

NOTAS Y NOTICIAS

MARGEN CONTINENTAL DE COLISION ACTIVO EN LA PARTE SUROCCIDENTAL DEL GOLFO DE MEXICO

Zoltan de Cserna¹

INTRODUCCION

Entre los datos geológicos y geofísicos publicados sobre la región correspondiente a la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México, recolectados y seleccionados para la elaboración de la nueva carta tectónica de México que el Instituto de Geología proyecta editar para la conmemoración del centenario de su fundación, se encontraron relaciones tectónicas indicativas de la presencia de un margen continental de colisión activo en la región suroccidental del Golfo de México, las cuales hasta la fecha no han sido señaladas ni comentadas, a pesar de que su reconocimiento salta a la vista durante un ejercicio simple de lectura de cartas geológicas o tectónicas. El propósito de esta nota es presentar en forma breve los rasgos tectónicos a partir de los cuales se definen estas relaciones, complementándolos con información geofísica y petrolera que pudiera apoyar a éstas, ofreciendo un nuevo modelo tectónico preliminar sobre esta región de México.

LOS RASGOS TECTONICOS

Fueron Bryant y colaboradores (1966) los primeros en señalar la existencia de un cinturón plegado, que se extiende en forma aproximadamente paralela a la costa actual del Golfo de México sobre el talud continental entre las latitudes de la desembocadura del Río Bravo y del puerto de Veracruz. Jones y colaboradores (1967) y Bryant y colaboradores (1968) presentaron mapas, secciones y descripciones de este cinturón plegado entre las latitudes 26° 00' y 20° 30' N, denominándolo en inglés como *Mexican Ridges Foldbelt*².

Desde 1968, numerosos investigadores ampliaron el conocimiento de este tramo del cinturón plegado (Emery y Uchupi, 1972; Garrison y Martin, 1973; Buffler *et al.*, 1979a y 1979b), pero fueron Moore y del Castillo (1974) quienes extendieron su levantamiento efectivo hacia el sur, hasta la latitud 18° 45' N. La Figura 1a muestra los rasgos estructurales a partir de las contribuciones antes citadas.

A diferencia de los datos publicados por Bryant y colaboradores (1968), Moore y del Castillo (1974) presentaron datos más cercanos a la costa, incluyendo cuatro estructuras plegadas sobre la plataforma continental y varias fallas paralelas al borde de ésta sobre la parte alta del talud continental. También merecen mención los tres supuestos volcanes submarinos que se ubican prácticamente sobre el borde de la plataforma.

La orientación general del cinturón plegado, es decir, de la Cordillera Ordóñez, es N-S con variaciones menores producidas por las salientes y recesos, o bien por posibles fallas de desplazamiento lateral como ocurre a la altura de Tampico. En cambio, los pliegues que se localizan sobre la plataforma continental al sur de la latitud 20° 30' N son netamente oblicuos a la dirección que siguen los pliegues en este tramo de la Cordillera Ordóñez, teniendo una orientación N 30 - 40° W, como también las fallas que están en esta región prácticamente sobre el borde de la plataforma continental.

Watkins y colaboradores (1976) y Buffler y colaboradores (1976b) señalaron la presencia de cabalgaduras en la Cordillera Ordóñez, formando estructuras imbricadas con tendencia estructural (*Vergenz*) hacia el oriente y un sistema de fallas de crecimiento inmediatamente al poniente de la cordillera. La secuencia sismoestratigráfica involucrada en la deformación es del Terciario inferior-Holoceno y alcanza unos 4,000 m de espesor, a juzgar por las líneas sísmicas publicadas.

En cuanto a la estructura de la plataforma continental, el estudio de Bryant y colaboradores (1968, p. 1215) no aportó datos directos; sin embargo, indica que los pliegues sí fueron detectados bajo sedimentos en esta zona. Tampoco Moore y del Castillo (1974) ofrecen explicación referente a la estructura de la plataforma continental al sur de la latitud 20° 30' N, ni a los cuatro pliegues que señalan en su figura 10 sobre la plataforma. Uno de estos pliegues, sin duda alguna, es un rasgo tectónico que está debajo de sedimentos, como se desprende del examen de su figura 18.

ANALISIS TECTONICO

La orientación general de la Cordillera Ordóñez y particularmente de sus estructuras al sur de la latitud de Tampico (Figura 1a) es esencialmente N-S, lo cual implica que los esfuerzos que las originaron fueron activos en dirección E-W.

1. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

2. En vista de que la denominación inglesa *Mexican Ridges Foldbelt* no se presta en su traducción al español para nombrar un rasgo geológico o morfológico submarino, el presente autor propone atentamente a la comunidad científica el nombre de *Cordillera Ordóñez*, en honor de Don Ezequiel Ordóñez, quien localizó el primer pozo petrolero de producción comercial en México en 1904 (DeGoyler, 1952, p. 311), precisamente en la Planicie Costera del Golfo adyacente a este rasgo submarino e intervino con gran éxito en el desarrollo temprano de la industria petrolera en México. Si bien importantes rasgos geológicos submarinos en el Pacífico llevan el nombre de destacados artistas mexicanos como José Clemente Orozco, Diego Rivera, David Alfaro Siqueiros y Rufino Tamayo, se considera que la comunidad geológica en este caso puede honrar a un geólogo mexicano distinguido.

