Los detalles sobre estratigrafía y paleontología de dichos afloramientos serán expuestos con mayor amplitud en un trabajo que se encuentra en preparación.

Las capas que se mencionan en esta nota asoman en el ala nororiental de un sinclinal, cortado por una profunda quebrada de rumbo NE al SSE del Cerro Rincón y a escasos kilómetros del límite internacional con Chile. La ubicación geográfica aproximada de los afloramientos está dada por las coordenadas 24° 08' de latitud sur y 67° 17' de longitud oeste.

En el mencionado lugar se ha reconocido un perfil representativo de la columna local, la que está integrada de base a techo por las siguientes unidades litoestratigráficas: alrededor de 100 m de espesor aflorante de sedimentitas marinas compuestas por areniscas finas, limolitas y lutitas, de colores claros (amarillentas y verdosas). Hacia la mitad de su espesor se intercala un banco de areniscas compactas, blanco-amarillentas, que se destacan del conjunto. Corona la secuencia un banco de areniscas cuarzosas negras con abundante cemento hematítico. La mitad superior de esta unidad es fosilífera, especial-

mente el mencionado banco de areniscas blanquecinas, habiéndose reconocido una abundante fauna de invertebrados, integrada, entre otros, por:

Tentaculites sp.
Conularia quichua Ulrich
Orbiculoidea sp.
Schelwienella cf. *S. inca* (D'Orb.)
cf. *Rensselaria*
cf. *Scaphiocoelia*
cf. *Odontochile*
Metacryphaeus sp.

Esta fauna es lo suficientemente determinativa como para asignar a estas capas una edad devónica inferior.

Sobre las sedimentitas devónicas, en aparente concordancia y mediando un contacto bien definido, siguen alrededor de 200 metros de areniscas rojas de grano mediano a fino. En su base se observan niveles conglomerádicos y de areniscas sabulíticas, con clastos de distinta litología. En los niveles superiores hay bancos de lutitas y limolitas bien estratificados, de colores grises, verdosos y pardorrojizos, que contienen restos de vegetales consistentes en frondes de tipo esfenopterídeo y numerosas icnitas atribuibles a artrópodos.

Superpuestas a las areniscas rojas y constituyendo los niveles más altos expuestos en esta sección se dispone un potente conjunto de calizas laminadas, grises y ocreas, con abundantes nódulos de ftanita. El espesor de esta unidad se estima no menor de 200 metros. En

¹ Instituto Miguel Lillo, Tucumán.

² Facultad de Ciencias Naturales de Salta.

³ Dirección de Fabricaciones Militares.

esta caliza se han hallado restos fósiles de peces consistentes en dientes y mandíbulas aisladas que aun no han podido ser determinados. En los afloramientos más occidentales se han coleccionado abundantes restos de invertebrados, entre los que se destaca:

Rugosa indet.
Fenestella sp.
cf. *Meekopora*
Composita sp.
Dielasma sp.
Kochiproductus peruvianus
(D'Orb.)
Pleurotomariacea indet.

Los vegetales y trazas fósiles de los niveles superiores de las areniscas rojas

indicarían una edad carbónica superior, mientras que la fauna hallada en la caliza permite correlacionarla con el Grupo Copacabana de Bolivia (Ahlfeld y Branisa, 1960; Branisa, 1965) de edad pérmica inferior.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ahlfeld, F. y Branisa, L., 1960. Geología de Bolivia. *Publ. Inst. Bol. de Petr.* La Paz, Bolivia.
Branisa, L., 1965. Los fósiles quías de Bolivia. I: Paleozoico. *Bol. Serv. Geol. Bolivia*, N° 6, 282 pág., 80 lám. La Paz.

Recibido el 9 de mayo de 1972.

EDADES RADIMÉTRICAS DE ALGUNAS ROCAS DEL BASAMENTO DE LAS SIERRAS PAMPEANAS

MARTIN HALPERN¹

En la nota breve de González *et al.* (1971), los autores creen que el significado geológico de sus fechados K/Ar sobre rocas del basamento con bajo grado de metamorfismo y sobre rocas plutónicas graníticas asociadas (?), indicarían la edad del metamorfismo de los sedimentos originales y la edad de la intrusión de las rocas plutónicas.

