*ALGUNOS ASPECTOS DE LA SEDIMENTACION RECIENTE EN EL GOLFO DE CALIFORNIA **

TJEERD H. VAN ANDEL **

Los primeros estudios oceanográficos en el Golfo de California fueron llevados a cabo en el barco de investigación "E.W. Scripps" durante 1939 y 1940. Los resultados geológico-marinos de ese crucero fueron publicados en Shepard (1950), Revelle (1950); y Byrne y Emery (1960). En 1959 se inició en esa área una investigación geológica y geofísica en gran escala, con la "Vermillon Sea Expedition", de la Institución Scripps de Oceanografía, de la Universidad de California, en colaboración con el Instituto de Geología, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Desde entonces se ha hecho intermitentemente trabajo adicional y están en progreso estudios posteriores.

El programa original de la investigación de los sedimentos marinos comprendió numerosos objetivos. Aquí se discuten sólo dos de ellos: la dirección de origen y transporte de sedimentos terrígenos y el estudio de las facies sedimentarias en cuencas profundas y sus taludes. Van Andel (prensa) publicará un informe detallado de todos los aspectos de los estudios de los sedimentos realizados en 1959.

Los estudios recientes de sedimentación en geosinclinales antiguos han llevado al concepto de relleno longitudinal de cuencas alargadas (Kuenen, 1957). Se cree que el sedimento es derivado principalmente en un extremo de las cuencas largas y angostas, siendo transportado paralelamente al eje de la cuenca, por deltas progresivos o, en aguas profundas, por corrientes de turbidez.

El Golfo de California es una cuenca larga, angosta, constreñida aproximadamente en su parte media, por numerosas islas grandes. La porción

* Este estudio fue patrocinado por donativos para investigación de la Oficina de investigación Naval y el Instituto Americano del Petróleo.

** Institución Scripps de Oceanografía, Universidad de California, La Jolla, Calif., E. U. A.

norte es generalmente somera (menos de 400 m) y tiene poco relieve, con excepción de una cuenca profunda que alcanza una profundidad mayor de 1,500 m. La parte sur es mucho más profunda, y está compuesta de una serie de cuencas separadas por crestas submarinas. De norte a sur, la cuenca más profunda aumenta a 975 a 3,900 m y la profundidad de la cresta aumenta de 820 a 2,600 m. En sección transversal, la porción sur es marcadamente asimétrica, con una plataforma angosta y un talud escarpado irregular en el lado occidental y una llanura costera y plataforma anchas, con un suave talud en el lado oriental. Siendo una cuenca angosta, larga y profunda, con una fuente principal de sedimento (el Río Colorado) en la cabeza, el Golfo de California es un sujeto adecuado para probar la hipótesis de relleno longitudinal antes citada.

La fuente de sedimento del Golfo de California está irregularmente distribuida. Gran parte de las áreas que lo bordean, incluyendo el margen occidental completo, son muy áridas, y el sedimento es vaciado al Golfo por flujos ocasionales en abanicos aluviales y por la erosión de la costa. El Río Colorado es una fuente principal, proporcionando un 48% estimado, del sedimento total aportado. El margen oriental, al norte de Guaymas, es árido y los ríos son estacionales, con aporte de sedimento intermitente. Al sur de Guaymas las corrientes permanentes son numerosas, y algunos ríos (Yaqui, Mayo y Fuerte) tienen considerable importancia. Los tres ríos citados en conjunto proporcionan aproximadamente el 27% del total de los sedimentos.