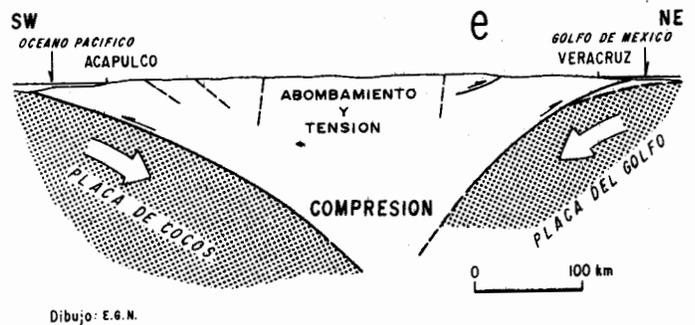
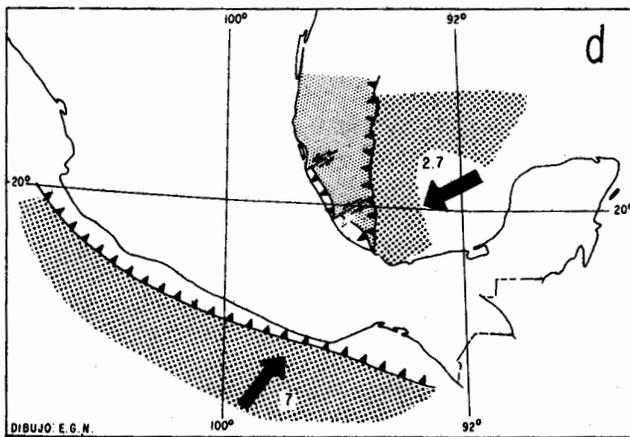
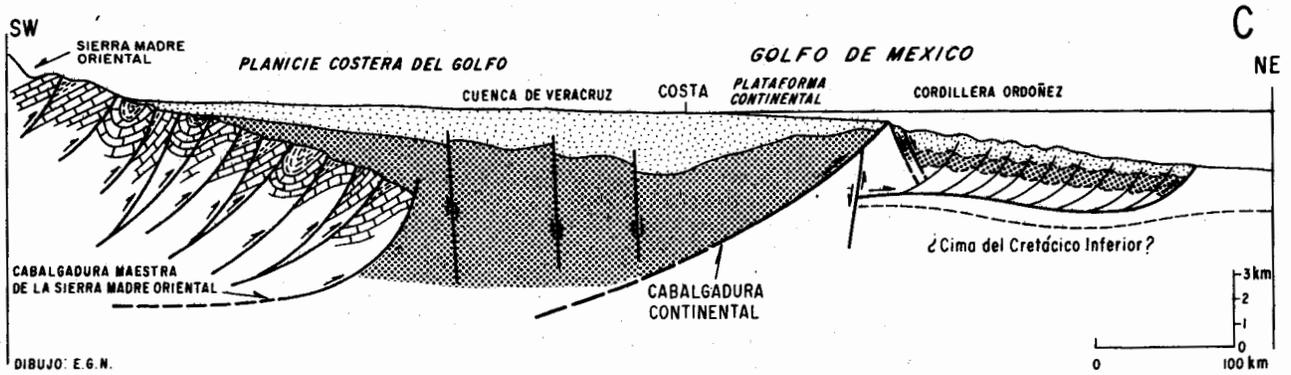
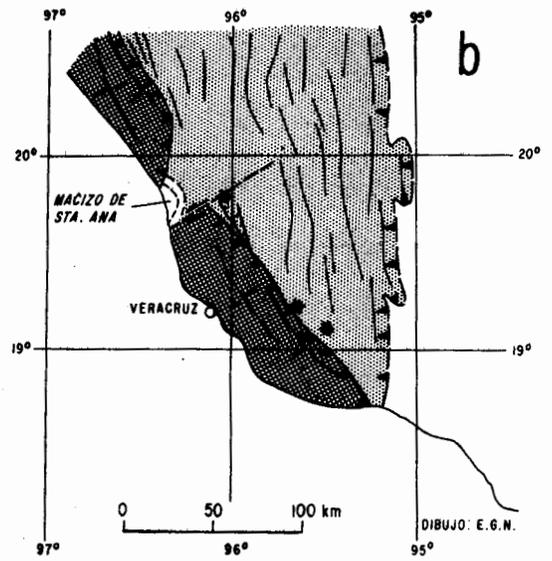
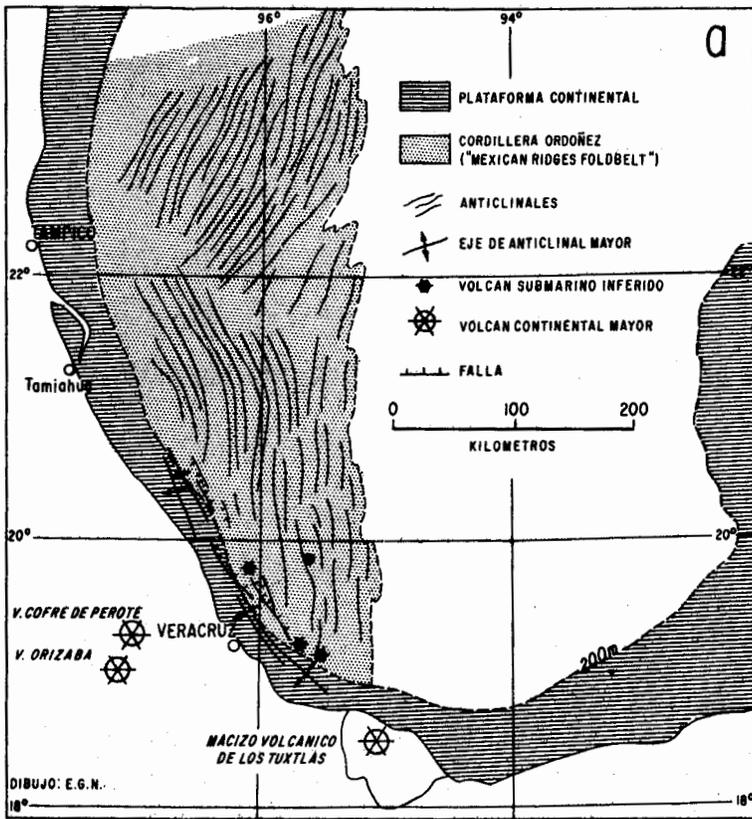
La tendencia estructural que registra el conjunto de estas estructuras es hacia el oriente, por lo que el componente activo de ese campo de esfuerzos fue desde el poniente. Los investigadores que estudiaron esta cordillera (Bryant *et al.*, 1968; Antoine, 1972; Garrison y Martin, 1973; Moore y del Castillo, 1974, Watkins *et al.*, 1976; Buffler *et al.*, 1979b), sin comprometerse, han venido considerando dos posibilidades como mecanismos para su formación. La primera visualiza, en términos generales, una combinación de deslizamiento por gravedad hacia el centro del Golfo de México a lo largo de una superficie de *décollement* formada por evaporitas y/o arcillas con cierto diapirismo relacionado, promovido por levantamiento y por la carga de sedimentos provenientes de la costa; este posible mecanismo, a su vez, implicaría que a medida que se acercara la costa desde el mar, los sedimentos serían cada vez más jóvenes. La segunda considera compresión tectónica originada desde la corteza más profunda debajo de México, cuya cabalgadura maestra debajo de la Cordillera Ordóñez estaría localizada aproximadamente a lo largo del contacto Mesozoico-Terciario (Buffler *et al.*, 1979b, fig. 9b) y su traza a lo largo del frente oriental de la misma cordillera, cerca de la Llanura Sigsbee. Ambas alternativas de mecanismo consideran que la secuencia deformada tiene un alcance estratigráfico correspondiente al Terciario inferior-Holoceno, implicando que la deformación está siendo prácticamente activa. Las estructuras que forman la Cordillera Ordóñez se localizan a profundidades mayores de 1,000 m (Garrison y Martin, 1973, fig. 5).