Deseo hacer los siguientes comentarios:

- 1) Sin un control estratigráfico definitivo, los fechados K/Ar deben ser considerados como edades mínimas aparentes dado que ellas pueden, simplemente, representar el momento en el cual sus sistemas K/Ar se convierten en "sistemas

cerrados" en respuesta a algún evento geológico termal posterior. En un ambiente geológico tal como el de las Sierras Pampeanas, los fechados K/Ar pueden no necesariamente representar el momento inicial de recristalización y cierre de los sistemas K/Ar de las biotitas de las rocas ígneas graníticas.

- 2) Los datos Rb/Sr sobre roca total para rocas del basamento y plutonitas presumiblemente similares de las Sierras Pampeanas en la provincia de San Luis, deben ser discutidos (Halpern *et al.* 1970) dado que ellos son mucho más definitivos en lo que concierne a cualquier discusión de edad(es) de metamorfismo y plutonismo.
- 3) Deben ser dados los datos analíticos relacionados con las edades K/Ar presentadas.

¹ Universidad de Texas a Dallas, Dallas, Texas 75230, U.S.A.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS
EN EL TEXTO

González, R. R.; Kawashita, K. and Cabrera, M. A., 1971. *Edades radimétricas de algunas rocas del basamento de las Sierras Pampeanas*. Rev. Asoc. Geol. Arg., V-XXVI, nº 4, p. 527-528.

Halpern, M.; Linares, E. and Latorre, C. O., 1970. *Estudio preliminar por el método estroncio-rubidio de rocas metamórficas y graníticas de la Provincia de San Luis, República Argentina*. Rev. Asoc. Geol. Arg., v-XXV, nº 3, p. 293-302.

Recibido el 22 de junio de 1972.

COMENTARIOS BIBLIOGRAFICOS

JOSUE CAMARGO MENDES y SEPTEMBRINO PETRI: *Geología do Brasil*. Instituto Nacional do Livro. Rio de Janeiro. 1971.

Sin lugar a dudas la compilación de la geología de una región constituye una tarea muy ardua, y si pensamos que esa región no es nada menos que el territorio de Brasil, la tarea es tremenda. Algo más de treinta años han transcurrido desde la aparición de la primera obra sobre la geología de este país, escrita por A. I. de Oliveira y O. H. Leonardos. Durante ese lapso la información geológica acumulada, no sólo para Brasil, sino también para los países limítrofes, ha sido extraordinaria. Gracias al esfuerzo por conocer sus recursos y a la nueva red de caminos, Brasil quedó abierto a la exploración de sus fuentes naturales. Simultáneamente se ha operado una transformación en el conocimiento geológico, tal que la controversia sobre ciertas hipótesis o teorías geotectónicas ha llevado a una pléyade de geólogos y geofísicos a explorar nuevas regiones, a controlar o replantear estas hipótesis buscando nuevas respuestas a viejos problemas. Todo ello ha enriquecido el conocimiento geológico gracias al aporte de estudiosos tanto americanos como extranjeros.

La obra que se comenta ha sido escrita por dos colegas, profesores de la Universidad de San Pablo, hábiles y muy conocedores de su territorio y sus problemas, constituye un ejemplo de síntesis geológica. El libro en formato de 21 x 28 se divide en diez capítulos profusamente ilustrados. El primero de ellos es una recopilación histórica de las investigaciones geológicas de Brasil, desde los trabajos de los hermanos Andrada en 1790 hasta la actualidad, enumerando los distintos grupos de investigación. El capítulo 2 es una corta introducción a la geología de Sudamérica, siguiendo el esquema de regiones morfoestructurales de Harrington (1962). Los capítulos siguientes se desarrollan siguiendo un esquema no tradicional, que le confiere gran valor al libro. Desarrolla entonces el "Basamento", considerado por datación absoluta, desde el Precámbrico (medio?) hasta el Ordovícico superior, dando una síntesis muy útil de las subdivisiones de este complejo, pilares en los que se desarrollarán luego las cuencas paleozoicas y mesozoicas. Así, en los capítulos siguientes, 4-7, se tratan, en forma muy adecuada, las grandes cuencas paleozoicas: Amazonas (1.250.000 km²), Paranaíba (600.000 km²) y Paraná (1.000.000 km²), desde el Silúrico en adelante. Por su importancia, la cuenca del Paraná se desarrolla en dos capítulos, uno correspondiente al intervalo Silúrico-Devónico y otro a las formaciones gondwánicas.

