

REPORTE DE LA CONFERENCIA PENROSE EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y SUS MÁRGENES

Paul J. Umhoefer¹, Joann Stock² y Arturo Martín³

¹ Department of Geology, Box 4099, Northern Arizona University, Flagstaff AZ 86011, paul.umhoefer@nau.edu

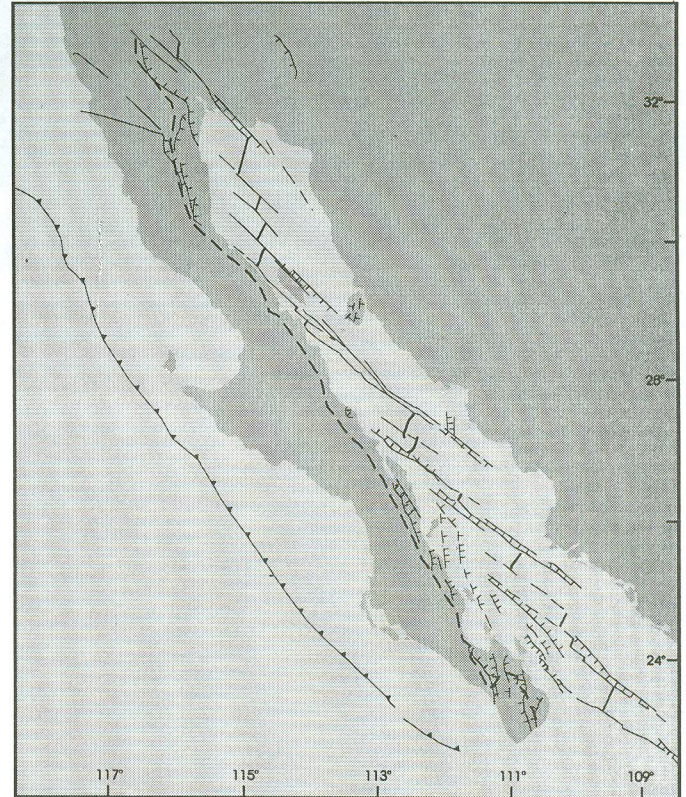
² Seismological Laboratory 252-21, California Institute of Technology, Pasadena, CA. 91125, jstock@seismo.gps.caltech.edu

³ Departamento de Geología, CICESE, CP 22830, Ensenada, B.C., México. martin@cicese.mx

El Golfo de California es un ejemplo clásico de un límite de placas formado por fallas transformes y centros de dispersión y un desplazamiento oblicuo a las márgenes del rift. En los años sesentas el Golfo de California constituyó una región de referencia para explicar la entonces novedosa teoría de tectónica de placas. En esa época, las observaciones en tierra y los estudios oceanográficos en el Golfo apoyaban esta teoría. Desde entonces, el Golfo de California ha sido objeto de numerosos estudios por diversos especialistas en Ciencias de la Tierra, ya que se trata de un límite de placas activo y relativamente joven, y es tema de estudio de una comunidad de investigadores cada vez más numerosa. El esfuerzo de esta comunidad y los estudios detallados han demostrado que el desarrollo de este límite de placas no es tan simple y claro como se había supuesto en los primeros modelos. En el mes de Abril del año en curso se organizó la Conferencia Penrose auspiciada por la American Geological Society. Este evento tuvo lugar del 17 al 22 de Abril de 1996 en Loreto, Baja California Sur, y su objetivo principal fue establecer el estado del conocimiento de la evolución tectónica del Golfo de California. Esta reunión tuvo también la finalidad de identificar las áreas y los tópicos de mayor potencial para las investigaciones futuras. La Conferencia se orientó a la evolución tectónica del Golfo de California y áreas adyacentes durante los últimos 20 millones de años y cubrió todos los aspectos geológicos de esta región. Hubo también contribuciones importantes sobre la geología de otros rifts que aportaron comparaciones útiles para el estudio del rift del Golfo de California.

En esta nota presentamos las conclusiones más relevantes basándonos en las discusiones entre los participantes de la Conferencia, y que fueron considerados de mayor potencial e interés para futuras investigaciones. Los temas resumidos a continuación son multidisciplinarios por naturaleza, pero en esta síntesis son tratados en forma individual con el objeto de hacer más clara y sencilla su descripción. Como resultado de esta reunión, tenemos más preguntas que respuestas y numerosas incógnitas por resolver.