Los estudios de minerales ligeros y pesados en los sedimentos del Golfo, permiten la determinación del origen de la mayor parte de los depósitos. Petrográficamente, las fuentes principales de los sedimentos del Golfo son batolíticas, volcánicas o mixtas de volcánicos y batolíticos. Sólo unos cuantos ríos (Colorado, Concepción y Sonora) drenan extensas áreas de rocas sedimentarias. Como resultado, se encuentran tres conjuntos minerales principales; a) una asociación de anfíbola derivada de los grandes batolitos; b) una asociación de hornblenda pyroxeno-basáltica derivada de volcánicos del Terciario (Formación Comondú y equivalentes); c) asociaciones mixtas, conteniendo los componentes citados, con mezcla de minerales derivados de fuentes sedimentarias y metamórficas, como granate, turmalina y zircón. Los sedimentos derivados de fuentes batolíticas son ricos en feldespatos y constituyen verdaderas arcosas; aquellos derivados de volcánicos contienen abundantes fragmentos de rocas volcánicas y grawacas. Algunos sedimentos cuarzosos más, son aportados por los ríos Colorado y Concepción.

Sin embargo, la variedad de minerales está restringida y comúnmente se presentan combinaciones de mezclas, pudiendo establecerse numerosas aso-

Fig. 1.—Provincias de minerales pesados en el Golfo de California. Para la descripción de las asociaciones de minerales pesados véase tabla 1.

TABLA 1

COMPOSICION PROMEDIO ($\bar{X}$ MEDIA) y VARIABILIDAD (σ , DESVIACION STANDARD) DE LAS ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Asociación	Turmalina	Granate	Epidota	Anfibola	Basaltica Hornblenda	Augita	Hypersstheno	Titanita	Olivino	Otros
Anfibola SAN LUCAS	$\bar{X}$ 0.2 σ 0.4	0.4 0.6	11.0 4.8	69.5 8.4	1.3 1.3	9.4 5.6	3.3 3.3	1.7 1.2	0.2 0.2	2.9 2.3
Anfibola BAJA CALIFORNIA	$\bar{X}$ 0.6 σ 1.2	0.5 0.7	4.5 3.5	71.0 11.0	2.7 3.1	8.4 5.4	4.8 5.1	4.1 3.5	0.3 2.0	1.9 1.4
Augita BAJA CALIFORNIA	$\bar{X}$ 0.1 σ 0.3	0.1 0.3	3.3 3.5	14.7 3.6	11.5 5.5	54.6 4.5	12.0 4.2	1.1 0.5	0.1 0.3	1.1 1.5
Hypersstheno BAJA CALIFORNIA	$\bar{X}$ σ	 	1.5 0.7	7.8 4.8	5.7 2.8	52.0 10.0	31.7 7.7	0.2 0.4	0.7 0.8	0.5 0.8
Epidota CONCEPCION	$\bar{X}$ 3.0 σ 1.4	5.2 1.7	44.2 5.6	27.2 6.0	2.3 1.1	6.5 1.5	2.0 1.4	0.3 1.3		6.7 2.7
COLORADO	$\bar{X}$ 2.3 σ 1.5	3.3 2.4	18.3 4.8	43.3 5.5	4.5 3.0	14.5 5.5	5.5 3.7	2.9 2.0	0.1 0.7	6.1 2.4
BAHIA KINO	$\bar{X}$ 0.8 σ 0.4	4.5 2.5	22.8 7.1	39.9 6.0	5.1 3.2	13.8 5.2	4.3 5.0	4.1 2.8		5.6 2.1
RIO YAQUI	$\bar{X}$ 1.2 σ 0.9	2.3 2.1	20.0 6.2	28.1 4.3	4.9 2.4	31.3 6.2	4.6 2.1	3.4 1.4	0.1 0.9	4.1 3.2
RIO FUERTE-NAYARIT	$\bar{X}$ 0.5 σ 0.7	2.5 2.3	24.6 6.7	42.2 6.7	2.0 1.9	18.0 5.5	3.6 2.4	2.1 0.9		4.4 2.4

ciaciones minerales (tabla 1). La distribución regional de esas asociaciones minerales (Fig. 1) muestra que los sedimentos en la porción norte del Golfo, son primariamente proporcionados por el Río Colorado. Fuentes laterales de sedimento son evidentes solo en angostas zonas marginales. Sin embargo, el sedimento del Río Colorado, no avanza atrás de la cresta al oeste de la Isla Tiburón.