Los últimos años han sido muy fructíferos en dataciones radimétricas de rocas precámbricas, en especial por el grupo de geólogos del Laboratorio de Geocronología de San Pablo. Dado el tiempo transcurrido entre presentación y publicación de este libro, esta información valiosa no ha podido ser incluida.

En el Capítulo 8 se trata extensamente el Cretácico, si bien éste ha sido descrito someramente en capítulos previos, pues constituye un intervalo sumamente documentado en cuanto se refiere a faunas y magmatismo.

Las formaciones cenozoicas se discuten en el capítulo siguiente, especialmente sus faunas de mamíferos. Finalmente la obra termina con un capítulo dedicado íntegramente a los recursos minerales desde carbón y petróleo hasta nucleares y piedras preciosas.

Cada capítulo contiene una bibliografía general y toda la obra está acompañada de una muy extensa serie de buenas ilustraciones, a veces a página entera, mapas, perfiles, láminas y fotos que la enriquecen. Finaliza el libro con un índice general muy completo. En total 207 páginas, con dos mapas, que representa una labor muy útil y objetiva, en especial para los geólogos sudamericanos. La obra fue editada por el "Instituto Nacional do Livro" dependiente del Ministerio de Educación y Cultura. — A. J. Amos.

Recibido el 16 de mayo de 1972.

KAISER, KARLHEINZ (Ed.). *Glazialmorphologie*. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. 8, 147 p., 72 ilustr., 5 lám. Stuttgart, 1969.

Con motivo de la celebración del Congreso del INQUA en París, los Zeitschrift für Geomorphologie (Anales de Geomorfología) publicaron un volumen suplementario con trabajos vinculados al tema general de la morfología glacial. Si bien los aspectos tratados son muy diversos, el conjunto de los trabajos logra constituir un compendio sobre los problemas concernientes a la geomorfología glacial que son objeto de estudio por parte de los geomorfólogos alemanes.

Las contribuciones presentan todas un amplio resumen en inglés y francés, circunstancia que, a no dudarlo, favorecerá la difusión de su contenido. El detalle de los artículos es el siguiente: W. Pilliwizer, "El movimiento de un glaciar y su impacto sobre la superficie terrestre" (pp. 1-10); D. Barsch, "El estudio y medición de los glaciares de roca en Macun, Engadin inferior" (pp. 11-30); F. Mayr, "Variación postglacial de los glaciares en el área del Monte Blanco" (pp. 31-57); E. Grotzbach y C. Rathjens "La glaciación de las montañas Hindu Kush de Afganistán en el presente y en el último período pleistocénico" (pp. 58-75); H. Wilhelmy "El 'Urstromtal' sobre el borde oriental de la planicie de inundación del Indus y el problema del Sarasvati" (pp. 76-93); E. Gerber, "El origen y la forma de los pináculos y paredes rocosas en los Alpes" (pp. 94-118); G. Abele, "Áreas de deslizamiento que han sido remodeladas por el hielo" (pp. 119-147). Todos los trabajos están ampliamente ilustrados mediante mapas geomorfológicos, diagramas y fotografías en blanco y negro, todo lo cual ha logrado una armonía de conjunto que lo proyecta como un texto específico del tema abordado, el cual será de gran utilidad para los geomorfólogos que se ocupan de las regiones vinculadas de alguna manera con la actividad desarrollada por los helos.—Prof. Dr. Augusto Pablo Calmels y Lic. Celestino M. Esteban.

Recibido el 15 de julio de 1972.

GOGUEL, J., *Application de la Géologie aux travaux de l'Ingénieur*. Masson et Cie, 2ª ed. revisada y corregida, 374 p., 118 figs. París, 1967.

Considerando el nivel alcanzado actualmente por la técnica, no podría emprenderse ninguna obra vinculada con los trabajos públicos sin que se efectúe previamente un adecuado estudio geológico. A este respecto, el libro de Goguel se propone ayudar al geólogo a resolver los problemas que puedan plantearle los ingenieros.

Los métodos de estudio y de reconocimiento son tratados en la primera parte, abarcando los sondeos, tanto continentales como marinos, y la geofísica. En la segunda parte, el autor efectúa una revisión de las propiedades de las rocas que interesan en la construcción: comportamiento hidrológico, régimen de las aguas subterráneas, propiedades térmicas y aplicación a la energía geotérmica. También se profundiza allí el estudio de las propiedades mecánicas, tanto de las rocas *in situ* como de las que han sido extraídas y colocadas en obra como materiales de construcción, tratándose los fenómenos térmicos y las alteraciones. La tercera y última parte está dedicada a los fenómenos geológicos que siguen produciéndose, y pueden llegar a desempeñar un papel importante, durante el tiempo previsto para la obra.