Por otra parte, la costa del Golfo y la plataforma continental adyacente al sur de la latitud 20° 30' N hasta el macizo volcánico de Los Tuxtlas (Figura 1a) tienen una trayectoria netamente oblicua a la de las estructuras de la Cordillera Ordóñez. Aproximadamente entre Tecolutla (20° 30') y el puerto de Veracruz (19° 11'), esta trayectoria corresponde a N 25° W, mientras que desde este último punto hasta el macizo volcánico de Los Tuxtlas, a N 45° W. La presencia de cuatro estructuras plegadas mayores en este tramo de la plataforma continental permite inferir que esta última ha estado sujeta a condiciones tectónicas de compresión en dirección NE-SW, que originaron estos pliegues. Tomando en cuenta que la plataforma continental y sus pliegues se localizan a profundidades considerablemente menores que los pliegues de la Cordillera Ordóñez, esta relación no sólo permite concluir que el componente activo de este campo de esfuerzos procedió desde el surponiente hacia el nororiente, sino también que la deformación que originó los pliegues de la plataforma es posterior a la que produjo las estructuras de la cordillera. En este contexto, la plataforma continental junto con sus estructuras plegadas parece constituir una cobijadura que está avanzando hacia el nororiente, truncando a las estructuras de la Cordillera Ordóñez en forma oblicua (Figura 1b). Sobre el borde de la plataforma continental, o quizá en la parte más alta del talud continental, es donde el presente autor infiere la traza frontal de esta cabalgadura la cual, a su vez, constituye el margen nororiental de la placa litosférica de México en esta región, separándola de la placa del Golfo de México, por la presencia de una cuña tectónica formada por la Cordillera Ordóñez (Figura 1c).

