

RUPTURA DE LA LITÓSFERA CONTINENTAL EN LA REGIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y SALTON TROUGH. REPORTE DEL TALLER MARGINS DE PUERTO VALLARTA

Arturo Martín-Barajas¹, Mike Steckler² y Joann Stock³

¹ División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, B. C., México 22860.

² Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, N.Y., 10964, EUA

³ Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, Cal. 91125, EUA

INTRODUCCIÓN

Del 27 al 29 de octubre del 2000 se llevó a cabo en Puerto Vallarta, Jalisco, el taller sobre “Ruptura de la Litósfera Continental en la Región del Golfo de California y Salton Trough”. Este taller fue auspiciado por la Unión Geofísica Mexicana y el programa MARGINS de la National Science Foundation (NSF). El objetivo del mismo fue en discutir el estado del conocimiento sobre los procesos de *rifting* que operan en el Golfo de California, ya que ésta es una de las dos áreas seleccionadas por la iniciativa del programa MARGINS para el estudio de la ruptura de la litósfera continental. Al taller asistieron 56 científicos de Estados Unidos y 32 de instituciones mexicanas y consistió en la presentación de ponencias y carteles, incluyendo discusiones sobre diversos tópicos relacionados con esta iniciativa.

En las últimas dos décadas se han logrado avances sustantivos en lo que respecta a la comprensión de la cinemática de los procesos de *rifting* continental. El tema “Ruptura de la Litósfera Continental” (RLC) se seleccionó como una de las iniciativas científicas de MARGINS debido a que, no obstante los avances logrados en los últimos años, aún se desconocen muchos de los aspectos físicos asociados con este proceso, quedando todavía muchas preguntas por responder sobre los mecanismos y patrones de distribución de la deformación y el magmatismo asociados al proceso de *rifting*. En una reunión previa a la de Puerto Vallarta, en enero del 2000, en Snowbird, Utah, se realizó un taller y un curso corto con el tema “RUPTURING OF THE CONTINENTAL LITHOSPHERE”. En esa ocasión se formuló un plan científico para enfocar las investigaciones sobre la mecánica de fallamiento, distribución de la deformación y el emplazamiento del magma en regiones de *rifting* continental activo, en donde actualmente ocurre la transición a dispersión oceánica. Las dos áreas seleccionadas fueron el Golfo de California y el Mar Rojo (MARGINS Newsletter no. 5, Otoño 2000). Derivado de esta selección, en el taller de Puerto Vallarta, se discutieron los estudios requeridos para entender mejor los procesos de ruptura continental y revisar el avance de los estudios en el Golfo de California y Salton Trough. El taller se diseñó de manera que los investigadores que no habían realizado trabajos en esta región, o que no habían trabajado en procesos de *rifting*, pudieran familiarizarse con el estado actual de las investigaciones más relevantes e identificar cuáles son las

oportunidades científicas que existen en la región del Golfo de California. El taller también fue un foro en donde se encontraron investigadores mexicanos y estadounidenses para explorar posibles colaboraciones relacionadas con el tema del taller, el cual precedió la 2a. Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra.

ACTIVIDADES PRINCIPALES

El taller inició con unas palabras de bienvenida por Arturo Martín Barajas y con presentaciones de las instituciones a cargo del apoyo a la ciencia en México y Estados Unidos: el representante de NSF (Bilal Haq) y el representante del CONACYT (Jesús Cervantes Servín), seguidos de una presentación de Garry Karner de la Oficina de MARGINS. La información de los representantes de NSF y de MARGINS sirvió para que los científicos mexicanos se enteraran del funcionamiento de este programa y de su nivel de financiamiento, ya que MARGINS no es muy conocido en México. A su vez, la presentación del Fis. Cervantes Servín fue informativa para los científicos de Estados Unidos y les ayudó a comprender el papel del CONACYT en apoyo a la ciencia en México.