Especialmente dedicado a los geólogos, este libro puede ser leído con gran provecho por los ingenieros, a quienes ayudará a comprender mejor el significado y el alcance de las indicaciones que le proporcionan aquéllos.—Prof. Augusto Pablo Calmels y Lic. Olga C. Carballo.

Recibido el 15 de julio de 1972.

CHILIMGAR, G. V., BISSEL, H. J. y FAIRBRIDGE, R. W. (Editores). *Carbonate Rocks; physical and chemical aspects*. Elsevier (1967), 412 p., 80 figs. y 70 cuadros.

Corresponde al segundo volumen de una obra dedicada a las Rocas Carbonáticas, perteneciente a la colección "Developments in Sedimentology", en el cual los autores, que se cuentan entre los mejores especialistas del mundo en la materia, tratan sobre el origen, modo de yacimiento, clasificación, composición, propiedades físicas y químicas, utilización y métodos de análisis del mencionado tipo de rocas.

Dirigido especialmente a los carbonatos de baja temperatura, este libro integra una cantidad importante de datos, ideas y conceptos existentes sobre este sujeto y, aun cuando los aspectos científicos sean tratados allí en detalle, no se adjudica un lugar menos importante a los problemas económicos y a las utilizaciones prácticas de los carbonatos.

La composición química y sus factores determinantes son tratados en el Cap. 2 por K. H. Wolf, G. V. Chilingar y F. W. Beales, en tanto que los problemas fisicoquímicos de la formación de las calizas constituyen el tema del Cap. 3, en el cual W. H. Taft se refiere a la evolución del sistema aragonita-calcita-calcita magnésica-dolomita. El Cap. 4 está consagrado a una síntesis, por parte de K. Jinhwa, sobre los conocimientos actuales referidos al delicado problema de la formación de la dolomita. Una interesante revisión de las conclusiones que se pueden extraer del estudio de la distribución de los isótopos estables en los carbonatos es proporcionada, en el Cap. 5, por E. T. Degens, mientras que B. Mamet y M. d'Albissin, en el Cap. 6, tratan la influencia de la presión y de la temperatura sobre las rocas calcáreas y abordan el difícil problema del metamorfismo. Al origen del petróleo en las rocas carbonáticas está dedicado el Cap. 7, desarrollado por J. M. Hunt. Las técnicas corrientemente empleadas para el análisis de las rocas carbonáticas constituye el tema del Cap. 8, que es abordado por K. H. Wolf, A. J. Eatson y S. St. J. Warne. Por último, los aspectos económicos y las utilizaciones prácticas son analizados por F. R. Siegel en el Cap. 9.

Tanto por la variedad e importancia de los temas tratados como por la calidad y el número de los resultados expuestos en este volumen, la obra resulta de permanente consulta para los sedimentólogos.—*Prof. Dr. Augusto Pablo Calmels y Lic. Héctor E. Aldacour.*

Recibido el 15 de junio de 1972.

ESTE NUMERO
SE TERMINO DE IMPRIMIR EL 26 DE DICIEMBRE DE 1972
EN LA IMPRENTA CONI S. A. C. I. F. I., PERU 684
BUENOS AIRES, REPUBLICA ARGENTINA

**El presente trabajo se ha financiado con un subsidio del
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas,
que no se hace responsable del contenido del mismo**

ASOCIACION GEOLOGICA ARGENTINA

COMISION DIRECTIVA: *Presidente:* DR. PEDRO N. STIPANICIC; *Vicepresidente:* DR. HORACIO H. CAMACHO; *Secretario:* DR. ROBERTO CAMINOS; *Tesorero:* DR. FÉLIX RODRICO; *Vocales Titulares:* DR. ENRIQUE LINARES, DR. ANÍBAL POZZO y DR. OMAR VICENTE; *Vocales Suplentes:* DR. JUAN C. RIGGI, LIC. CÉSAR FERNÁNDEZ GARRASSINO y DR. CARLOS LATORRE.

COMISION DE LA REVISTA: DOCTORES PEDRO N. STIPANICIC, JUAN CARLOS M. TURNER y ROBERTO CAMINOS.