En el sur del Golfo, parece ser que la fuente de sedimentos son exclusivamente los lados. A lo largo del margen occidental, se encuentra una zona relativamente angosta de sedimentos volcánicos, bordeando los escarpes de la Formación Comondú de la parte central de la Península (Provincia de Augita de Baja California), mientras el batolito de granito del sur de la Península está rodeado por una aureola de arcosa en una asociación con anfíbola (Provincia de San Lucas). A lo largo del lado oriental, hay numerosas provincias, están conectadas a menudo con una corriente importante y se siguen unas a las otras en sucesión rápida, desde la Provincia Bahía Kino que contiene granate, fuera de la costa de Hermosillo en el norte, hasta la Provincia de la Costa de Nayarit en el sur.

El contacto entre los sedimentos orientales y occidentales está bien localizado en el oeste del eje de Golfo, al pie del talud occidental. Consecuentemente las cuencas del Golfo son rellenadas fundamentalmente con sedimentos derivados del lado oriental. La amplia llanura costera oriental, los deltas rápidamente progradantes de los Ríos Yaqui, Mayo y Fuerte y el largo y liso talud continental, sugieren fuertemente que el Golfo está siendo llenado rápidamente desde el este. Por lo tanto, el Golfo de California no representa un caso de relleno longitudinal, según el postulado de Kuenen.

El segundo problema a discutir concierne a la existencia y causas de las diferencias entre las facies de depósito en los taludes y piso de las cuencas profundas del Golfo. Por debajo del borde de las plataformas continentales, los depósitos del Golfo son casi siempre de grano fino y varían desde arcillas limosas hasta arcillas. Se han encontrado, sólo en un número relativamente pequeño de núcleos de aguas profundas, capas delgadas de arena fina, que posiblemente fue depositada por corrientes menores de turbidez.

En la porción central del Golfo, el material silíceo de origen biógeno, especialmente diatomeas, forma una parte importante de todos los sedimentos de aguas profundas, a veces más del 50% (comunicación verbal de S. Calvert). En la porción más al sur, los sedimentos de aguas profundas son predominantemente terrígenos. Otros componentes biógenos de importancia son: foraminíferos, radiolarios y materia orgánica de grano fino.

Las distribuciones regionales de restos de diatomeas grandes (mayores

que 0.062 mm) y de carbón orgánico se muestran en las figuras 2 y 3. En ambos casos, los componentes biógenos parecen estar altamente concentrados en los taludes del Golfo, pero no en las cuencas. Similares normas de distribución se encuentran en los radiolarios y foraminíferos bentónicos. No obstante, muchos de los sedimentos diatomáceos de la porción central del Golfo, son finamente laminados y consisten en capas delgadas de sedimento blanco, altamente diatomáceo y oscuro más arcilloso, alternantes, con promedio de pocos milímetros de espesor. El origen de las laminaciones no está aun completamente entendido, pero su distribución parece estar virtualmente restringida a áreas de talud.

Por lo tanto, la presencia de laminación y la abundancia de componentes biógenos gruesos y materia orgánica, es muy útil para distinguir entre facies de talud y de cuenca. Por otro lado, la cantidad total de ópalo biógeno de todos tamaños, principalmente derivado de diatomeas, aparentemente no está relacionado con depósitos de talud; hasta donde se conocen, los depósitos de talud y de cuenca tienen cantidades similares de ópalo.

La alta concentración de ópalo biógeno en la parte central del Golfo es resultado de un sistema peculiar de circulación. Durante el invierno y la primavera, los fuertes vientos, predominantes del noroeste producen una corriente de superficie que lleva el agua del Golfo de California hacia el Pacífico y causa extensas surgencias, principalmente a lo largo del lado oriental. En el verano, los vientos del sureste producen surgencias menos extensas a lo largo del lado occidental. El agua de las surgencias es fría, rica en nutrientes y sílice disuelto; produce enorme crecimiento de plancton, principalmente diatomeas. Después de morir, los frústulos de diatomeas son distribuidos sobre todo el Golfo por las corrientes y finalmente depositados. El agua del Pacífico, rica en sílice, entra bajo la superficie donde ese sílice es removido por las diatomeas. El agua agotada de la superficie es regresada al Pacífico, y el ópalo diatomáceo depositado en los sedimentos. Se ha medido en la Cuenca de Guaymas, una velocidad de sedimentación de no menos de 260 cm en 1000 años, como el efecto combinado de depósito de diatomeas y de sílice así como arcilla del Río Yaqui.