Las sesiones científicas iniciaron con una presentación acerca de las principales interrogantes sobre los procesos de *rifting* y una discusión sobre cuáles de estas cuestiones podrían ser resueltas con estudios en la región del Golfo de California y el Salton Trough. Los temas generales sobre procesos de *rifting* se presentan detalladamente en el plan científico de la iniciativa RLC (<http://www.ldeo.columbia.edu/margins/RCLdraft.pdf>).

Los temas que destacan son:

1. Fuerzas que conducen el inicio y desarrollo de un *rift*.
2. Ubicación y condiciones del inicio de un *rift* en diferentes ambientes.
3. Comportamiento del *rift* como un sistema termomecánico (leyes de flujo reológico y papel del fallamiento en un medio quebradizo, incluyendo falla normales de bajo ángulo).
4. Escala de la deformación de la corteza inferior durante el proceso de *rifting*.
5. Transferencia de calor hacia y dentro de la litósfera durante el proceso de *rifting*.

6. Distribución de la deformación extensional y transcurrente a profundidad y en superficie.
7. Procesos que controlan la arquitectura del *rift*.
8. Rol de los fluidos durante el proceso de *rifting*.
9. Entendimiento de la temporalidad, la cinemática y la reología de la transición de extensión continental a dispersión oceánica.
10. Composición y origen de la corteza transicional generada durante el proceso de *rifting*.

Las sesiones consistieron de varias presentaciones orales, posters y discusiones. Estas sesiones se organizaron bajo los siguientes tópicos generales:

- Observaciones de la corteza inferior y el manto litosférico en la región del Golfo de California.
- Observaciones de la corteza superior en Baja California y el Salton Trough.
- Observaciones en la corteza superior, volcanismo y flujo de calor al este del Golfo de California y en la provincia del *Basin and Range*.
- Evolución de las cuencas y de la corteza en la parte marina del Golfo de California.
- Estudios análogos y estudios teóricos.

La discusión durante las sesiones permitió a los participantes entender los trabajos en curso y la orientación de las propuestas para investigaciones futuras. La reunión concluyó con una descripción de algunos proyectos relevantes para la RLC en el Golfo de California, pero que se han presentado en otros programas de NSF (por ejemplo *Continental Dynamics*). El taller también incluyó una discusión de la logística, los aspectos legales y la normatividad para realizar trabajos en México, que estuvo dirigida principalmente a científicos de instituciones extranjeras. Al final se discutieron tópicos diversos de interés general.

HISTORIA GEOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

La región del Golfo de California y el Salton Trough comprende el límite de placas Pacífico-Norteamérica del sur de California y el noroeste de México. A lo largo de esta región, el límite cambia de carácter oceánico a continental. En la porción sur, la litósfera se ha abierto por completo propiciando la creación de piso oceánico, en tanto que, en la mitad norte, aún no se ha formado nueva corteza oceánica y el desplazamiento de las placas está ocurriendo a lo largo de una zona con deformación extensional de carácter continental. Esta región se conoce como Provincia Extensional del Golfo (PEG), la cual se une y confunde con la provincia del *Basin and Range* del sur de California y noroeste de México, donde la mayor parte de la deformación es más antigua.

En las cuencas del norte del golfo se desconoce la naturaleza y la composición de la corteza y de la litósfera, mientras que las cuencas del sur del golfo tienen ya un carácter oceánico. La Cuenca Alarcón, la más meridional, presenta una cresta y profundidades típicas de dorsal oceánica, con anomalías magnéticas que llegan al cron 2a (3.4 Ma). Las cuencas en la parte central del Golfo de California (e.g. Cuenca de Guaymas) presentan anomalías magnéticas axiales más estrechas, que se han interpretado como la respuesta de rocas intrusivas jóvenes de carácter máfico; sin embargo, ha sido imposible reconocer anomalías magnéticas simétricas en estas cuencas. En contraste, las cuencas en el norte del golfo (por ejemplo Cuencas Delfín) presentan una batimetría somera, con fallas normales distribuidas y afloramientos de rocas ígneas muy restringidos y cubiertas de sedimentos que no producen anomalías magnéticas simétricas. En el límite norte, el Salton Trough contiene cuencas colmadas de sedimentos en condiciones subaéreas; sin embargo, las observaciones geológicas y geofísicas en el Salton Trough son consistentes con la presencia de una corteza nueva que está en formación. Este proceso, al parecer, está representado por diques máficos que intrusionan y metamorfizan una gruesa secuencia de sedimentos terrígenos, pero no han producido corteza oceánica típica. En síntesis, la naturaleza de la corteza en la mitad norte del golfo podría ser igual a la nueva corteza que se ha identificado en el Salton Trough, o podría tratarse de corteza continental extendida, o una combinación de las dos.

