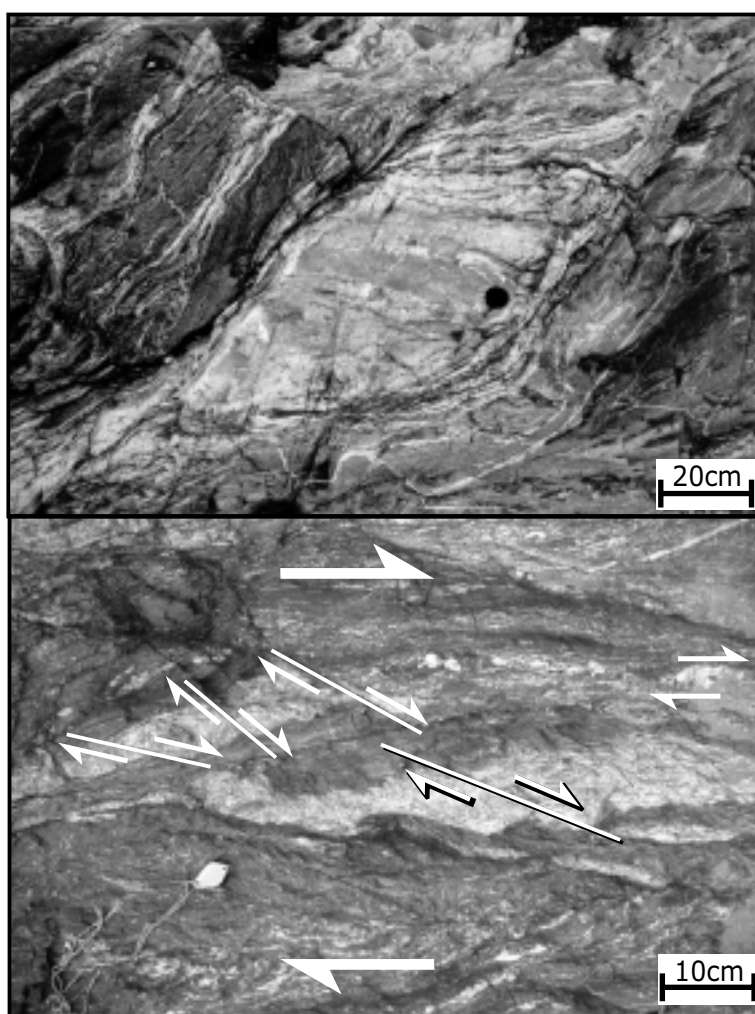


GEOS

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



Volumen 22

No. 1

Abril de 2002

GEOS

**BOLETÍN INFORMATIVO
DE LA
UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
(ISSN 0186-1891)**

GEOS es una revista cuatrimestral editada para la Unión Geofísica Mexicana, A.C. en la División de Ciencias de la Tierra del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

**UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
Mesa Directiva 2000-2001**

Dr. Juan García Abdeslem
Presidente

Dr. Luca Ferrari Pedraglio
Vicepresidente

Dr. Saúl Álvarez Borrego
Secretario General

Dr. José Manuel Romo Jones
Tesorero

Dr. Francisco Javier Pacheco Alvarado
Secretario de Investigación

Dr. Luis Alberto Delgado Argote
Secretario de Difusión

Dr. Roberto Molina Garza
Secretario de Educación

Dr. Julián Adem Chain
Presidente Honorario

GEOS, Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana, A.C. ISSN 0186-1891 (La Unión Geofísica Mexicana, UGM, es la Sociedad Civil no lucrativa de los profesionales de la Geofísica y Ciencias de la Tierra). **GEOS** es una publicación trimestral apoyada por el CICESE (División de Ciencias de la Tierra y División de Oceanología), UNAM (Coordinación de la Investigación Científica; Institutos de Geofísica, Geología, Geografía, Ciencias del Mar y Limnología e Ingeniería; Centro de Ciencias de la Atmósfera; y Facultad de Ingeniería), Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, Consejo de Recursos Minerales y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

GEOS, publica artículos y notas de investigación, divulgación, reportes, comentarios, noticias, opiniones, anuncios y aspectos relevantes para la vinculación y difusión de la actividad científica y docente de las Ciencias de la Tierra. Los artículos de investigación son arbitrados por duplicado, mientras que los de divulgación son arbitrados por un especialista.

En el caso de noticias, comentarios u otro tipo de escritos, los manuscritos no deben de exceder cuatro cuartillas. Todos los trabajos deberán ser enviados a los editores por correo electrónico.

Toda correspondencia dirigirla a:

Luis A. Delgado Argote
Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, B.C., México
Tel. 01(646)174-5050, Ext. 26060
Fax: 01(646)175-0559
Correo electrónico: ldelgado@cicese.mx

Luis A. Delgado Argote
Correo electrónico: ldelgado@cicese.mx
y

Juan García Abdeslem
Correo electrónico: jgarcia@cicese.mx
Editores

COMITE EDITORIAL

Harald Böhnelt, Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM
Noel Carbajal Pérez, Oceanografía Física, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
Oscar Campos, Geofísica de Exploración, Instituto de Geofísica, UNAM
Gerardo Carrasco, Vulcanología, Instituto de Geología, UNAM
Ana Luisa Carreño, Paleontología, Instituto de Geología, UNAM
Carlos Flores, Métodos Eléctricos y Electromagnéticos, CICESE
José Luis Frías Salazar, Cartografía, INEGI
Juan García Abdeslem, Gravimetría y Magnetometría, CICESE
René Garduño, Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Manuel Grajales N., Estratigrafía, IMP
Margarita López Martínez, Geoquímica, CICESE
Alejandro Hinojosa Corona, Sistemas de Información Geográfica, CICESE
Miguel Lavín, Oceanografía, División de Oceanología, CICESE
Luis Munguía Orozco, Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Jorge Ledesma Vázquez, Sedimentología, Facultad de Ciencias Marinas, UABC
Guillermo Pérez, Exploración Petrolera, PEMEX
Domitilo Pereyra, Ciencias Atmosféricas, UNIVERSIDAD VERACRUZ
Francisco José Sánchez Sesma, Ingeniería Sísmica, UNAM
Miguel Téllez, Sedimentología, UABC
Gustavo Tolson, Geología Estructural, Instituto de Geología, UNAM
Carlos Suárez Plascencia, Riesgo Geológico, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Héctor Pérez de Tejada, Estudios Espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM

Victor Manuel Frías Camacho
María Cristina Álvarez Astorga
APOYO TÉCNICO EDITORIAL

ÍNDICE

EDITORIAL	1
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
EL DESCUBRIMIENTO DE BASAMENTO METASEDIMENTARIO EN EL MACIZO DE CHIAPAS: LA "UNIDAD LA SEPULTURA"	2
<i>Bodo Weber, Birgit Gruner, Lutz Hecht, Roberto Molina-Garza y Hermann Köhler</i>	
COMPARACIÓN DEL VIENTO COSTERO Y MARINO DE LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA DURANTE EL INVIERNO DE 1994	12
<i>Juan Carlos Leal y Miguel F. Lavín</i>	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
LA TERMODINÁMICA Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE ROCAS CRISTALINAS	18
<i>Gustavo Tolson</i>	
CATÁLOGO DE LAS FALLAS REGIONALES ACTIVAS EN EL NORTE DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO	37
<i>Manuel Cruz-Castillo</i>	
REPORTES	
ESTADO ACTUAL DE RESNOM Y SISMICIDAD DE LA REGIÓN NOROESTE DE MÉXICO EN EL PERIODO SEPTIEMBRE- DICIEMBRE DE 2001	43
<i>GRUPO RESNOM</i>	
SISMICIDAD DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO (PERIODO ENERO A MARZO, 2002)	49
<i>Javier Fco. Pacheco, Casiano Jiménez, Arturo Iglesias, Jesús Pérez Santana, Jorge A. Estrada, José L. Cruz, Arturo Cárdenas, María de los Ángeles Gutiérrez, Bernardino Rubí y José A. Santiago</i>	
NOTAS	
LA SEXTA OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA: ¿AL CEREBRO LE DA HAMBRE?	55
<i>Enrique Gómez Treviño</i>	
LA SÉPTIMA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA: EL PLACER DE DESCUBRIR	62
<i>Enrique Gómez Treviño</i>	
LA INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL SOBRE PALEOPEDOLOGÍA: UNA VISIÓN DESDE MÉXICO DURANTE EL "VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND FIELD WORKSHOP ON PALEOPEDOLOGY"	66
<i>Jaime Urrutia-Fucugauchi, Elizabeth Solleiro-Rebolledo, Sergey Sedov y Jorge Gama-Castro</i>	
NOTICIAS DE LA UGM	
ACTA DE LA ASAMBLEA GENERAL DE LA REUNIÓN ANUAL 2001 DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.	69
INFORME FINANCIERO DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C., 2001	72
III REUNIÓN NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA	74
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 2002	75
COMUNICACIONES	
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES	93
FORMA DE ARBITRAJE	95



EDITORIAL

¿UNA RED NACIONAL DE POSGRADOS DE CIENCIAS DE LA TIERRA?