A profundidad intermedia, las aguas del Golfo muestran un marcado mínimo de oxígeno. Entre 200 y 1,500 m el agua contiene menos de 0.5 ml/L de oxígeno. Una parte considerable del fondo del Golfo está situado entre esos límites de profundidad (Fig. 4) y tiene insuficiente oxígeno para soportar mucha vida. La zona de bajo oxígeno cerca del fondo coincide estrechamente con la distribución de sedimentos laminados y de alta materia orgánica. Por lo tanto, puede asumirse que en esta zona, las laminaciones de

Fig. 2.—Distribución regional del ópalo grueso biógeno (grandes diatomas y radiolarios) en porcentaje por peso total de la muestra.

Fig. 3.—Distribución regional del carbón orgánico, en porcentaje del peso total de la muestra.

Fig. 4.—Arca (acharcada) donde el agua del fondo del Golfo de California contiene menos del 0.5 ml/L de oxígeno.

materia orgánica están bien preservadas, mientras que en las cuencas más profundas, son destruidas por organismos excavantes vivientes, en las aguas del fondo más altamente oxigenadas. Esto implica que cuando se depositaron originalmente, la mayor parte de los sedimentos de la parte central del Golfo fueron laminados y ricos en materia orgánica.

El que los foraminíferos bentónicos y las diatomeas grandes estén concentrados en los taludes no ha sido explicado en esta hipótesis. Los foraminíferos bentónicos son relativamente abundantes en relación a otros componentes de la fracción arenosa. Su concentración en taludes se debe probablemente sólo a un rápido recrecimiento en la cantidad de arena terrígena a medida que aumenta la distancia de la fuente de sedimentos. Por otro lado las diatomeas grandes y radiolarios, se encuentran en un alto porcentaje en los taludes con respecto al sedimento total, y por lo tanto están absoluta y no sólo relativamente concentrados. Esto sugiere que quizás durante el transporte desde las zonas principales de producción de plancton cerca de las márgenes del Golfo se presenta una selección, de tal modo que los elementos gruesos son depositados en los taludes y los finos en las cuencas.

Este estudio que aquí se ha presentado sólo de una manera breve, planteó más problemas de los que se resolvieron. Se requieren estudios detallados posteriores de distribución de los sedimentos, productividad orgánica y circulación del agua, para un entendimiento cabal de la sedimentación en el Golfo de California que ofrece un laboratorio natural excelente, para estudios de sedimentación en cuencas profundas, encerradas por tierra.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BYRNE, J. V. (1957). *The Marine Geology of the Gulf California*. Ph. D. Dissert. Univ. Southern California, Los Angeles (inédito).
- BYRNE, J. V. and EMERY, K. O. (1960). *Sediments of the Gulf of California*. Bull. Geol. Soc. America, v. 71, n. 7 p. 983-1010.
- KUENEN, P. H. (1957). *Longitudinal Filling of Oblong Basins*. Kon. Nederland Geol. Hijnbouw. Gen Verhand v. 18, p. 189-196.
- REVELLE, R. R. (1950). *1940 E. W. Scripps Cruise to the Gulf of California; Part V, Sedimentation and Oceanography; Survey of Field Observations*. Geol. Soc. America, Mem. 43, p. 1-6.
- SHEPARD, F. P. (1950). *1940 E. W. Scripps Cruise to the Gulf of California; Part III, Submarine Topography of the Gulf of California*. Geol. Soc. America, Mem. 43, p. 1-32.
- VAN ANDEL, T. J. H. *Recent Marine Sediments of the Gulf of California*, in "Marine Geology of the Gulf of California". American Assoc. Petrol. Geol., Mem., (en prensa).