La naturaleza de los límites transformes también cambia de sur a norte. Las fallas transformes en la porción sur del Golfo de California parecen ser de carácter oceánico. Sin embargo, contrario a lo que se observa en esta parte del golfo, al norte del sistema de falla transforme Ballenas, las cuencas Delfín y Wagner no están separadas por fallas transformes discretas, sino que, parecen traslaparse con complicadas zonas de falla que las separan y que tienen una orientación oblicua a la dirección del movimiento de placas.

Una característica importante de este sistema de *rift*, es su relación a una historia compleja de la tectónica de placas al oeste de Norteamérica. Antes del desarrollo del golfo había subducción de la Placa Farallón, dirigida al este, mientras que la Placa Pacífico se ubicaba al oeste. Cuando la Placa Pacífico se puso en contacto con la Placa Norteamérica, la subducción cesó a lo largo de la Península de Baja California a medida que la junta triple entre las placas Pacífico-Farallón-Norteamérica migraba hacia el sur. Esta junta triple dio un salto hacia su posición actual hace aproximadamente 12 Ma, y el límite al oeste de Baja California Sur experimentó un cambio tectónico mayor: de una zona de subducción de las microplacas Magdalena y Guadalupe, remanentes de la Placa Farallón, a una zona transtensiva de movimiento relativo entre las placas Norteamérica y Pacífico. La mayor parte de la extensión documentada en las márgenes del Golfo de California en la península, debió ocurrir después de este cambio tectónico (<12 Ma). En contraste, la mayor parte de la extensión en la margen continental de Sonora fue más temprana (25-12 Ma) y en una posición intraarco y trasarco con respecto a la subducción y al arco miocénico.

La actividad magmática relacionada al arco volcánico se extendió a lo largo de la porción oriental de la Península de Baja California. Esta actividad cesó progresivamente a medida que la junta triple migraba hacia el sur. La actividad volcánica andesítica fue seguida por un volcanismo bimodal (basalto-riolita, que incluye erupciones ignimbríticas) y por otra actividad localmente diversa que incluye composiciones alcalina, toleítica y calcoalcalina. Algunas de estas manifestaciones volcánicas continuaron su actividad durante el desarrollo del rift en el Mioceno tardío, Plio-Cuaternario y aún durante el Holoceno.

La extensión en el Golfo de California parece haber ocurrido en dos etapas. Durante la primera etapa, o etapa del protogolfo, la Península de Baja California actuó como una microplaca confinada entre las placas de Norteamérica y Pacífico, de tal forma que la abertura temprana del golfo se suma al movimiento total entre estas dos placas. Esta etapa temprana del rift debió tener un movimiento más ortogonal con el desplazamiento de rumbo ubicado fuera del protogolfo y posiblemente a lo largo del borde continental del Pacífico. Durante la segunda fase, la Península de Baja California debió estar esencialmente adherida a la Placa Pacífico, de manera que el desplazamiento posterior a 6 Ma, durante la abertura del golfo, representa el movimiento oblicuo Pacífico-Norteamérica.