En función de la terminación meridional o suroccidental abrupta de las estructuras N-S de la Cordillera Ordóñez en contra del borde de la plataforma continental al sur de la latitud 20° 30' N, el mecanismo que se atribuya a la formación de esta cordillera tiene mucha importancia. Al inferirle el mecanismo de deslizamiento por gravedad hacia el centro del Golfo de México, debiéramos esperar encontrar pliegues de esta cordillera al sur de la latitud 20° 00' N con orientación aproximadamente paralela a la costa y al borde de la plataforma continental, que no es el caso, por lo que el truncamiento tectónico de la cordillera es contundente es esa región. De ser establecido este mecanismo de deslizamiento en forma definitiva, las estructuras plegadas que se formaron originalmente al nororiente del puerto de Veracruz y al norte de Los Tuxtlas y que tenían una orientación paralela a la costa y al borde de la plataforma continental, estarían actualmente localizados debajo de la Planicie Costera del Golfo y de la Sierra Madre Oriental del sur de Puebla y norte de Oaxaca. Sin embargo, es difícil acomodar el desarrollo del transporte tectónico de esta magnitud durante el Holoceno junto con otros problemas que este modelo tectónico pudiera acarrear. Los investigadores que insistan en este mecanismo para explicar el origen de la Cordillera Ordóñez harán bien en reconsiderar el alcance estratigráfico de la secuencia litológica involucrada en la formación de las estructuras de la cordillera y el fechamiento de la deformación misma.

Si se atribuye la segunda alternativa a la formación de la Cordillera Ordóñez que involucra compresión tectónica (Buffler *et al.*, 1979b, fig. 9b), esta cordillera constituiría un gran alóctono con estructura imbricada que avanzaba y seguiría avanzando del poniente hacia el oriente. Uno de los problemas que presenta esta alternativa es la falta de un "motor" que hubiera generado esfuerzos de compresión E-W, activos en México hasta la latitud de 19° 00' N durante el Terciario tardío-Holoceno. El atribuir estos esfuerzos compresionales a la Cordillera del Pacífico Oriental (*East Pacific Rise*) orientada de N-S cerca de México, requeriría una explicación de la propagación de los esfuerzos en dirección oriental a través y sin cambio alguno de la Fosa México-Mesoamericana, donde se está efectuando erosión tectónica, relacionada a subducción oblicua desde finales del Mioceno con orientación NE-SW (de Cserna, 1965, p. 53-54). De modo que en el contexto de este mecanismo, parece conveniente también la reconsideración de fechamiento de la deformación de la Cordillera Ordóñez, ya que si ésta fuese más antigua, su mecanismo tectónico tal vez se podría relacionar con el régimen

Figura 1. Mapas tectónicos y secciones de la parte suroccidental del Golfo de México y de la parte meridional de México. a: Mapa tectónico de las partes centrooccidental y suroccidental del Golfo de México, basado en Bryant y colaboradores (1968), Garrison y Martín (1973) y Moore y del Castillo (1974). b: Mapa tectónico de la parte suroccidental del Golfo de México, basado en los datos de Moore y del Castillo (1974), interpretados por el presente autor. c: Sección esquemática SW-NE, mostrando las estructuras plegadas y cabalgadas de la parte nororiental sepultada de la Sierra Madre Oriental en la región de Córdoba, Veracruz, de la plataforma continental y de la Cordillera Ordóñez; la sección está basada en datos de Mossman y Viniegra (1976), Buffler y colaboradores (1979b) y en la interpretación del presente autor; nótese que el ángulo de inclinación de las cabalgaduras está señalado en función de la escala vertical exagerada. d: Mapa que muestra las relaciones que guarda el sur de México con la cuenca del Pacífico (de Cserna, 1961) y con la del Golfo de México; las flechas corresponden a vectores de movimiento, que indican la velocidad de movimiento en cm/año (Drummond, 1981). e: Sección cortical esquemática entre Acapulco y Veracruz, mostrando la subducción bilateral en esta región de México; la escala vertical es igual a la horizontal.



de subducción terciario más antiguo a lo largo del borde occidental de México. Tanto con este mecanismo de compresión tectónica, como con el anterior de deslizamiento por gravedad, el truncamiento tectónico suroccidental de la Cordillera Ordóñez es patente; no obstante, en este caso el transporte tectónico requerido pudiera ser de menor magnitud que para el caso de deslizamiento por gravedad.

En cuanto a las características de la cabalgadura continental, cuya cobijadura parcialmente corresponde a la plataforma continental adyacente al Estado de Veracruz, cabe mencionar lo siguiente:

Si se visualiza el contacto entre el Cretácico Inferior y el Cretácico Superior en esta región de México como favorable para el desarrollo de deslizamiento tectónico, y que en la llamada Cuenca de Veracruz este contacto se encuentra en una profundidad cercana a los 7,000 m (Mossman y Viniegra, 1976), entonces la cabalgadura cuya traza frontal probablemente siga a la curva batimétrica correspondiente a los 400 m, tendrá una inclinación cercana a los 15° hacia el surponiente en esa región (Figura 1c).