Una conclusión general es que el modelo sencillo que explica la evolución del Golfo aún tiene validez, pero se requieren de varias comprobaciones. Este modelo sugiere que hacia el Mioceno temprano-medio (~25 a 16/12 Ma), la región que hoy ocupa gran parte del Golfo de California constituía una margen convergente con volcanismo de arco, y fallamiento extensional en la parte tras-arco hacia el oriente.



La subducción en la margen occidental de la Placa de Norteamérica a la altura de California y Baja California fue extinguiéndose de norte a sur en saltos progresivos, desarrollándose un límite de placas transforme, el sistema de falla San Benito-Tosco-Abreojos en el margen occidental de lo que sería la Península de Baja California.

Entre ~15 y ~5 Ma, el proceso de rifting y subsidencia conocido como proto Golfo fue acompañado de una o dos incursiones marinas. El proto Golfo debió formarse como parte de la distribución de esfuerzos en una amplia región entre el sistema transforme Tosco-Abreojos al oeste de la península y la región occidental del noroeste de México. Desde ~5 Ma al Presente, se desarrolló el sistema de fallas transformes y centros de dispersión del Golfo como resultado del cambio en el límite de placas hacia esta región. Este sistema de fallas transformes y cuencas se propagó al norte uniéndose al sistema de falla de San Andrés, en California.

RELACIÓN CON EL SISTEMA DE FALLA DE SAN ANDRÉS

Este tema se inició con una síntesis del desplazamiento dextral de las fallas transpeninsulares, las fallas San Jacinto y San Andrés y las fallas del Desierto de Mohave, California. Sabemos que este desplazamiento es consistente con el desplazamiento de ~300 km estimado utilizando puntos geológicos de referencia a través de la porción media del Golfo. Sin embargo, parte del desplazamiento en las fallas transpeninsulares y en las fallas del sur de California es anterior a 5 Ma, pero no se han reportado fallas de rumbo en la región del Golfo que sean de edad anterior a 5 Ma. Una posibilidad es que estas fallas no se han descubierto o están enterradas en la planicie costera de Sonora. Por otro lado, se han reportado varias localidades con fallamiento extensional de edad anterior a 5 Ma en la Provincia Extensional del Golfo, lo cual es consistente con la actividad anterior a 5 Ma de las fallas de rumbo del sur de California y podrían ser parte del mismo sistema transtensivo.

MOVIMIENTO DE PLACAS

La historia de la reorganización del movimiento de placas al oeste de la península de Baja California se conoce con cierto detalle. En contraste, existen pocos datos dentro del Golfo, lo que no permite conocer el inicio del rifting oceánico y del fallamiento transforme, ni los detalles de la cinemática del movimiento relativo de Baja California con respecto a la parte continental de México. Existen evidencias de saltos recientes en los segmentos de la dorsal dentro del Golfo, pero su relación con la geología en tierra solo ha sido planteada en forma preliminar.

GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA MARINA

Únicamente se presentaron síntesis de estudios de geofísica marina realizados en el borde continental de California y Baja California. Estos estudios son importantes porque ayudan a definir la historia de esta región adyacente al Golfo y en parte contemporánea al Golfo. Existe una notable ausencia de datos geofísicos en el Golfo, y en la reunión hubo un consenso general sobre la necesidad de realizar proyectos grandes e integrados en la parte marina del Golfo si queremos hacer progresos importantes en su comprensión. En esta dirección, y durante la Conferencia, se llevó a cabo el proyecto CORTES, y varios de los colegas mexicanos no pudieron asistir al evento debido a que se encontraban realizando un proyecto de geofísica marina en el Golfo. Este proyecto se desarrolló a bordo del B/O español Hespérides, y participaron varias instituciones.

GEOLOGÍA PRE-GOLFO

Tres rasgos geológicos de edad anterior al Golfo fueron discutidos como posibles influencias para su ubicación y su desarrollo. El batolito Cretácico en Baja California pudo haber controlado la definición de la margen occidental del rift actuando como un bloque rígido. El ambiente tras-arco del Cretácico

podría ocupar en gran medida la posición del Golfo moderno. El arco volcánico del Mioceno ha sido considerado como un influencia importante en la ubicación del Golfo, pero aún falta por integrar los datos en el extremo sur del sistema de falla San Andrés y la tectónica en la boca del Golfo.