En general, se piensa que la magnitud de la abertura del Golfo de California es de aproximadamente 300 km, con un desplazamiento a rumbo de similar magnitud. Sin embargo, en la porción sur del golfo existe un máximo de 180 km de corteza oceánica, por lo que debe haber un desplazamiento adicional que fue acomodado en algún otro sitio, probablemente por extensión continental y/o formación de corteza transicional durante el proceso de *rifting*. Los detalles de esta distribución de la deformación constituyen uno de los objetivos de primer orden de la iniciativa de RLC. Aún más, las variaciones en el estilo estructural del sistema de *rift* y la naturaleza de la transición continente-oceano son necesariamente independientes de la dispersión, ya que gran parte de la península se ha movido como un bloque rígido y las tasas netas de movimiento han sido constantes a lo largo del Golfo de California. En este caso, queda por definir cuáles son los factores que controlan las variaciones estructurales a lo largo del *rift*.

La margen noroeste del Golfo de California presenta una segmentación estructural que se ha atribuido a una tectónica de fallas tipo *detachment*. La segmentación del sistema actual del límite de placas podría estar relacionada con la segmentación temprana del rift; sin embargo, esta idea requiere aún verificarse en gran parte de la margen del golfo. Aun queda por aclarar con mayor detalle la relación entre las estructuras ortogonales del rift observadas en tierra y el sistema oblicuo de fallas transformes y crestas en el golfo, y su traslape en el tiempo. Además, es necesario investigar si las estructuras terrestres y su conexión con las estructuras marinas ejercen algún control en la ubicación actual de la zona de transición del rift con carácter continental, en el norte, y en las cuencas con carácter oceánico del sur del golfo.