En relación con el desarrollo longitudinal del frente de esta cabalgadura continental, es razonable considerar que éste llegue en el suroriente hasta la zona volcánica de Los Tuxtlas, mientras que por el norponiente hasta las cercanías de Tamiahua, Veracruz (Figura 1a). La razón por la cual se extiende hasta este punto en el norte-norponiente radica en el hecho de que al norte de Tamiahua la costa del Golfo tiene características "normales" donde abundan las lagunas costeras y las olas de agua del mar se estrellan contra depósitos holocénicos. En cambio, hacia el sur de Tamiahua, las aguas del Golfo están cortando un acantilado (*nip*) de unos 8-10 m de altura, formado por la Formación Tuxpan del Mioceno, cuya presencia pudiera implicar levantamiento resultado del componente vertical del cabalgamiento sobre el Golfo de México. El presente autor considera la posibilidad de que el estudio de Buffler y colaboradores (1979b, figs. 8 y 9) en el área al oriente de la Laguna de Tamiahua pudiera corresponder a la zona de terminación septentrional del frente de la cabalgadura continental, que el sistema de fallas de crecimiento (*growth fault system*) en esa región se haya desarrollado sobre el frente de la cobijadura y que las estructuras recostadas (*roll-over structures*) hacia el oriente estén dentro del bloque del bajo (*foot-wall*) de la cabalgadura.

Para completar este análisis tectónico somero, es necesario abordar los tres supuestos volcanes submarinos que señalan Moore y del Castillo (1974, fig. 10) al norte, oriente y suroriente, respectivamente, del puerto de Veracruz y cuya distribución sigue una dirección N 30° W, desde luego oblicua a la dirección regional de las estructuras de la Cordillera Ordóñez. Uno de estos aparatos supuestamente volcánicos, el más septentrional, parece estar relacionado a fallas y fosas tectónicas cuya orientación también es oblicua a la de las de la Cordillera Ordóñez (Figura 1b). A reserva de que un muestreo directo revele si se trata efectivamente de aparatos volcánicos y puedan establecerse sus características petrográficas, petrológicas y geocronométricas, éstos podrían formar parte de la provincia volcánica alcalina del oriente de México, cuyo origen está íntimamente relacionado con eventos tectónicos tensionales, estando este magmatismo representado al sur de la latitud 20° N por manifestaciones cuaternarias (Robin, 1982). En este caso concreto, las fallas y fosas tectónicas, junto con los aparatos supuestamente volcánicos, parecen ser posteriores a las estructuras de la Cordillera Ordóñez porque las truncan y, siendo rasgos originados bajo condiciones tectónicas de tensión, su desarrollo debe haber antecedido al cabalgamiento continental.

DISCUSION

La costa del Golfo de México ha sido tradicionalmente considerada como la manifestación superficial de un margen continental pasivo. El presente autor, sin embargo, comenzó a dudar de esta consideración a partir de una revisión histórica somera del desarrollo petrolero de la región centro-oriental de México y, más recientemente, del sureste del Golfo. En esas regiones han habido pozos petroleros con presiones extraordinariamente altas, que permitieron pensar en la prevalescencia de condiciones tectónicas de compresión, que no son características de un margen continental pasivo.

La presencia de estructuras que resultaron de una deformación compresiva que afectó a los depósitos del Mioceno inclusive, se conoce desde hace tiempo en el norte de Chiapas y, más recientemente, en la región de Villahermosa, Tabasco (Santiago-Acevedo, 1980, fig. 27) y en la Sonda de Campeche (Meneses de Gyves, 1980, figs. 14 y 15); esta deformación compresiva se dirigió del surponiente hacia el nororiente. Hacia el poniente y norponiente del Istmo de Tehuantepec, las estructuras en las que los depósitos miocénicos también se presentan deformados constituyen pliegues y fallas con orientación general NE-SW, como ocurre en Los Tuxtlas (Ríos-Macbeth, 1952) y junto a los macizos de Teziutlán y Santa Ana (Viniegra-Osorio, 1966, p. 160-161). Con los datos actualmente disponibles es difícil establecer el campo de los esfuerzos que originó a estas estructuras, aunque no sería remota la posibilidad de que representen los resultados de deformación por pares de fuerzas orientados NE-SW. De hecho, Viniegra-Osorio (1966, p. 160) menciona "un sistema estructural de orientaciones NE-SW y E-W (?) al norte y sur de esta área", que podría corresponder a una zona de fallamiento lateral siniestro con fracturas de tensión orientadas en dirección E-W.

Si relacionamos el modelo tectónico logrado mediante el análisis de los rasgos tectónicos, con los datos sismológicos disponibles para la parte suroccidental del Golfo de México, desde luego nos apunta favorablemente el mecanismo del temblor ocurrido el 11 de marzo de 1968 con $M = 5.3$, analizado por Molnar y Sykes (1969, tabla 1 y fig. 14), cuyo epicentro se localizó al oriente del puerto de Veracruz (19.1 N y 95.8 W), con vector de deslizamiento de dirección N 63° E. Este temblor actualmente está siendo reestudiado y su mecanismo pudiera tener otras características; no obstante, la nueva interpretación de su mecanismo también contempla cabalgamiento (Dr. S. K. Singh, comunicación personal). Cualquiera que sea la solución del mecanismo focal de este temblor, su localización, magnitud e hipocentro somero podrían reflejar

el cabalgamiento continental hacia el nororiente, o movimiento diferencial entre la plataforma continental y el Macizo de Santa Ana (Figura 1b).