DIRECTOR DE LA REVISTA Y PUBLICACIONES: DR. PEDRO N. STIPANICIC.

INSTRUCCIONES Y NORMAS A LOS AUTORES PARA LA PRESENTACION DE ORIGINALES

1. Se recomienda que los trabajos no excedan en extensión las 30 páginas (tamaño carta), escritas a máquina. Se aceptarán trabajos más extensos cuando se disponga de espacio y/o el contenido de los mismos así lo justifique.
2. Los originales, sin excepción, deben ser escritos a máquina, a espacio normal, sobre un solo lado de la hoja.
3. Invariablemente, debe presentarse un "Resumen" en español, con su traducción en inglés, francés o alemán, sugiriéndose el uso del primer idioma citado.
Se recomienda que el "Resumen" no exceda las 150 palabras.
4. La lista bibliográfica llevará por título: "Lista de trabajos citados en el texto". Será confeccionada por orden alfabético, según sus autores y en orden cronológico cuando se citen varias obras del mismo autor. Si dos o más obras del mismo autor han sido publicadas en el mismo año, se distinguirán con las letras *a*, *b*, *c*, etc. Las respectivas citas llevarán las indicaciones siguientes: apellido completo e iniciales del nombre del autor; año de la publicación; título completo de la obra; lugar de publicación. Tratándose de artículos aparecidos en publicaciones periódicas, se incluirá el nombre de las mismas convenientemente abreviado, con indicaciones del tomo y la página en que dicho artículo se encuentra. Se evitará el uso de términos superfluos tales como tomo, volumen; páginas, etc. A este efecto y para evitar confusiones, los números para distinguir los tomos se escribirán en caracteres romanos y aquellos referentes a las páginas en caracteres arábigos.
5. Las citas bibliográficas deberán ser incluidas en el texto y referirse a la lista bibliográfica inserta al final de cada artículo, invariablemente.
6. Las ilustraciones deben cumplir los siguientes requisitos.
 - a) No podrán exceder, en superficie, el 10 % del total de páginas ocupadas por el texto (incluyendo bibliografía).

(Continúa en la retirada de la contratapa)

Toda correspondencia para la Asociación Geológica Argentina, deberá ser dirigida a

MAIPU 645, Piso 1º, Buenos Aires (Rep. Argentina)

La Asociación Geológica Argentina no se hace responsable de las opiniones y/o conclusiones vertidas por los autores de los trabajos. — C. D.

La Comisión Directiva sólo considerará la posibilidad de aceptar una mayor proporción de ilustraciones en casos especiales.

- b) Los planos, mapas, perfiles, etc., deberán ser dibujados sobre papel blanco cartográfico o transparente, de buen cuerpo, con tinta china negra.
Se recomienda el dibujo a doble tamaño con respecto al de su publicación, a los efectos de obtener una reproducción y reducción adecuada.
- c) El tamaño de las ilustraciones a publicar no debe exceder las dimensiones máximas de la caja (13,5 x 19 cm), recomendándose que se respete dicha relación de medidas.
- d) Los planos, perfiles, mapas, etc., deben llevar invariablemente la o las respectivas escalas gráficas; no se aceptará la escala numérica.
- e) Los planos de ubicación que comprendan parte del territorio argentino, deben incluir, invariablemente, la plantilla del país con el sector antártico argentino, dibujado en cualquier espacio libre.
- f) En las ilustraciones lineales que deban reproducirse a igual tamaño, la altura mínima de las letras será de 1,5 mm. En caso de uso de rastras, se recomienda las de tipo abierto (mínimo 2 mm entre líneas o puntos), a los efectos de evitar el empastamiento en la impresión.
- g) Cuando los dibujos lineales se presenten a doble tamaño (para su reducción a la mitad), la altura mínima de las letras será de 3 mm, recomendándose el uso de rastras más abiertas que las señaladas en el punto anterior.
- h) Todas las letras contenidas en las ilustraciones deberán ser dibujadas con caracteres cartográficos, recomendándose el uso de letrógrafos (normógrafos).
- i) Las denominaciones de accidentes topográficos, hidrográficos, etc., (cerros, ríos, etc.), como así también sus abreviaturas, deben responder estrictamente a las normas del Instituto Geográfico Militar.
- j) En las ilustraciones lineales y especialmente en los planos y perfiles, se recomienda el mayor aprovechamiento posible de los espacios, evitándose las superficies en blanco, las que deben ser utilizadas para las observaciones, leyendas, etc.
- k) Los títulos, como "Mapa Geológico...", "Perfil transversal...", etc., sólo podrán incluirse en las ilustraciones cuando las mismas tengan espacios libres, permitiendo hacerlo sin aumentar su dimensión. En caso contrario, se colocarán a imprenta al pie de las ilustraciones.
- l) Los perfiles de largo excesivo deberán ser fraccionados y las partes resultantes ordenadas para confeccionar láminas a página entera.
- m) Las fotografías de cortes microscópicos, fósiles, etc., deberán presentar muy buen contraste y sólo deben comprender el objeto que se desea ilustrar. En los casos que corresponda, indefectiblemente deben llevar la escala gráfica.
- n) Cuando las ilustraciones se deben intercalar en el texto (no constituyendo láminas completas), se recomienda que su ancho corresponda con el de 1 ó 2 columnas.