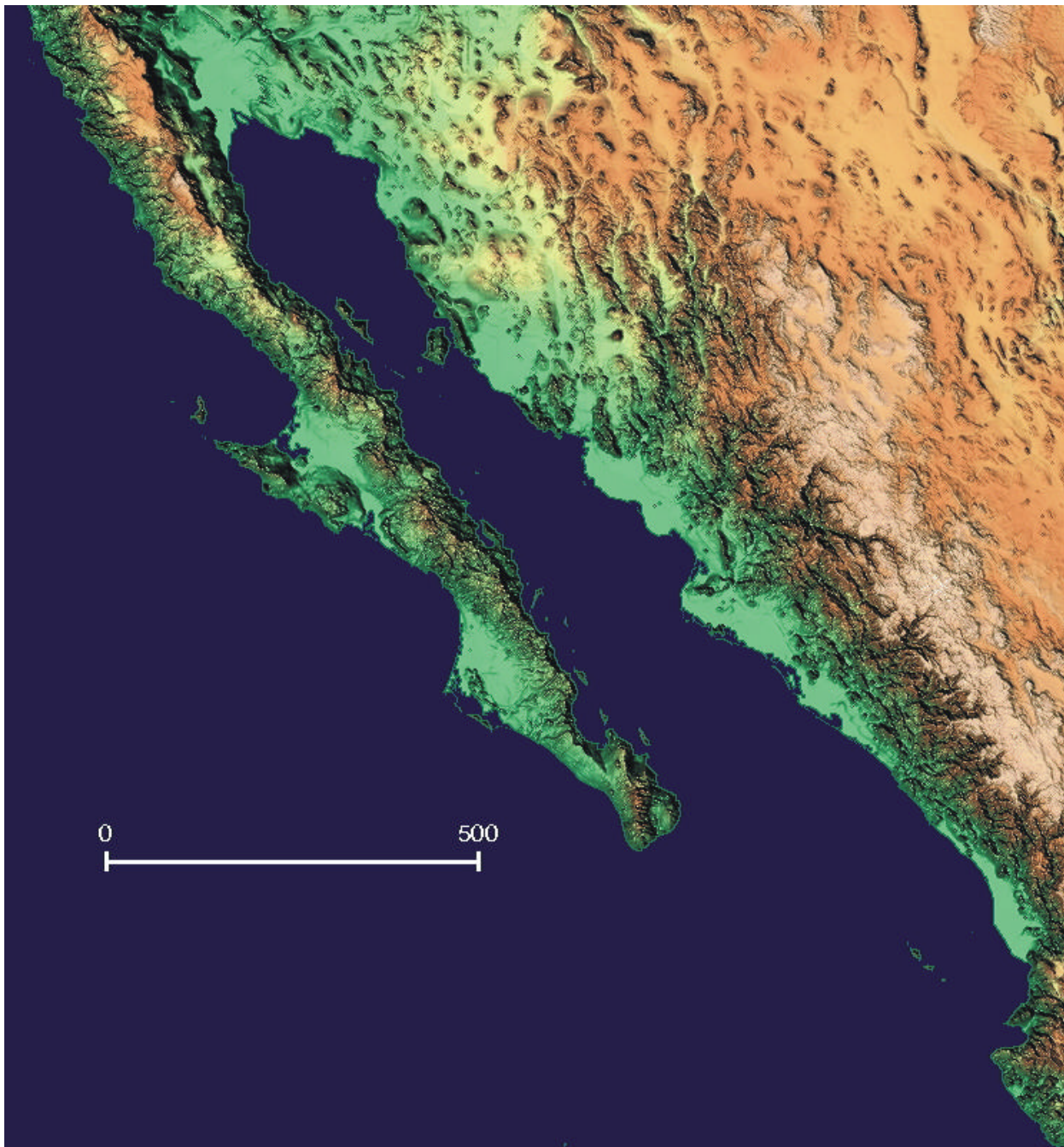
ASPECTOS CIENTÍFICOS SOBRESALIENTES

En la región del Golfo de California y el Salton Trough se pueden realizar varios estudios para comprender muchos aspectos relevantes sobre la ruptura de la litósfera continental. Durante el taller se discutió mucho sobre la necesidad de aumentar nuestro conocimiento acerca de la estructura de la litósfera en esta región. Por ejemplo, se requiere una determinación más precisa de la Moho bajo la parte central y los costados del rift. Es importante relacionar la composición y la evolución de la litósfera a la arquitectura del rift, y es importante también caracterizar la naturaleza y distribución de la corteza transicional en el rift. Aún se tienen imprecisiones sobre la magnitud de la corteza extendida y sobre cuánta corteza oceánica se ha producido en las diferentes cuencas del Golfo de California. La evolución termomecánica del rift podría precisarse mejor a través de una combinación de estudios de la historia volcánica, flujo de calor y modelado térmico. Pensamos que las condiciones iniciales para el proceso de *rifting* están influenciadas por la presencia del arco volcánico miocénico y la posible presencia de un fragmento de placa oceánica relictas bajo la Península de Baja California. El conocimiento de esto último es importante para evaluar la distribución de fuerzas que se requieren para romper la corteza continental del Golfo de California.

El Golfo de California exhibe variaciones en el estilo de deformación a través y a lo largo y del sistema de *rift*. Los segmentos del rift y sus márgenes conjugadas necesitan estudiarse para determinar secciones transversales y la evolución en el tiempo, así como la magnitud de una posible asimetría estructural de ambos lados del rift. La deformación se distribuye en fallas normales, oblicuas y de rumbo, a escala local en las cuencas, en las estructuras terrestres y marinas y en ambos lados de la península. De forma similar, se requiere estudiar el papel de las fallas de bajo ángulo en la evolución del rift y entender los controles en la distribución espacial y temporal de la deformación. El amplio registro de la sedimentación asociada a la distensión podría ser utilizado para acotar los modelos que nos permitan entender la interacción entre tectonismo, erosión y sedimentación, y entender cómo estos procesos han afectado la evolución del rift. Se necesita completar la cartografía geológica de las márgenes para determinar las relaciones entre las estructuras en tierra y el sistema marino de crestas y fallas transformes.

Aunque se conoce bastante sobre la evolución cinemática del Golfo de California, aún existen imprecisiones sobre la evolución del movimiento de las placas. Por ejemplo, el acoplamiento pasado y presente de la Península de Baja California a la Placa Pacífico a lo largo del borde continental del Océano Pacífico, requiere mejor definición, ya que es un factor importante para entender la partición del movimiento entre las placas Pacífico y Norteamérica.