La aparente "falta" de temblores en la región suroccidental del Golfo de México y partes adyacentes de la Planicie Costera del Golfo podría hacer dudar de la validez de este modelo y por ende de la presencia de un margen continental de colisión activo en esta región. En este contexto, debe mencionarse que los geólogos y geofísicos parecen ser extremadamente cautelosos para aceptar interpretaciones nuevas. Baste señalar que la cabalgadura continental del sur de México, que el presente autor publicó en la carta tectónica de México en 1961 (de Cserna, 1961), requirió exactamente de 20 años para que apareciera en un mapa continental de Norteamérica (Drummond, 1981). Si bien el margen continental meridional de México se manifiesta mediante centenares de temblores de importancia, su identidad está perfectamente definida por rasgos geológicos, como la costa brava en numerosos tramos, el afloramiento de rocas cristalinas (plutónicas y metamórficas) y el truncamiento de las estructuras en contra de la corteza oceánica. El examen casual de siete secciones verticales, orientadas NE-SW entre aproximadamente Tamiahua y Los Tuxtlas que muestran los hipocentros de temblores ocurridos en esa región (Hanus y Vanek, 1977-1978, figs. 19-25), revela de inmediato que los hipocentros son someros junto al Golfo y se profundizan hacia el surponiente. Esta distribución de los hipocentros induce al presente autor a considerar la presencia de una zona de cabalgamiento o subducción entre la placa continental de México y la placa oceánica del Golfo de México, con orientación completamente opuesta a la de la zona de subducción en el sur de México con respecto a la placa oceánica del Pacífico. Esta interpretación, a su vez, pone en relieve también las diferencias que existen entre estas dos zonas opuestas de subducción a la que se atribuye mayor sismicidad en el sur de México, en contraste con lo que se observa en el lado del Golfo de México. En el sur, el movimiento relativo de la placa oceánica del Pacífico en contra de la placa cristalina de México corresponde a 7 cm/año (Drummond, 1981), generando una fricción considerablemente mayor de la que ocurre en el lado del Golfo de México, donde la cobijadura de la cabalgadura continental, que está formada por sedimentos poco consolidados cenozoicos, sobrecorre sedimentos semejantes de la Cordillera Ordóñez, los cuales a su vez guardan contacto tectónico mediante una cabalgadura maestra con sedimentos pelágicos cretácicos de la cuenca del Golfo de México, con amortiguamiento tectónico claramente notable. Aunando a estas condiciones la magnitud de movimiento absoluto de la placa del Golfo de México, que corresponde a sólo 2.7 cm/año (Drummond, 1981) en el área de la Sonda de Campeche con trayectoria de S 65° W, de ninguna manera es sorprendente que hayan menos temblores y de menor magnitud asociados a esta zona de subducción que a la del lado del Pacífico. En la Figura 1d y e se presenta esta interpretación en forma de un mapa y sección cortical esquemática.

CONCLUSIONES

De los rasgos tectónicos de la parte suroccidental del Golfo de México y de su análisis se desprenden las siguientes conclusiones:

1.—Los pliegues y cabalgaduras con orientación N-S, que conforman la Cordillera Ordóñez (*Mexican Ridges Fold-belt*), constituyen los rasgos tectónicos cenozoicos más antiguos submarinos en la parte suroccidental del Golfo de México.

2.—Las estructuras de la Cordillera Ordóñez al sur de la latitud 20° 30' N y cerca del borde de la plataforma continental están cortadas oblicuamente por fallas que tienden a definir fosas tectónicas a las cuales, aparentemente, están asociados aparatos supuestamente volcánicos. Como estas fallas y fosas tectónicas deben haber resultado de condiciones tectónicas de tensión orientadas NE-SW, se concluye que la formación de la Cordillera Ordóñez fue seguida por un período de tensión. Si los aparatos supuestamente volcánicos llegasen a tener realmente tal origen, no sería remota la posibilidad de que éstos perteneciesen a la provincia magmática alcalina del oriente de México (Robin, 1982).

3.—Entre aproximadamente Tecolutla y Los Tuxtlas, el borde de la plataforma continental trunca morfológicamente en forma oblicua a la Cordillera Ordóñez. La misma plataforma en este tramo posee un mínimo de cuatro estructuras anticlinales que necesariamente deben haber resultado de compresión NE-SW. Por ocupar estos pliegues junto con la plataforma continental profundidades más someras que las estructuras de la Cordillera Ordóñez, se concluye que el borde de la plataforma en este tramo corresponde a la traza frontal de una cabalgadura mayor cuya cobijadura sobrecorre en dirección nororiental oblicuamente a la Cordillera Ordóñez y a las fallas y fosas tectónicas con los aparatos supuestamente volcánicos. Con base en las relaciones que guardan estas estructuras entre sí, el proceso de este cabalgamiento es el rasgo tectónico más joven en esta región del Golfo de México y si la Cordillera Ordóñez realmente tuviera estructuras en cuya formación estuviesen involucrados sedimentos holocénicos también, entonces este cabalgamiento obligadamente debiera considerarse como activo.