MAGMATISMO

Existe un gran déficit de datos geoquímicos y geocronológicos en la historia magmática de la región del Golfo. Parece haber suficientes datos cartográficos y petrológicos que permiten definir regionalmente la posición y las características del arco del Mioceno que precedió al rift. Además, se han identificado algunas provincias con volcanismo contemporáneo con el rift. Entre los principales puntos a considerar es que el movimiento de placas sugiere un contraste en el tiempo de iniciación del rift y el cambio de estilos de volcanismo post-arco entre la parte norte y la parte sur del Golfo, pero este contraste no es claro cuando se utilizan datos petrológicos; por lo que se requieren estudios isotópicos para definir la evolución temporal de la composición de la litósfera en ambos extremos del Golfo. Además, aún no es clara la posición del magmatismo con relación a los segmentos de rift propuestos.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En general, lo que conocemos de la historia de la deformación es consistente con el modelo de tres etapas resumido en los primeros párrafos. Existen estudios regionales consistentes con los patrones estructurales y los análisis cinemáticos locales que apoyan la idea de un proto-Golfo formado en una primera etapa de extensión ortogonal. Además, algunos estudios locales parecen apoyar el modelo propuesto recientemente, en el cual el Golfo está dividido en segmentos como en otros rift ortogonales. Pero muchas preguntas clave están aún sin respuesta. Por ejemplo, ¿existe una migración de la extensión en el tiempo desde Sonora hacia el poniente, tal como aparece actualmente? Si es así, ¿cuando ocurrió? ¿Es la segmentación un rasgo ampliamente distribuido en el Golfo? ¿Es este patrón estructural responsable de la formación del proto-Golfo en el tiempo en que se ha propuesto la extensión ortogonal? Algunas áreas muestran un cambio en la dirección de extensión hacia los 5 Ma, el cual es compatible con el modelo de dos etapas: un rift proto-Golfo y el segundo un rift oblicuo con fallamiento transforme. ¿Porqué otras áreas no muestran este patrón? ¿Donde estarían las fallas de rumbo que esperaríamos encontrar al inicio de la definición del límite transcurrente?

ESTRATIGRAFÍA / ANÁLISIS DE CUENCAS

Uno de los principales propósitos de las investigaciones futuras en análisis de cuencas será poner a prueba las similitudes y las diferencias entre las cuencas y sus secuencias sedimentarias en un rift ortogonal y las cuencas en ambientes más complejos producidos por la sobreposición de una extensión ortogonal seguida por una extensión oblicua (transtensión). Algunos puntos específicos que necesitan respuestas son: ¿pueden las

primeras cuencas decimos más sobre el inicio del rift en el Golfo de California? ¿Podrían la edad y el estilo de estas primeras cuencas proporcionar información para definir si es correcta la interpretación del proto-Golfo como una primera etapa de extensión ortogonal del rift? Se ha sugerido que en el norte de Baja California los patrones estratigráficos en los segmentos propuestos difieren de los patrones en las zonas de acomodamiento adyacentes a las cuencas. ¿Es éste un patrón que se repite a lo largo del Golfo? Existen algunas áreas con discordancias hacia la cima de la secuencia que coinciden con la iniciación de la formación de corteza oceánica en las cuencas del Golfo. ¿Podrían éstas interpretarse como las discordancias que señalan el cambio a una margen pasiva? O tal vez, la evolución de las márgenes del Golfo es aún temprana para esperar un cambio en la subsidencia térmica y la formación de una discordancia regional entre rocas no deformadas que sobreyacen a secuencias tectónicamente deformadas. ¿Son compatibles los patrones, la forma, el tamaño y el estilo de las cuencas con la presencia de una margen con desplazamiento lateral en los últimos 5 millones de años? ¿Podemos diferenciar entre cambios eustáticos y tectónicos del nivel del mar?

PALEONTOLOGÍA

Muchos aspectos de paleontología pueden apoyar otros estudios y proporcionar argumentos nuevos. Varios paleontólogos resumieron los datos de microfósiles y de macrofósiles. Los datos sugieren que la primera incursión marina en el Golfo moderno ocurrió entre los 12 y 15 Ma, y está localmente caracterizada como una entrada de mar con ambientes someros. Por otro lado, los datos estructurales y magmáticos sugieren el inicio del rift en la misma época. Sin embargo, se requiere de mayor control en la distribución y en el rango de las especies a escala regional para sustentar el inicio del rift con datos paleontológicos, y para definir cuando se establecen los primeros ambientes profundos a escala regional. Dos preguntas adicionales son: ¿pueden los datos paleontológicos ayudar a resolver si existen discordancias sincrónicas a escala regional en el Golfo? ¿Cuando y en que regiones existió comunicación entre el Golfo y el Océano Pacífico como sugieren algunos datos paleontológicos?