El Golfo de California y el Salton Trough muestran una gran variación en el estilo estructural, en la forma y el tiempo de transición entre distensión continental y acreción oceánica. Esta variación estructural parece no estar relacionada a varia-



ciones en la tasa de abertura, la cual se considera homogénea, por lo que el Golfo de California ofrece la oportunidad de utilizar estos contrastes e investigar otros factores que pudieran haber controlado la ruptura de la litósfera continental y la transición a la dispersión oceánica.

RESÚMENES DISPONIBLES EN LA RED

Aunque este taller no generó un volumen formal, se invitó a los participantes a contribuir con un resumen que describiera sus trabajos terminados o en proceso, y que describiera sus intereses para trabajos futuros relacionados al tema del taller (RLC) en el Golfo de California y Salton Trough. Los resúmenes fueron traducidos a fin de crear un volumen bilingüe Inglés/Español, el cual estuvo disponible como archivo pdf. Los partici-

pantes pudieron imprimir este volumen antes de la reunión para familiarizarse con los temas a discutir. Los resúmenes aún pueden ser consultados y bajados de la red en: (<http://www.ldeo.columbia.edu/margins/GOC.html>).

AGRADECIMIENTOS

La asistencia logística de la oficina de MARGINS y de la Unión Geofísica Mexicana fue de gran ayuda para el éxito del taller. En particular queremos agradecer a Ivonne Pedrín, Lois Karner y Ana María Frías por todo su apoyo previo y durante la reunión. El apoyo financiero para los participantes provino de NSF grant OCE 00-94425 a la coordinación de MARGINS.