4.—La formación de la Cordillera Ordóñez, el desarrollo de fallas y fosas tectónicas con supuesta actividad volcánica y finalmente el cabalgamiento de la plataforma continental hacia el nororiente, constituyen una secuencia de eventos apoyada por las relaciones tectónicas que éstos guardan entre sí. Sin embargo, atribuir todos estos eventos al Cuaternario, en opinión del presente autor, es excesivo por lo que se considera prudente la reevaluación del alcance estratigráfico, sobre todo el límite superior, de la unidad sismoestratigráfica más joven involucrada en la deformación de la Cordillera Ordóñez. La magnitud de sobrecorrimiento que pudo tener hasta la fecha la Cordillera Ordóñez por la cobijadura formada por la plataforma continental tiene importancia especial en este contexto.

5.—El plano de la cabalgadura continental sobre el Golfo de México, en la interpretación del presente autor, está corroborado por el estudio de Hanus y Vanek (1977-1978), quienes fueron los primeros en mostrar en esta región de México la distribución de hipocentros someros de temblores cerca de la costa del Golfo de México y más profundos hacia el surponiente, no obstante que seguían relacionando estos temblores en forma ortodoxa, como los demás sismólogos vienen ha-

ciéndolo, con el marco general de subducción a lo largo de la costa meridional de México, en lugar de visualizar el modelo aquí propuesto, que no apoya esa consideración, como tampoco la naturaleza intraplaca de los temblores de esta región (Lomnitz, 1983).

6.—El cabalgamiento sobre la cuenca del Golfo de México pone de manifiesto que la masa continental de México no sólo tiene un margen continental de colisión activo en el sur contra la placa oceánica del Pacífico, sino también enfrente del Estado de Veracruz contra la placa oceánica del Golfo de México. Estos datos justifican la revisión del límite litosférico de México en el Golfo de México.

7.—El modelo tectónico aquí propuesto para la región suroccidental del Golfo de México pudiera tener consecuencias muy importantes y positivas para la geología petrolera de esta parte de México en el caso de que una potente secuencia sedimentaria petrolífera estuviese sobrecorrida por la cobijadura continental. Esta incógnita pone en relieve la importancia de considerar la ejecución de unas líneas de reflexión sísmica continua, desde el borde de la plataforma continental hacia el surponiente hasta la zona frontal de la Sierra Madre Oriental, con la misma metodología que se está empleando en estudios semejantes en los Estados Unidos de América, Canadá y en varias partes de Europa.

RECONOCIMIENTOS

El presente autor agradece al Dr. Max Suter, de Schlumberger Offshore Services, su gentileza por haber facilitado material bibliográfico publicado pero no disponible para el autor, y al Dr. S. K. Singh, del Instituto de Geofísica de la UNAM, las conversaciones y sugerencias constructivas sobre el tema aquí tratado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Antoine, J. W., 1972, Structure of the Gulf of Mexico: *in* Rezak, Richard, y Henry, V. J., eds., Contributions on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of México. Houston, Gulf Publishing Co., t. 3, p. 1-34.
- Bryant, William, Antoine John, y Ewing, Maurice, 1966, Structure of the Mexican continental shelf and slope: San Francisco, Geol. Soc. America, 1966 Annual Meetings, Program, p. 28 (resumen).
- Bryant, W. R., Antoine, John, Ewing, Maurice, y Jones, Bill, 1968, Structure of Mexican continental shelf and slope, Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 52, p. 1204-1228.
- Buffler, R. T., Shaub, F. J., Worzel, J. L., y Watkins, J. S., 1979a, Gravity-slide origin for Mexican Ridges Foldbelt, southwestern Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 63, p. 426 (resumen).
- Buffler, R. T., Shaub, F. J., Watkins, J. S., y Worzel, J. L., 1979b, Anatomy of the Mexican Ridges, southwestern Gulf of Mexico: *in* Watkins, J. S. *et al.*, eds., Geological and geophysical investigations of continental margins. Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 29, p. 319-327.
- Cserna, Zoltan de, 1961, Tectonic map of Mexico: Nueva York, Geol. Soc. America, escala 1:2,500,000.
- 1965, Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología Bol. 62, 76 p.
- DeGoyler, E. L., 1952, Historia de la exploración de petróleo en México antes de la Expropiación, 1938: Bol. Asoc. Méx. Geólogos Petroleros, v. 4, p. 303-322.
- Drummond, K. J., 1981, Plate tectonic map of the Circum-Pacific region, northeast quadrant: Tulsa, Am. Assoc. Petroleum Geologists, escala 1:10,000,000.
- Emery, K. O., y Uchupi, Eleazar, 1972, Western North Atlantic Ocean; topography, rocks, structure, water, life and sediments: Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 17, 532 p.
- Garrison, L. E., y Martin, R. G., Jr., 1973, Geologic structures in the Gulf of Mexico basin: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 773, 85 p.
- Hanus, Vaclav, y Vanek, Jiri, 1977-1978, Subduction of the Cocos Plate and deep active fracture zones of Mexico: Geofísica Internal. (México), v. 17, p. 14-53.
- Jones, B. R., Antoine, J. W., y Bryant, W. R., 1967, A hypothesis concerning the origin and development of salt structures in the Gulf of Mexico sedimentary basin: Gulf Coast Assoc. Geol. Societies, Trans., v. 17, p. 211-216.
- Lomnitz, Cinna, 1983, Seismicity and earthquake risk at the NPP site of Laguna Verde, Veracruz: Geofísica Internal. (México), v. 22, p. 113-135.
- Meneses de Gyves, Javier, 1980, Geología de la Sonda de Campeche: Bol. Asoc. Méx. Geólogos Petroleros, v. 32, p. 1-26.
- Molnar, Peter, y Sykes, L. R., 1969, Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity: Geol. Soc. America Bull., v. 80, p. 1639-1684.
- Moore, G. W., y Castillo, Luis del, 1974, Tectonic evolution of the southern Gulf of Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 85, p. 607-618.
- Mossman, R. W., y Viniegra-Osorio, Francisco, 1976, Complex fault structures in Veracruz province of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 60, p. 379-388.
- Ríos-Macbeth, Fernando, 1952, Estudio geológico de la región de Los Tuxtlas, Ver.: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 4, p. 325-373.
- Robin, Claude, 1982, Relations volcanologie-magmatologie-geodynamique; application au passage entre volcanismes alcalin et andésitique dans le sud mexicain (Axe Trans-mexicain et Province Alcaline Orientale): Ann. Sci. Univ. Clermont-Ferrand II, núm. 70, 503 p.