Al terminar el primer cuatrimestre del año también finalizó el ejercicio de autoevaluación que hicieron todos los posgrados que atendieron a la convocatoria del CONACyT para ingresar al Programa para el Fortalecimiento del Posgrado Nacional -Padrón Nacional de Posgrado (PNP) y Programas Integrales de Fortalecimiento del Posgrado (PIFOP)-, que sustituirá al Padrón de Programas de Posgrado de Excelencia. Si todos hicimos bien nuestro ejercicio y además, echamos una mirada al panorama nacional, nos pudimos dar cuenta de que nuestro esfuerzo está dirigido a una población de decenas de estudiantes que están egresando principalmente de universidades públicas.

Estamos de acuerdo, en principio, que una Institución de Educación Superior (IES) tiene una vida saludable y balanceada cuando sus actividades de investigación están estrechamente vinculadas con la educación que ofrecen y viceversa. Desde ese punto de vista, entre los objetivos de los proyectos de investigación, se contemplan el entrenamiento y asignación de tareas a estudiantes que terminarán graduándose a través de una tesis relacionada con el proyecto y, en el mejor de los casos, hasta escribirán un artículo, o dos, dependiendo de su nivel de estudios. Siendo los estudiantes tan escasos y tan amplia la oferta de posgrados, es claro que nuestras instituciones tienen una dura tarea de captación y reclutamiento. Ahora bien, como la piratería de estudiantes no es, ni debe ser una práctica aconsejable, no nos queda más remedio que insistir en la formación de redes de intercambio de profesores, investigadores, estudiantes y de infraestructura entre las IES con programas en Ciencias de la Tierra. De reconocerse la necesidad y posibilidad del intercambio académico, deberemos trabajar en el reconocimiento de créditos académicos entre nuestras IES y, con el objeto de optimar recursos y tener foros con amplia participación, deberán aprovecharse las reuniones anuales de las sociedades geocientíficas como espacios de discusión, análisis y difusión de los posgrados para formar lo que podría llamarse la RED DE POSGRADOS DE CIENCIAS DE LA TIERRA (REPOCT). Una de las funciones principales de la REPOCT sería desarrollar programas interinstitucionales con reconocimiento principalmente por parte de la SEP y el CONACyT, y buscar la homologación de la calidad de los programas de posgrado para facilitar y garantizar la eficiencia de la movilidad académica.

Finalmente, la existencia de una red como la mencionada podría respaldar trabajos editoriales multidisciplinarios que incluyen material de enseñanza, investigación, divulgación y técnico, como el de GEOS y otras revistas, que los criterios actuales de CONACyT no consideran sujetos de evaluación por no ser estrictamente científicas. De esta forma, garantizaríamos que la comunidad de Ciencias de la Tierra tuviera un foro amplio de discusión con un criterio editorial más amplio que el que se maneja a nivel de IES.

EL DESCUBRIMIENTO DE BASAMENTO METASEDIMENTARIO EN EL MACIZO DE CHIAPAS: LA “UNIDAD LA SEPULTURA”

Bodo Weber¹, Birgit Gruner², Lutz Hecht³, Roberto Molina-Garza⁴ y Hermann Köhler⁵

¹ Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Km 107, Carretera Tijuana-Ensenada, 22860 Ensenada, B.C., México
E-mail: bweber@cicese.mx

² Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie, Technische Universität München
Arcisstr. 21, D-80290 München, Alemania

³ Institut für Mineralogie, Museum für Naturkunde, Humboldt-Universität zu Berlin
Invalidenstr. 43, D-10115 Berlin, Alemania

⁴ Unidad de Ciencias de la Tierra, Campus Juriquilla, UNAM
Km 13, Carretera San Luis Potosí, Juriquilla, 76230 Querétaro, México

⁵ Institut für Mineralogie, Petrologie und Geochemie, Universität München
Theresienstr. 41, 80333 München, Alemania

RESUMEN

El macizo de Chiapas forma el basamento cristalino del sur del terreno Maya y consiste, en su mayor parte, de rocas ígneas de edad Permo-Triásico. Como basamento metamórfico hay reportes de gneises y migmatitas ortogénicas de una posible edad Pan-Africana o Precámbrica. Presentamos la primera descripción petrográfica de una secuencia metasedimentaria en el macizo de Chiapas, nombrada la “Unidad La Sepultura”. Esta unidad litodémica está compuesta por calcosilicatos de granate, diopsida y wolastonita; mármoles con olivino; y metapelitas parcialmente con granate y cordierita, que indican condiciones metamórficas de alta temperatura y baja presión, acompañadas por una intensa deformación dúctil. Metamorfismo de bajo grado con alta actividad de agua se identifica como evento subsiguiente e independiente al metamorfismo de alto grado. Las condiciones metamórficas indicadas por las rocas metasedimentarias de la “Unidad La Sepultura” son distintas a otros complejos metamórficos, tanto en el terreno Maya, como en otros terrenos del sur de México.

INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

La Sierra de Chiapas está compuesta en su mayor parte de rocas ígneas del macizo de Chiapas, el cual es uno de los complejos ígneos más grandes de México, con una extensión de aproximadamente 20,000 km². El macizo de Chiapas forma el basamento cristalino de la parte sur del terreno Maya. Está limitado hacia el oeste por el Istmo de Tehuantepec y hacia el sureste por el sistema de fallas Motagua-Polochic, el cual forma el límite entre el terreno Maya y el bloque Chortis de Centroamérica (Figura 1, Sedlock *et al.*, 1993). Al oeste del Istmo de Tehuantepec afloran rocas ígneas similares a las del macizo de Chiapas, formadas por el batolito de la Mixtequita, que intrusión al basamento granulítico de edad Mesoproterozoica y por el complejo Guichicovi (Figura 1; Murillo-Muñetón, 1994; Weber, 1998; Weber y Köhler, 1999). Esto indica que por lo menos la parte occidental del terreno Maya está relacionada con lo que Ortega-Gutiérrez *et al.* (1995) llamaron el microcontinente *Oaxaquia*. La existencia de una continuación de Oaxaquia al este del Istmo de Tehuantepec es una de las preguntas todavía por contestar sobre la geología del sur de México.

La naturaleza del basamento en el istmo está oscurecida por la depresión del Istmo de Tehuantepec. Esta depresión está relacionada a una extensión en dirección este-oeste debido a la subducción del Tehuantepec Ridge en el golfo de Tehuantepec (Figura 1a), que tiene como consecuencia el adelgazamiento de la corteza en la región del istmo (Meritano-Arenas, 1972; Ponce *et al.*, 1992). Estos autores consideran que el basamento es el mismo a ambos lados del istmo; pero si se supone que hay movimiento importante a lo largo de una falla lateral cruzando el Istmo de Tehuantepec en dirección norte-sur (falla Salina Cruz), como propuso Viniegra (1971), ello no sería posible. De cualquier modo, hasta la fecha la falla Salina Cruz no ha sido comprobada en el Istmo de Tehuantepec (Salvador, 1987; Delgado-Argote y Carballido-Sánchez, 1990; Weber, 1998).