LISTA DE PARTICIPANTES

Mohamed G. Abdelsalam, University of Texas, Dallas
abdels@utdallas.edu

Jorge Jacobo Albarrán, Instituto Mexicano del Petróleo
jjacobo@www.imp.mx

Jorge Aranda, UNAM jjag@servidor.unam.mx

Gary J. Axen, UCLA gaxen@ess.ucla.edu

Suzanne L. Baldwin, Syracuse sbaldwin@syr.edu

Richard A. Bennett, Harvard rbennett@cfa.harvard.edu

Roger Buck, LDEO Columbia University
buck@ldeo.columbia.edu

Thierry Calmus, ERNO-UNAM tcalmus@servidor.unam.mx

Edgardo Cañón-Tapia, CICESE ecanon@cicese.mx

José Frez Cardeñas, CICESE jofrez@cicese.mx

Ana Luisa Carreño, UNAM anacar@servidor.unam.mx

Jesús Cervantes Servín, DAIC-Conacyt
gfranco@conacyt.mx

Frederick Chester, TAMU chesterf@geo.tamu.edu

David Christie, Oregon State University
dchristie@oce.orst.edu

Peter Clift, HOI pclift@whoi.edu

Luis A. Delgado-Argote, CICESE ldeldgado@cicese.mx

Timothy Dixon, Miami tdixon@rsmas.miami.edu

Rebecca J. Dorsey, Oregon rdorsey@darkwing.uoregon.edu

Mihai Ducea, Arizona ducea@geo.arizona.edu

Robert A. Dunn, Brown dunn@emma.geo.brown.edu

Juan Manuel Espinosa-Cardena, CICESE
jespinos@cicese.mx

Luca Ferrari, UNAM luca@geol-sun.igeolcu.unam.mx

John Fletcher, CICESE jfletche@cicese.mx

Lance Forsythe, CICESE forsythe@cicese.mx

Ana Maria Frías, CICESE afrias@cicese.mx

Kevin P. Furlong, Penn State kevin@geodyn.psu.edu

Jim Gaherty, Georgia Institute of Technology
gaherty@eas.gatech.edu

Phil Gans, UC Santa Barbara gans@geol.ucsb.edu

Juan García Abdeslem, CICESE jgarcia@cicese.mx

Ewa Glowacka, CICESE glowacka@cicese.mx

Enrique Gómez Treviño, CICESE egomez@cicese.mx

Mario González Escobar, CICESE mgonzale@cicese.mx

Antonio González-Fernández, CICESE mindundi@cicese.mx

Javier Gonzalez Garcia, CICESE javier@cicese.mx

Andrew Goodliffe, Hawaii andrew@soest.hawaii.edu

Robert N. Harris, Utah rnharris@mines.utah.edu

Dennis Harry, Alabama dharry@wgs.geo.ua.edu

Jim Hawkins, Scripps jhawkins@ucsd.edu

Don Helmberger, Caltech helm@gps.caltech.edu

Marc Hirschmann, Minnesota
Marc.M.Hirschmann-1@umn.edu

Jack Holt, UTIG jack@ig.utexas.edu

James S. Jackson, Portland, Oregon Qtzdiorite@aol.com

Susanne U. Janecke, Utah State sjanecke@cc.usu.edu

Garry Karner, LDEO garry@ldeo.columbia.edu

Lois Karner, LDEO lois@ldeo.columbia.edu

Miriam Kastner, Scripps mkastner@ucsd.edu

Graham M. Kent, UC San Diego gkent@ucsd.edu

Grant Kier, Colorado grant@emarc.colorado.edu

Simon Klemperer, Stanford sklemp@pangea.stanford.edu

Jorge Ledesma Vázquez, UABC ledesma@faro.ens.uabc.mx

Jonathan C. Lewis, UC Davis lewis@geology.ucdavis.edu

Daniel Lizarralde, Georgia Institute of Technology
danl@hatteras.eas.gatech.edu

Peter Lonsdale, Scripps lonsdale@kims.ucsd.edu

Harold Magistrale, San Diego State University
harold@hal.sdsu.edu

Maria G. Maldonado Sanchez, UNAM
magmaldonado@hotmail.com

Arturo Martin Barajas, CICESE amartin@cicese.mx

Fernando Martinez, Hawaii martinez@soest.hawaii.edu

Tim Melbourne, Central Washington tim@geology.cwu.edu

Ramon Mendoza Borunda, CICESE
rmendoza@cicese.mx

Elizabeth Miller, Stanford miller@pangea.stanford.edu

Gabriela Mora-Klepeis, Vermont gmora@zoo.uvm.edu

Elizabeth A. Nagy, Syracuse eanagy@syr.edu

Enrique H. Nava-Sánchez, CICIMAR-IPN
enava@redipn.ipn.mx

Chuck Nittrouer, Washington nittroue@ocean.washington.edu

Jonathan A. Nourse, California State Polytechnic
janourse@csupomona.edu

Amabel Ortega-Rivera, UNICIT-UNAM
amabel@servidor.unam.mx

Mike Oskin, Caltech oskin@gps.caltech.edu

Francisco A. Paz-Moreno, Universidad de Sonora
paz@marina.geologia.uson.mx

Simon Peacock, Arizona State peacock@asu.edu

Patricia Persaud, Caltech ppersaud@gps.caltech.edu

Cecilio Rebollar, CICESE rebollar@cicese.mx

Jeroen Ritsema, Caltech jeroen@gps.caltech.edu

José Manuel Romo Jones, CICESE jromo@cicese.mx

José Rosas-Elguera, CICESE jrosas@quantum.ucting.udg.mx

Mousumi Roy, New Mexico mroy@unm.edu

Keegan Schmidt, USC kschmidt@earth.usc.edu

John Sclater, Scripps sclater@turbogt.ucsd.edu

Eli Silver, UCSC esilver@earthsci.ucsc.edu

Christopher C Sorlien, UCSB Chrisneilr@aol.com

Debra Stakes, Monterrey Bay Aquarium Res. Inst.
debra@mbari.org

Michael Steckler, LDEO steckler@ldeo.columbia.edu

Joann Stock, Caltech jstock@gps.caltech.edu

Francisco Suárez Vidal, CICESE fsuarez@cicese.mx

Brian Taylor, Hawaii taylor@soest.hawaii.edu

Paul J. Umhoefer, Northern Arizona paul.umhoefer@nau.edu

Douglas Wiens, Washington doug@kermadec.wustl.edu

Victor Wong-Ortega, CICESE vwong@cicese.mx