- Santiago-Acevedo, José, 1980, Giant fields of the southern zone -México: in Halbouty, M. T., ed., Giant oil and gas fields of the decade 1968-1978. Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 30, p. 339-385.
- Viniegra-Osorio, Francisco, 1966, Paleogeografía y tectónica del Mesozoico en la provincia de la Sierra Madre y Macizo de Teziutlán: Bol. Asoc. Méx. Geólogos Petroleros, v. 18, p. 145-171.
- Watkins, J. S., Ladd, J. W., Shaub, F. J., Buffler, R. T., y Worzel, J. L., 1976, Seismic section WG-3, Tamaulipas Shelf to Campeche Scarp, Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists, Seismic Section 1.

DESCUBRIMIENTO E IDENTIFICACION DE LA SEGUNDA LOCALIDAD MUNDIAL DEL MINERAL BARTONITA EN MICHOACAN

Jorge Díaz de León*

La bartonita ($K_3Fe_{10}S_{14}$) es un mineral recientemente descubierto en una diatrema máfico-alcalina en Coyote Peak, California, Estados Unidos de América (Czamanske *et al.*, 1981). Por segunda vez ha sido hallada en el Cerro Mazahua, Estado de Michoacán, siendo esta localidad, hasta ahora, la primera en la que el mineral se desarrolló en un *skarn* calcisilicatado. El Cerro Mazahua se localiza aproximadamente 7 km al suroriente del pueblo de Susupuato, Municipio de Zitácuaro, Michoacán.

El mineral se encontró dentro de xenolitos de rocas carbonatadas con impurezas, en un gabro de hornblenda cubierto discordantemente por remanentes de rocas riolíticas y una extensa formación de tobas de edad terciaria.

Se presenta en cantidades pequeñas con inclusiones en spurrita y asociada a pirrotita, magnetita y piritita. Sus cristales son diminutos prismas tetragonales y pirámides. Su color es semejante al de la pirrotita café oscuro y su raya es negra característica. Las tres líneas de mayor intensidad de su patrón de difracción de rayos X en polvo (Tabla 1) son: 2.99Å° (100); 5.98Å° (60), y 1.82Å° (70). El análisis químico cualitativo indica la presencia de cobre como traza y probablemente níquel.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Czamanske, K. G., Erd, R. C., Leonard, B. F., y Clark, J. R., 1981, Bartonite, a new potassium iron sulfide mineral: Am. Mineralogist, v. 66, p. 369-375.

Tabla 1. Comparación de las líneas de difracción más intensas de las bartonitas de Coyote Peak, California y Cerro Mazahua, Michoacán.

COYOTE PEAK		CERRO MAZAHUA	
d (Å ^o)	Intensidad	d (Å ^o)	Intensidad
10.31	16	10.02	20
9.30	68	9.25	70
7.37	12	7.50	10
5.99	58	5.98	60
3.42	15	3.40	10
3.14	32	3.25	5
3.11	14	3.11	10
2.99	100	2.99	100
2.37	40	2.36	50
1.84	41	1.82 (doble efecto 1.84 y 1.83)	
1.83	79		

* Investigación y Desarrollo Industrial, S. A., 7 Norte 356, 75720 Tehuacán, Pue.