La geología del macizo de Chiapas es poco conocida. Algunos autores lo llamaron Batolito de Chiapas por la predominancia de rocas graníticas (p.e. Damon *et al.*, 1981; Morán-Zenteno, 1984). Damon *et al.* (1981) publicaron edades por K-Ar de diferentes minerales que varían entre 290 y 170 Ma y una isocrona de Rb-Sr (10 puntos) de 256 ± 10 Ma para rocas graníticas del macizo de Chiapas, lo que indica un emplazamiento y enfriamiento durante el Permo-Triásico hasta el Jurásico. Las edades permotriásicas se han comprobado recientemente con fechamientos por Rb-Sr de biotita/muscovita-

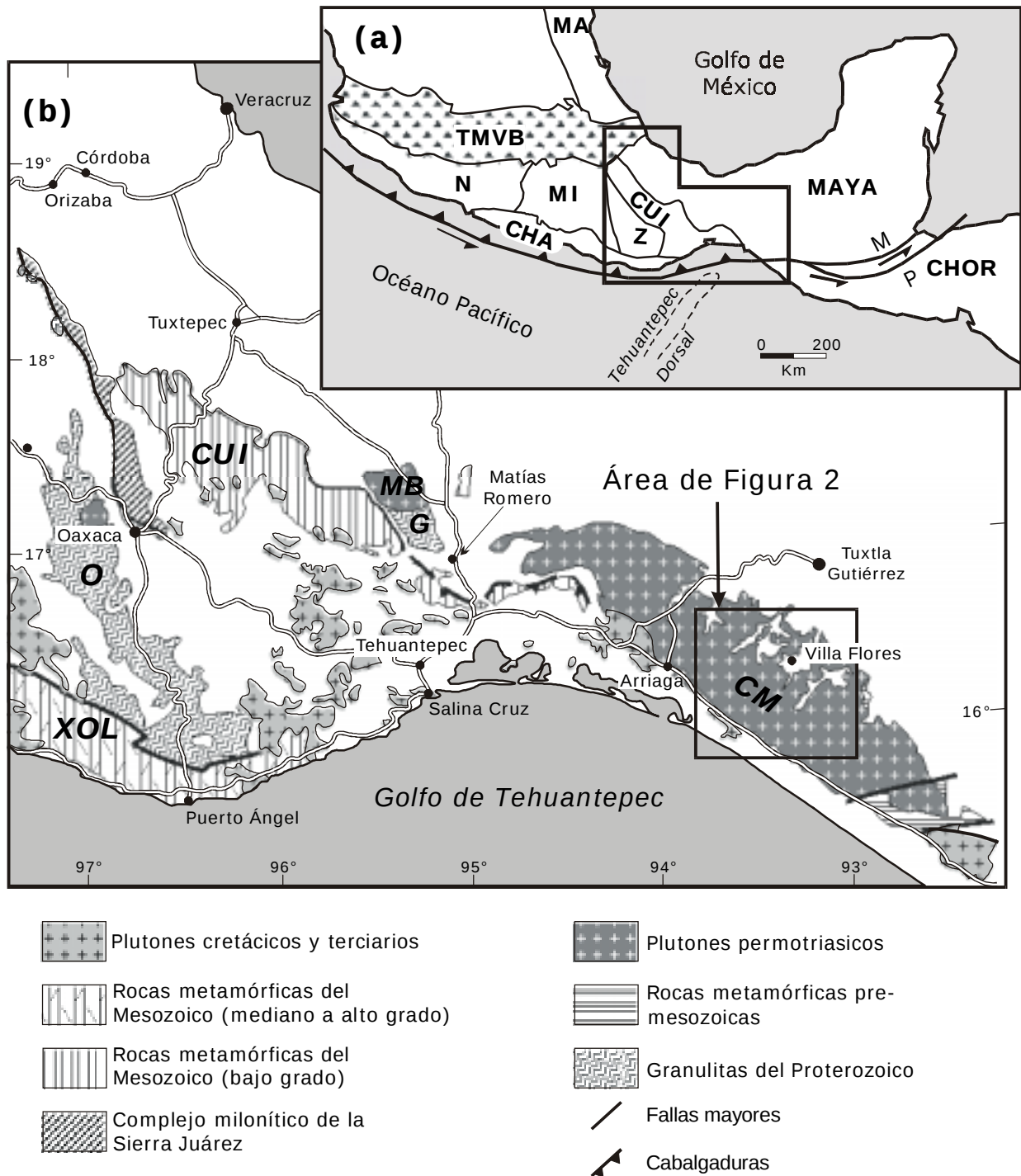


Figura 1. (a) Bosquejo de los límites de los terrenos del sur de México; CHA=Chatino, CHOR=Chortis, CUI=Cuicateco, MA=Maya, MI=Mixteco, N=Náhuatl; Z=Zapoteco (según Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1990); M,P = sistema de fallas Motagua-Polochic; TMVB = Cinturón volcánico transmexicano; - (b) mapa geológico ilustrando las rocas ígneas y metamórficas expuestas en el sur de México (modificado según Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992); A = complejo Acatlán, CM = Macizo de Chiapas, CUI = terreno Cuicateco, G = complejo Guichicovi, MB = batolito de la Mixtequita, O = complejo Oaxaqueño, XOL = complejo Xolapa.

roca total entre 214 y 244 Ma (Schaaf *et al.*, en prensa) y una edad de zircones con U-Pb (edad de intersección inferior) en 227 ± 11 Ma (Weber *et al.*, 2001), pero también un evento térmico en el Jurásico parece evidente indicado por una edad de biotita (Rb-Sr) de 175 ± 9 Ma. (Schaaf *et al.*, en prensa). En el batolito de la Mixtequita al oeste del Istmo de Tehuantepec, se

han reportado edades muy similares con los mismos dos eventos térmicos (Damon *et al.*, 1981; Murillo-Muñetón, 1994; Weber, 1998; Weber *et al.*, 2001), que sugieren un solo complejo ígneo que continúa a ambos lados del istmo. No obstante, existen importantes diferencias de opinión con respecto al alto grado de deformación dúctil que sufrieron la mayoría de las

rocas ígneas en el macizo de Chiapas en comparación con el batolito de la Mixtequita, que en su mayor parte no está deformado (Schaaf *et al.*, en prensa).

Recientemente se llevaron a cabo algunos estudios de campo al sur y suroeste de Villa Flores (Figura 2), en los que se reveló la existencia de basamento pre-batolítico en el macizo de Chiapas (Gross, 2000; Heck, 2000; Möllinger, 2000; Weis, 2000). Se encontraron rocas metamórficas en su mayor parte ortogénicas (ortogneises, augengneises, migmatitas y anfibolitas) que fueron intrusionadas por los granitoides y gabros del Pérmico-Triásico. Las primeras edades que indican un basamento Paleozoico hasta Precámbrico (390-780 Ma) se obtuvieron de zircones utilizando el método radiométrico de Pb- α (Pantoja-Alor *et al.*, 1974). Fechamientos isotópicos recientes y en proceso todavía no han dado evidencias muy claras, pero edades alrededor de 510 Ma (Rb-Sr en roca total y $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ en zircones) sugieren, que el evento Pan-Africano jugó algún papel en el macizo de Chiapas (Schaaf *et al.*, en prensa). No obstante, otra edad de zircones de 664^{+84}_{-76} Ma (intersección superior; Weber *et al.*, 2001) indica que existen núcleos de zircones aún más antiguos.

En vista de que las rocas ígneas se encuentran sumamente deformadas e incluyen abundantes zonas de milonitización (Möllinger, 2000; Heck, 2000), las relaciones entre rocas batolíticas (ígneas) y pre-batolíticas (metamórficas) no siempre son claras, de tal manera que no se puede excluir que todo sea del mismo complejo batolítico. En ese caso, rocas metasedimentarias (supracorticales) pueden ser útiles para comprobar la naturaleza del basamento pre-batolítico y también nos pueden dar información importante acerca del origen de este basamento y de sus condiciones metamórficas. Schaaf *et al.* (en prensa) mencionan la presencia de rocas metasedimentarias con silimanita a partir de la descripción de un canto que encontraron en el río Los Amates al suroeste de Villa Flores, así como mármol con olivino que aflora en el valle del río Tablón cerca de Los Angeles (Figura 2); aparte de esos hallazgos, no existen descripciones de afloramientos de rocas metasedimentarias en el centro del macizo de Chiapas. Con esta contribución presentamos el primer reporte de una secuencia metasedimentaria que forma parte del basamento del macizo de Chiapas, a la que llamamos Unidad La Sepultura.