OTROS RIFTS Y MODELOS A ESCALA

Una parte importante al final de la Conferencia fue la presentación y la discusión, por cierto muy estimulante, sobre la evolución de otros rifts en el mundo y los modelos a escala utilizados para entender la deformación en rift oblicuos. Esta parte de la Conferencia proporcionó nuevas ideas sobre la evolución de otros rift y de como éstos han sido investigados en forma interdisciplinaria. El tema de los métodos geofísicos utilizados en el estudio de otros rift fue particularmente instructivo, ya que ese tipo de trabajo está aún en pañales en el Golfo de California.

La conferencia incluyó un día de excursión geológica a la cuenca de Loreto, que constituye un excelente e ilustrativo ejemplo de la tectónica y la sedimentación de una cuenca del

Plioceno en la margen del Golfo. Paul Umhoefer, Becky Dorsey y Larry Mayer mostraron los detalles de la compleja evolución tectónica y estratigráfica de esta región y condujeron al grupo a los afloramientos de la falla de Loreto, y a excelentes afloramientos de secuencias sedimentarias de deltas tipo Gilbert coronadas con calizas bioclásticas. Esta excursión de campo estimuló la discusión sobre los modelos estructurales para el desarrollo de las cuencas en estructuras de medio graben y/o en zonas de transferencia entre dos fallas oblicuas en echelón. La excursión también proporcionó información útil para las comparaciones con los modelos de laboratorio en ambientes transtensivos.

RESUMEN

El presente reporte intenta dejar al lector con la conclusión de que se han logrado progresos importantes en varias localidades y en algunos de los tópicos generales, sin embargo, aún quedan muchas preguntas por resolver antes de que podamos entender la evolución tectónica del Golfo de California. Muchos detalles importantes en áreas locales no han sido incluidos en este reporte, pero en su gran mayoría se trata de estudios sin muchas implicaciones regionales. Gran parte del problema es la falta de bases de datos con síntesis regionales, y parte de ese problema se debe a que los modelos y las investigaciones a escala regional son escasos o se están empezando a estudiar. Consideramos que se ha recorrido mucho camino desde la primera Conferencia Penrose sobre el Golfo de California en 1974, en particular, es notable el crecimiento de la comunidad de geólogos y geofísicos de instituciones mexicanas en las investigaciones del Golfo. La reunión de Loreto nos permitió establecer el estado del conocimiento de la evolución tectónica del Golfo de California, pero más que grandes conclusiones, esta reunión nos proporcionó nuevas ideas para desarrollar los trabajos futuros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo generoso de Geological Society of America, de National Science Foundation (grant EAR-9526343) y del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada para la realización de esta Conferencia Penrose. Agradecemos la atención recibida en el Hotel La Pinta, en Loreto, y a Louis Elms por su apoyo logístico. P. Umhoefer agradece a Becky Dorsey y a Larry Mayer por su ayuda en la excursión geológica en la cuenca de Loreto.

Participantes:

Eduardo Aguayo C.	Shelton Pleasants Applegate
Julio Álvarez Rosales	José Jorge Aranda Gómez
Gary J. Axen	Andrew Barth
Harald Bohnel	Elwood R. Brooks
Alex Brown	Glenn Brown
Lucia Capra	Ana Luisa Carreño
M. Carrillo-Martínez	S. Cevallos-Ferriz
Charles Chapin	Tómas Cossío Torres

Becky Dorsey	Wilfred A. Elders	Kenneth McClay	Kate C. Miller
Juan M. Espinosa C.	Luca Ferrari	Juan Carlos Moya	Elizabeth Nagy
John Fletcher	José Frez	E. H. Nava Sánchez	Craig Nicholson
Javier Gaytán-Morán	Rafael Gallardo	Jonathan A. Nourse	Francisco Paz Moreno
Phil Gans	Gordon Gastil	José A. Pérez Venzor	Steve Polis
Ewa Glowacka	Tracy Morgan Grover	Gerald H. Rayner	Jaime Roldán Quintana
José C. Guerrero-García	Brian Hausback	O. Quintero Legorreta	Kevin Righter
Javier Helenes Escamilla	Christopher Henry	Michael Sawlan	Claus Siebe
Richard Hey	James C. Ingle	Judith Terry Smith	Michael S. Steckler
Jeffrey Karson	Susan M. Kidwell	John H. Stewart	Joann Stock
David Kimbrough	Jorge Ledesma Vázquez	Miguel A. Tellez Duarte	Paul Umhoefer
Mark Legg	Kristin McDougall	Ray Weldon	Edward C. Wilson
Arturo Martín	Genaro Martínez Gutiérrez	Martha Oliver Withjack	Víctor Wong-Ortega
E. Martínez-Hernández	Larry Mayer		Amgad I. Younes