Las ilustraciones que no respondan a los requisitos anteriores no serán aceptadas.

7. No se admitirán ilustraciones a dos o más colores. El autor que las desee, deberá hacerse cargo del gasto completo que demanden las mismas, de acuerdo con el presupuesto que formule la IMPRENTA CONI.
8. Los autores subrayarán con línea los vocablos que deban ser compuestos en bastardilla; con línea cortada los que deban ir en versalita y con línea doble los que deban ser compuestos en negrita.
9. La Asociación Geológica Argentina entregará a los autores 25 separados, sin cargo. Los autores que deseen un número mayor, deberán indicarlo claramente en la prueba y los mismos correrán por su cuenta. El pago de los separados extra debe realizarse invariablemente dentro de los 60 días a partir de su entrega. Cuando se trate de más de un autor de un trabajo, se mantendrá la entrega gratuita de 25 ejemplares únicamente.

LIBRART S. R. L.

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS DE LAS PUBLICACIONES
DE INSTITUCIONES Y SOCIEDADES CIENTIFICAS ARGENTINAS

Comisión de Investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires

INDICE BIBLIOGRAFICO DE ESTRATIGRAFIA ARGENTINA

Dirigido y editado por el doctor ANGEL V. BORRELLO, 1966, 638 págs., con aproximadamente 4500 citas comentadas.

En un nuevo esfuerzo de labor específica la Comisión de Investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires ha dado término a la preparación de esta obra, primera en su género en el país, ejecutada conforme a las exigencias del más moderno trabajo geológico.

Componen el trabajo más de 4500 citas de autor con sumaria explicación del contenido bibliográfico, distribuidas en sucesivas secciones, que estuvieron a cargo de colaboradores experimentados en la materia.

Se compone del temario siguiente:

PRECAMBRICO por Dr. R. A. Zardini
CAMBRICO por Dr. A. V. Borrello
ORDOVICICO por Dr. J. C. M. Turner
SILURICO por Dra. H. A. Castellaro
DEVONICO por Dr. G. Furque
CARBONIFERO por Dr. A. J. Amos
PERMICO por Geól. R. D. Pernas

TRIASICO por Dr. J. A. Cuerda
JURASICO por Geól. O. C. Schauer
CRETACICO por Dr. C. I. C. de Ferrariis
TERCIARIO por Dres. S. J. Licciardo y
C. I. C. de Ferrariis
CUATERNARIO por Dr. A. N. Xicoy

La labor abarca principalmente el material bibliográfico publicado en el país, complementado por referencias de carácter inédito, todo ello con vistas a satisfacer las necesidades del conocimiento sistemático de la bibliografía argentina.

Con el *Indice Bibliográfico de Estratigrafía Argentina* queda expuesto en su mayor parte el volumen importante que caracteriza el acervo estratigráfico de la Argentina, por lo cual la tarea configura en su magnitud una expresión de la actividad geológica en el país, ampliada hasta el presente.

VENTA EXCLUSIVA:

LIBRART S. R. L.

CORRIENTES 127
(EDIFICIO BOLSA DE CEREALES)
BUENOS AIRES

T. E. 31 - 4368
Dirección Postal:
Casilla de Correo 5047

Toda la correspondencia referente a suscripciones, colecciones o números sueltos de esta Revista, deberá dirigirse a LIBRART S. R. L., Corrientes 127, Buenos Aires, República Argentina, representantes y distribuidores para toda la República Argentina y el exterior.