RELACIONES DE CAMPO

El valle del río Tablón penetra al macizo de Chiapas en dirección suroeste aproximadamente a la mitad del camino entre Villa Flores y Arriaga, ~4 km al oeste del pueblo Agrónomos Mexicanos (Figura 2). Las coordenadas de la entrada a la terracería, que llega a los pueblos Ricardo Flores Magón, Los Angeles y Tierra y Libertad, son 16°20.4' N y 93°33.8' W. La parte suroeste del valle del río Tablón, adelante del pueblo Ricardo Flores Magón, es parte de la reserva de la biosfera “La Sepultura” por lo que proponemos este nombre para la secuencia metasedimentaria que se estudia aquí.

En los primeros kilómetros a lo largo del camino afloran granitoides del batolito. El primer afloramiento de rocas metasedimentarias se encuentra después de aproximadamente 13 km (3 km antes de Los Angeles), en donde se observan mármoles con olivino y calcosilicatos con clinopiroxenos, ambos intrusionados por diques graníticos. Llama la atención el cambio topográfico en esta zona, pues aparece más cambiante donde aparentemente los calcosilicatos forman crestas en los cerros. Los afloramientos de la localidad tipo de la Unidad La Sepultura se encuentran en esta misma zona dentro de la barranca del río Tablón (Figuras 2b y 3; 16°16.7' - 16°17.1' N; 93°36.9' - 93°37.0' W). La unidad está compuesta principalmente por dos tipos de rocas: calcosilicatos (con algunos mármoles) y paragneises, que incluyen migmatitas y esquistos de biotita. Toda la secuencia está intrusionada por diques graníticos con espesores que varían entre decenas de centímetros a decenas de metros. El contacto con el plutón granítico es intrusivo y en la zona de contacto son abundantes los xenolitos de rocas metasedimentarias dentro de los granitos (Figura 4). Debido a su deformación y su metamorfismo, no se observa una estratificación definida en las litologías, así que la unidad La Sepultura se define estrictamente como unidad litodémica.

La mayoría de los paragneises son migmatitas, ya que muestran fusión parcial (anatexis) con pequeñas bandas o manchas de neosomas compuestos de cuarzo y feldespato (Figuras 3b, 5 y 6a). En algunas porciones también presentan porfiroblastos de granate en el neosoma, cuyos tamaños llegan a 5 cm y más (Figura 6a). Una foliación predominante en los paragneises es norte-sur. Bandas de leucosomas (cuarzo y feldespatos) están plegadas dentro de la foliación en forma isoclinal o ptygmática e indican que la anatexis que quedó registrada en estas rocas es más antigua que (e independiente de) la formación de los intrusivos y sus efectos en la roca encajonante. Dentro de las migmatitas comúnmente se observan inclusiones de calcosilicatos cuyos tamaños varían desde decenas de centímetros hasta varios metros. Estas inclusiones confirman el origen paragenético de estas rocas (Figura 5a). Las inclusiones de los calcosilicatos forman estructuras tipo *boudin* (Figura 5a), que indican contraste de competencia entre el paragneis y los calcosilicatos, donde los calcosilicatos fueron más competentes durante la deformación dúctil. Esto está documentado también por numerosas fisuras de tensión dentro de los boudines de calcosilicatos, cuyas orientaciones y relaciones con la foliación de la roca encajonante indican una extensión en dirección NE-SW y por consiguiente cizallamiento dextral en dirección norte-sur. *Boudinage* asimétrico y fallas tipo bandas de cizalla (Figura 5b) que se observan en bandas félsicas de las migmatitas también indican una deformación dúctil con movimiento dextral N-S. Los mármoles que afloran en el camino tampoco forman una capa continua sino que, al igual que los calcosilicatos, parecen ser boudines dentro de las migmatitas.

Sin embargo, los calcosilicatos no se observan únicamente como inclusiones en las migmatitas y paragneises. La parte sur de la unidad estudiada está compuesta por una secuencia de calcosilicatos macizos en donde las rocas metapelíticas se re-

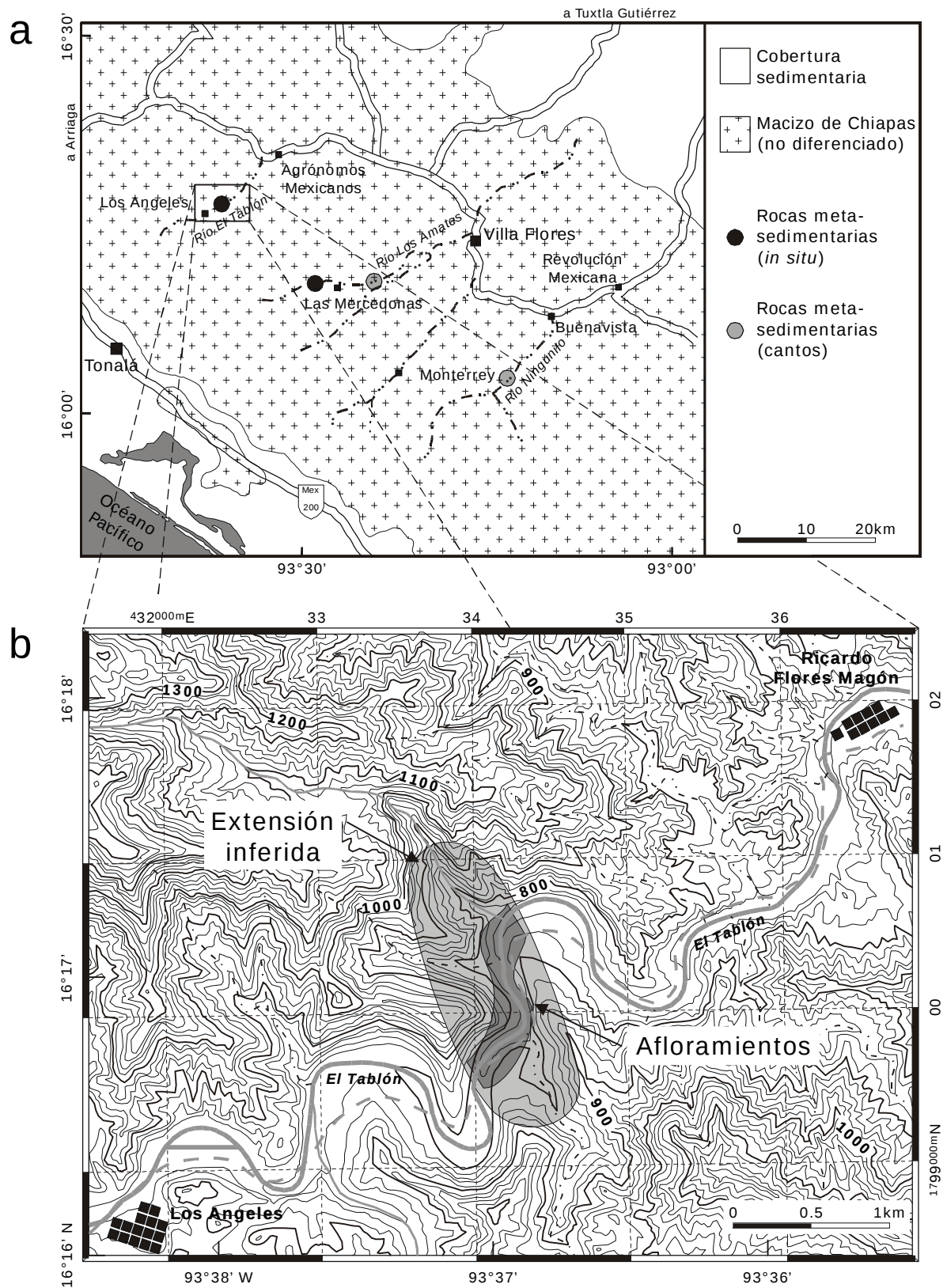


Figura 2. (a) Mapa del área de Villa Flores, Chiapas, con los sitios de las rocas metasedimentarias; – (b) mapa topográfico del área entre Ricardo Flores Magón y Los Angeles, Chiapas, con la ubicación de los afloramientos y la extensión inferida de la unidad La Sepultura.

ducen a intercalaciones subordinadas. Es notable la abundancia de granate (hasta más de la mitad) en algunas capas de los calcosilicatos, tanto que la roca adquiere un color café-rojizo.

Otras partes de la misma secuencia sobresalen por su predominancia en wolastonita (Figura 7a), por lo que las rocas tienen un color blanco que, desde lejos, las hace ver muy pare-

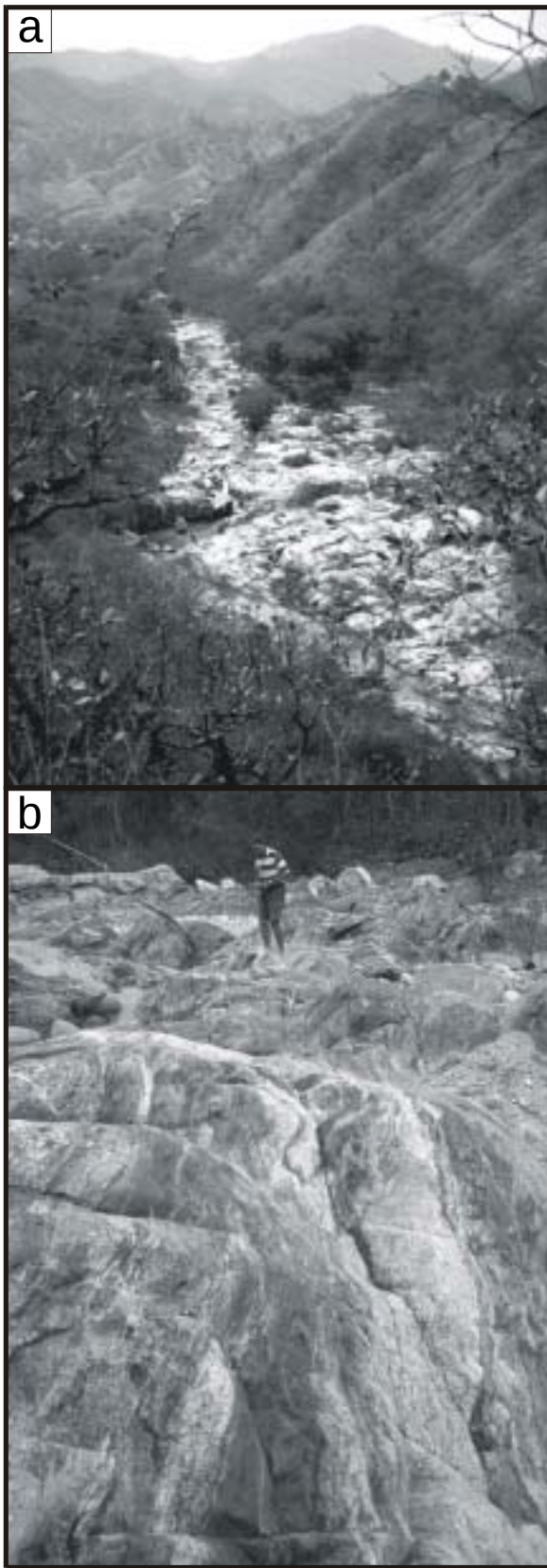


Figura 3. (a) Vista sobre el valle del río Tablón, Chiapas, con los afloramientos de la unidad La Sepultura; – (b) afloramiento de paragneises migmatíticos sobre el río Tablón.

cidas a los mármoles. Al contrario de las inclusiones de calcosilicatos en los paragneises, las cuales no muestran deformación dúctil pues se presentan como bloques rígidos en los paragneises deformados, la secuencia maciza de los calcosilicatos está sumamente deformada y plegada en pliegues abiertos hasta isoclinales.

Todavía no se ha hecho una cartografía de detalle de la unidad La Sepultura, por lo que sus dimensiones y límites con el complejo intrusivo siguen siendo desconocidos. De los afloramientos que se encuentran en el valle del río Tablón se infiere un espesor mínimo de 400 a 500 metros (Figura 2b).

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

CALCOSILICATOS

De acuerdo con la presencia o ausencia de wolastonita, la parte calcosilicatada de la unidad La Sepultura puede dividirse petrográficamente de la siguiente manera:

Grupo 1. Calcosilicatos de wolastonita de color blanco (Figura 7). Un 50% de su composición mineralógica es de wolastonita. Los cristales de wolastonita en su mayor parte son agregados nematoblásticos en forma radial sin orientación, aunque también se observan fibras de wolastonita orientadas, por lo que se interpreta que posiblemente existen dos generaciones del mismo mineral. El granate, que alcanza hasta el 40% de la composición mineralógica de esta roca, es el segundo mineral más abundante. En muestra de mano su color es rojizo a café relativamente claro y en lámina delgada su color es café amarillo, típico para granate rico en Ca (grosularita). Los granates forman poiquiloblastos xenomórficos de hasta un tamaño de 3 a 4 cm y se encuentran sumamente fracturados. Todos los poiquiloblastos están alargados y orientados en una sola dirección igual que las inclusiones de clinopiroxenos (diopsida) que definen una foliación relictas paralela a la elongación de los granates. El clinopiroxeno de color verde olivo se encuentra fuera de los granates, en la matriz, y acumulado en pequeñas capas verdes que se pueden observar también en muestra de mano (Figura 6a). Muy ocasionalmente se observan carbonatos en cuadradillos y rellenando fracturas. La textura de la roca es en parte metamórfica con foliación y minerales orientados y alargados; en otra parte los agregados radiales de wolastonita aparentemente reemplazan a la textura metamórfica y parcialmente también a los porfiroblastos de granate. De las observaciones se infiere el siguiente orden de la formación de los minerales: Clinopiroxeno – granate + clinopiroxeno + wolastonita 1 – wolastonita 2.

Grupo 2. Otro tipo de calcosilicatos que se observan frecuentemente en la unidad La Sepultura son de color café-rojizo o verde. Clinopiroxenos verdes (diopsida) aparecen en forma de granos hipidiomórficos a xenomórficos con tamaños

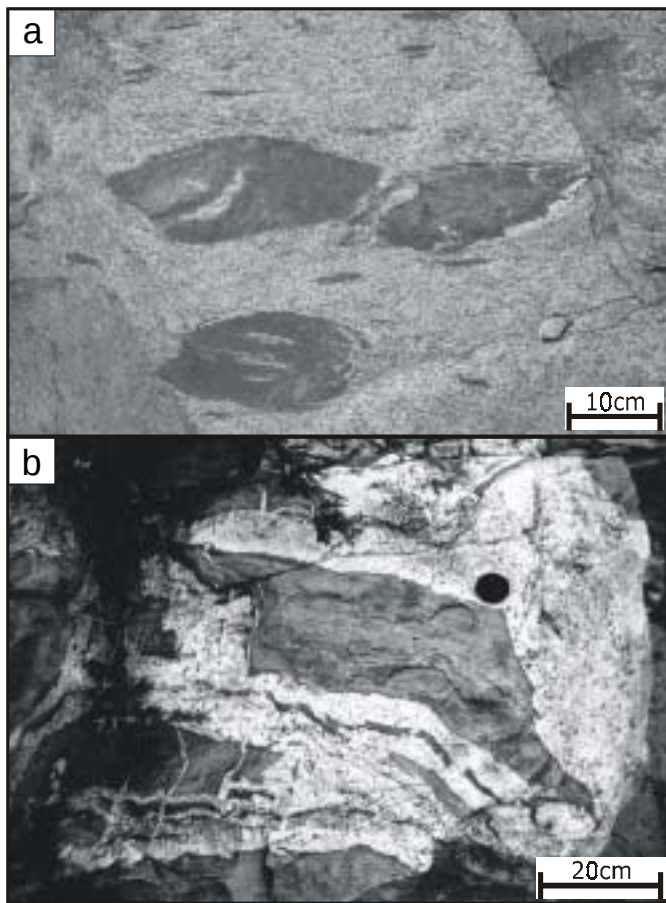


Figura 4. (a) Afloramiento de un granito con xenolitos de paragneises (~100m al NE de la unidad La Sepultura, río Tablón, Chiapas); – (b) un dique granítico que intrusiona a los paragneises de la unidad La Sepultura. Nótese el desmembramiento y la resorción del paragneis en el granito.

promedio de menos de 1mm, que forman hasta un 40% de la roca. El granate poiquiloblástico ocupa la mayor parte de la roca, creciendo sobre diopsida, cuarzo (10%) y también un poco de carbonato, lo que indica que el granate se formó posteriormente a los demás minerales, lo que implica un aumento de la temperatura durante el metamorfismo. La textura de ese tipo de calcosilicatos es más bien félsica; sin embargo, el clinopiroxeno y cristales de titanita muestran una foliación relictas. Fracturas tardías se encuentran rellenas de zoisita y de cuarzo (secundario).

Por su alto contenido en granate los calcosilicatos son relativamente ricos en Al, favoreciendo a margas como protolitos, o más bien margas calcáreas, dado que ni los contenidos en Al ni en K eran suficientes para formar micas, las que no se observaron en ninguna de las muestras. En los calcosilicatos que forman las inclusiones en los paragneises, los minerales del grupo de la epidota son mucho más abundantes que en los calcosilicatos macizos, por lo que se deduce que las inclusiones en los gneises fueron afectadas por una retrogresión y alteración secundaria.

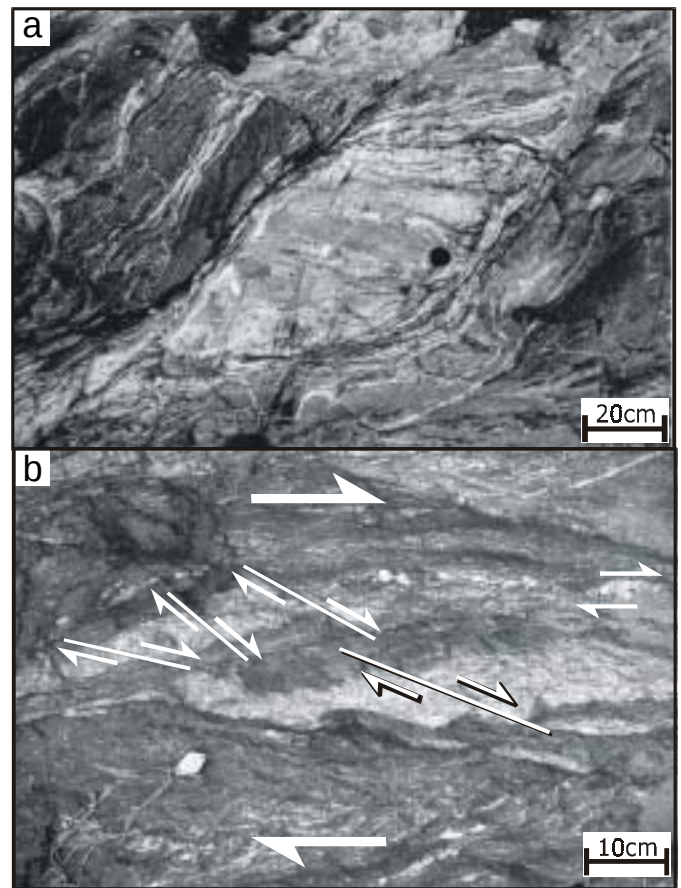


Figura 5. (a) Paragneis migmatítico con una inclusión *boudinada* de calcosilicatos (nótese que la foliación dentro y alrededor de la inclusión está rotada en sentido derecho con respecto a la foliación del gneis); – (b) Paragneis migmatítico con bandas de cizalla y porfiroclastos de feldespatos, indicando un cizallamiento dextral en dirección N-S.

PARAGNEISES

La secuencia de paragneises de la unidad La Sepultura, que incluye tanto migmatitas como esquistos de biotita, tiene como protolitos pelitas y semipelitas. Todas las muestras estudiadas tienen en común la ausencia de muscovita primaria.

La muestra CB08-8 (Figura 8) es un gneis migmatítico de granate y cordierita. El leucosoma de cuarzo y plagioclasa es de forma difusa sin orientación preferente, mientras que el melanosoma, principalmente de granate, biotita, $\pm$ cordierita tiene una orientación bien definida por bandas de biotita. El granate (15-20 %) es rojo, aparentemente rico en pirope, y desarrolla agregados glomeroblásticos, esqueletales de hasta ~2 cm (Figura 8a). Los glomeroblastos de granate incluyen biotita, cuarzo y raramente cordierita y accesorios. El granate está en contacto con cordierita, biotita y cuarzo (Figura 8b). La cordierita (15-20%) es xenoblástica con límites irregulares y con poca pinitización restringida a los márgenes de los granos. Además, se puede observar que la cordierita se formó a expensas de biotita (Figura 8c). Existen dos generaciones de biotita. La primera generación (~20%) es lepidoblástica y forma las bandas en el melanosoma. Es posible que mucha biotita primaria se haya consumido en reacciones metamórficas de alta tem-

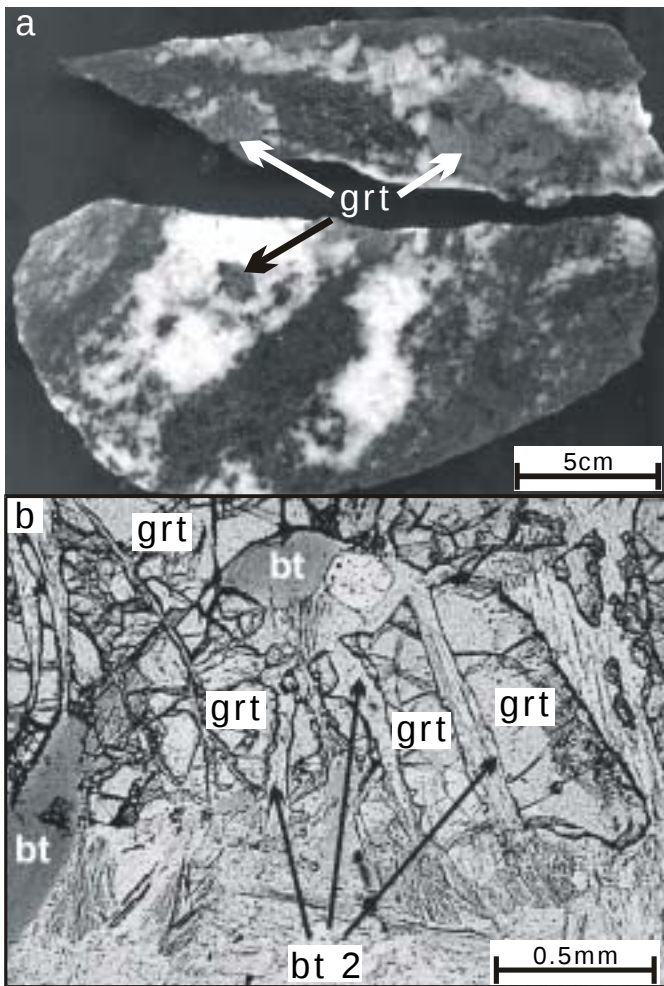


Figura 6. Paragneiss migmatítico [muestra CB08-5]: (a) muestra de mano con neosomas de cuarzo, feldespato y megablastos de granate (grt), el paleosoma es muy rico en biotita; – (b) lámina delgada con granate (grt), biotita primaria rico en Ti (bt) y biotita secundaria (bt 2), mostrando la retrogresión de granate a lo largo de fracturas.

peratura y durante la fusión parcial de la roca. Las biotitas de la primera generación son de alta temperatura debido a su alto contenido en Ti que se documenta en su pleocroismo desde café-amarillo a café-rojizo y a la presencia de pequeñas exsoluciones de rutilo. La segunda generación de biotita es retrógrada y está presente en escamas dentro de los glomeroblastos de granate.

La plagioclasa (~15%), feldespato potásico (~5%) y cuarzo (~15%) forman el leucosoma con una textura más o menos granular. La silimanita se encuentra únicamente como pequeñas agujas dentro de la cordierita y puede ser secundaria (Fig 8c). Aparte de la apatita y del zircón, también se encontró monazita como accesorio. La presencia de fibras de grafito indica baja actividad de agua durante el metamorfismo. Las reacciones responsables de las composiciones mineralógicas observadas en esta roca metapelítica pueden ser las siguientes:

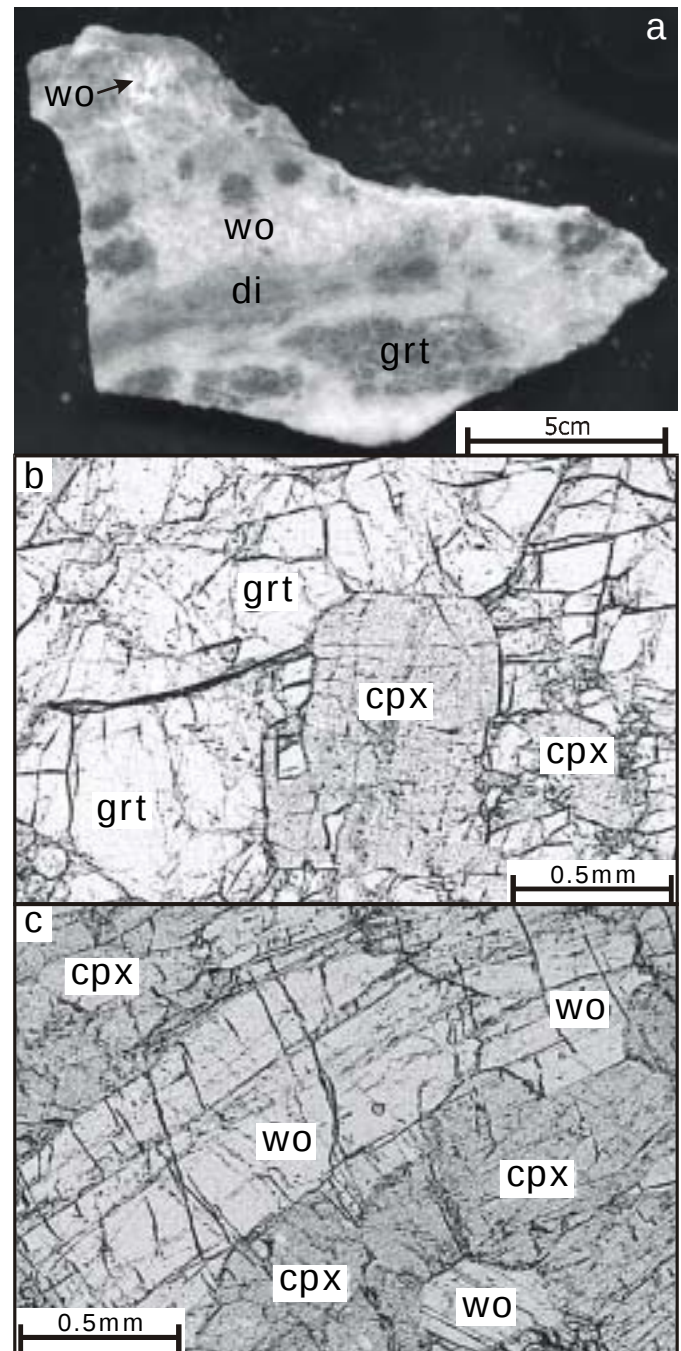
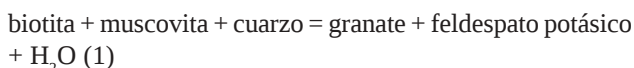
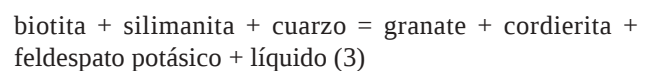


Figura 7. Calcosilicato de wolastonita (wo), granate (grt) y clinopiroxeno (cpx, diopsida, di) [muestra CB08-4]: (a) muestra de mano con porfiroblastos de granate, fracturados y orientados, y una capa rica en diopsida; – (b) lámina delgada con porfiroblastos de granate con inclusiones de clinopiroxeno (nícoles paralelos); – (c) lámina delgada con wolastonita nematoblástica en una matriz de clinopiroxeno (nícoles paralelos).



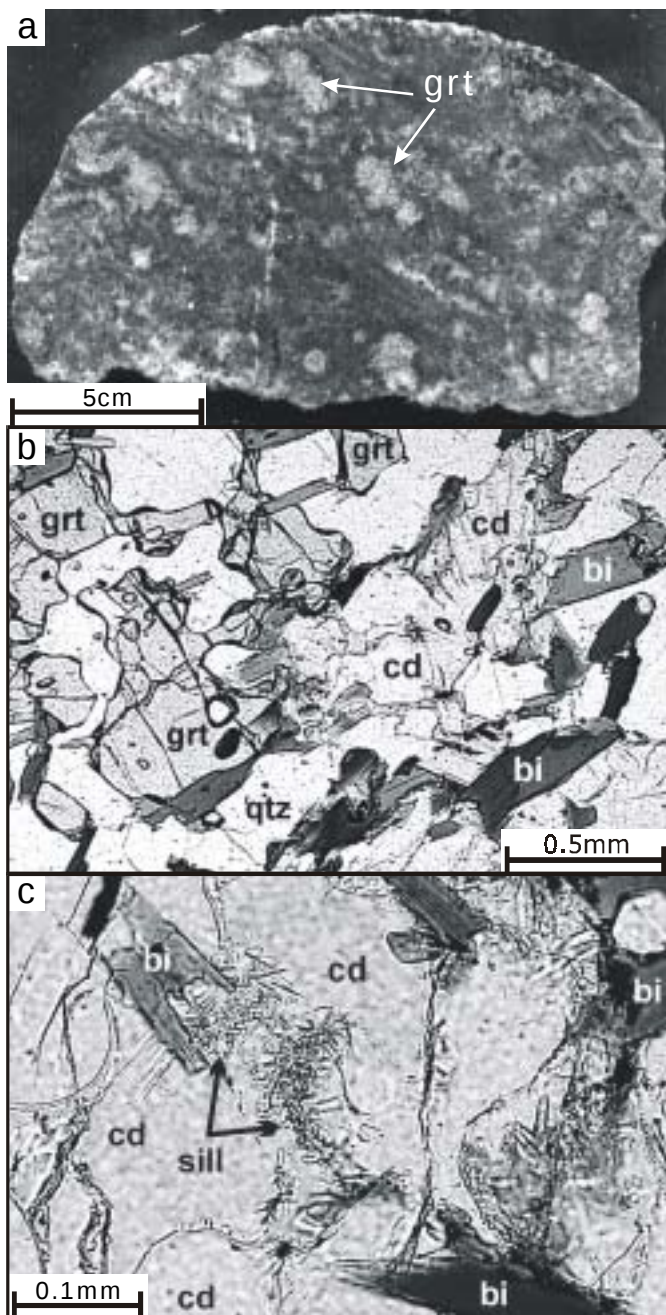
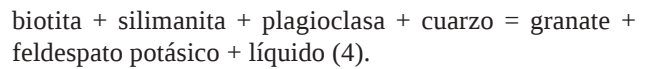


Figura 8. Paragneis migmatítico [muestra CB08-8]: (a) muestra de mano con granate (grt) glomeroblástico; – (b) lámina delgada con granate xenomórfico (grt), cordierita (cd), cuarzo (qtz) y biotita rica en Ti (bi), orientada, que define la foliación (nícoles paralelos); – (c) cordierita (cd) con agujas de silimanita (sill), nótese que la cordierita se forma a expensas de biotita (bi).

Otra variedad de los paragneises migmatíticos está representada por la muestra CB08-5 (Figura 6), la cual presenta leucosomas de grano mediano a grueso bien definido. Aparte del cuarzo y del feldespato, resaltan los grandes porfiroblastos de hasta más de 5 cm de granate que forman parte del neosoma (Figura 6a). En el paleosoma es muy abundante la biotita. La roca sin el leucosoma (que no en todas partes del afloramiento está presente) se puede clasificar como esquisto de biotita. Una posible reacción para este tipo de roca es:



No se observan cordierita ni silicoaluminatos, por lo que el protolito de esta roca puede ser semipelítico con menos contenido en Al que la muestra CB08-8, por lo que la reacción (4) tuvo que haber consumido todo el silicoaluminato disponible. La retrogresión en facies de esquisto verde ha sido importante en este tipo de roca porque es abundante la biotita secundaria de color verde clara y la muscovita secundaria alrededor y dentro de las fracturas de los granates (Figura 6b). La apatita es abundantemente acumulada en pequeñas bandas, que se interpretan como capas sedimentarias enriquecidas en fósforo en el protolito.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La unidad La Sepultura es la primera evidencia de la existencia de un basamento metasedimentario en el centro del macizo de Chiapas. Esto, junto con la presencia de ortogneises y migmatitas ortogénicos reportados por Schaaf *et al.* (en prensa), sugiere que los plutones permotriásicos del macizo de Chiapas intrusieron a rocas corticales de una corteza pre-Mesozoica, es decir Paleozoica o Precámbrica. De las asociaciones mineralógicas que forman las diferentes litologías de la unidad La Sepultura se puede inferir lo siguiente:

1. Los protolitos de la secuencia metasedimentaria pudieron ser lutitas, lutitas arenosas, margas y calizas arcillosas.
2. El metamorfismo pre-batolítico alcanzó un grado alto (facies de anfibolita superior a facies de granulita) lo que resultó en la descomposición completa de la muscovita (u otras micas claras) primaria y en la fusión parcial de los paragneises, así como en la formación de olivino en los mármoles y de diopsida primero y granate y wolastonita después (primera generación) en los calcosilicatos. A pesar de que no existen datos geotermométricos por el momento, se puede estimar una temperatura superior a los 700°C.
3. La presencia de cordierita (en coexistencia con granate) indica un metamorfismo somero con presiones no mayores de entre 3 y 4 kbar.
4. El crecimiento de wolastonita en forma de haces radiales no deformados (segunda generación), indica un metamorfismo de contacto, sin deformación y probablemente con actividades altas de agua. Lo anterior y la presencia de pocas fases mineralógicas (wolastonita y granate) en equilibrio indican un sistema abierto, es decir un sistema taponeado externamente típico de rocas tipo skarn.
5. Gran parte de las rocas de la unidad La Sepultura fueron afectadas por una retrogresión secundaria en la facies de esquistos verdes, probablemente debida a la intrusión de los granitoides.

Tanto el rumbo de la foliación N-S como el cizallamiento dextral que se observa como primera deformación en la unidad La Sepultura, correlacionan con la primera deformación en los ortogneises pre-batolíticos de diferentes localidades del macizo de Chiapas (Gross, 2000; Heck, 2000; Möllinger, 2000; Weis, 2000; Schaaf *et al.*, en prensa). Fuera del valle del río Tablón hemos encontrado calcosilicatos en distintas localidades; por ejemplo, en el valle del río Los Amates, al oeste de Villa Flores, observamos calcosilicatos no solamente como bloques en el río sino también in situ (Figura 2a; 16°10.62'N; 93°28.61'W); encontramos cantos y bloques de calcosilicatos deformados hasta de más de un metro en el río Ningunilo aproximadamente a 8 km al sur de Buenavista (Figura 2a). Lo anterior nos indica que las rocas metasedimentarias no están restringidas a una localidad pequeña y aislada, sino que la unidad La Sepultura puede ser parte de un basamento mucho más extenso y expuesto también en otras localidades todavía desconocidas dentro del macizo de Chiapas.

Hasta la fecha no se puede decir si la unidad La Sepultura y el basamento del macizo de Chiapas son correlacionables con algún otro basamento metamórfico de otros terrenos tectonoestratigráficos del sur de México, o si se trata de un basamento distinto, posiblemente Pan-Africano, como lo indican resultados geocronológicos preliminares (Schaaf *et al.*, en prensa; Weber *et al.*, 2001). Fechamientos de las rocas metamórficas con diferentes métodos isotópicos están en proceso. Sin embargo, es importante resaltar que las condiciones metamórficas de alta temperatura y baja presión en la unidad La Sepultura indican claramente que este evento metamórfico es muy distinto al metamorfismo granulítico de corteza profunda, que es común en Oaxaquia y, por lo tanto, también en el complejo Guichicovi al oeste del Istmo de Tehuantepec (Weber 1998; Weber y Köhler, 1999). Por eso, mientras no existan datos que indiquen lo contrario, el descubrimiento de la unidad La Sepultura sugiere que no hay continuación de las características del basamento metamórfico en el sur del terreno Maya a través del Istmo de Tehuantepec.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue financiada por el CICESE (proyecto interno # 644111) y parcialmente por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). Agradecemos a Vladimir Ruttner (TUM) y a Víctor Pérez (CICESE) la preparación de las muestras y las láminas delgadas. Gracias a Regina Freiburger (Universidad Freiburg, Alemania) por su contribución en la discusión durante la estancia en el campo. Gracias a Luis Delgado Argote (CICESE) por haber revisado la ortografía española en este artículo. Agradecemos a Gabriela Solís y a Peter Schaaf (ambos UNAM) la revisión del artículo y sus sugerencias.

REFERENCIAS

- Damon, P.E., Shafiqullah, M. and Clark, K., 1981. Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera. In: Dickinson, W. and Payne, W.D., eds., Relations of tectonics to ore deposits in the southern Cordillera. *Arizona Geological Society Digest*, 14, 137-153.
- Delgado-Argote L.A. y Caballido-Sánchez, E.A., 1990. Análisis tectónico del sistema transpresivo neogénico entre Macuspana, Tabasco y Puerto Angel, Oaxaca. *Revista del Instituto de Geología*, UNAM, 9, 21-32.
- Groß, A., 2000. Geologische, isotopengeochemische und geochronologische Untersuchungen an Gesteinen des Chiapas-Massivs, Mexiko. Diploma tesis, *Universität Freiburg y Universität München*, Alemania, 106 pp.
- Heck, M., 2000. Zur Geologie, Petrographie und Geochemie des Pando-Tales, südwestlich Villa Flores, Chiapas, Mexiko. Diploma tesis, *Universität Freiburg y Universität München*, Alemania, 132 pp.
- Meritano-Arenas, J., 1972. Estudio tectónico preliminar del Istmo de Tehuantepec, en base a imágenes del satélite-Erds-1. *Anales del Instituto de Geofísica*, UNAM, 108-116.
- Möllinger, S., 2000. Zur Geologie, Petrologie und Geochemie des Las Mercedonas Tales südwestlich von Villa Flores, Chiapas, Mexiko. Diploma tesis, *Universität Freiburg y Universität München*, Alemania, 76 pp.
- Morán-Zenteno, D., 1984. Geología de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería, UNAM, *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*, 88 pp.
- Murillo-Muñetón, G., 1994. Petrologic and geochronologic study of Grenville-age granulites and post-granulite plutons from La Mixtequita area, state of Oaxaca in southern Mexico, and their tectonic significance. M.S. thesis, *University of South of California*, Los Angeles, 163 pp.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Sánchez-Rubio, G. and De La Fuente, M., 1990. Transect H-3: Acapulco trench to the gulf of Mexico across southern Mexico. Centennial continent / ocean transect #13. *Geological Society of America*, 9, pp.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez, S.A. y Nieto-Samaniego, A.N., 1992. Carta geológica de la República Mexicana. 1:2,000,000. *Instituto de Geología*, UNAM.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J. and Centeno-García, E., 1995. Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. *Geology*, 23, 1127-1130.
- Pantoja-Alor, J., Fries, Jr. C., Rincón-Orta, C., Silver, L.T. y Solorio-Munguía, J., 1974. Contribución a la geocronología del Estado de Chiapas. *Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, XXVI, 205-223.

- Ponce, D., Gaulon, R., Suárez, G. and Lomas, E., 1992. Geometry and state of stress of the downgoing Cocos Plate in the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Geophysical Research Letters*, 19, 773-776.
- Salvador, A., 1987. Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of Gulf of México basin. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 71, 419-451.
- Schaaf, P., Weber, B., Weis, P., Groß, A., Köhler, H., and Ortega-Gutiérrez, F. The Chiapas Massif (Mexico) revised: New geologic and isotopic data for basement characteristics. *Neues Jahrbuch Geologie*, en prensa.
- Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F. and Speed, R.C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. *Geological Society of America. Special Paper* 278, 153 pp.
- Viniegra, F., 1971. Age and evolution of salt basins of southeastern Mexico. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 55, 478-494.
- Weber, B., 1998. Die magmatische und metamorphe Entwicklung eines kontinentalen Krustensegments: Isotopengeochemische und geochronologische Untersuchungen am Mixtequita-Komplex, Südostmexiko. *Münchner Geol. Hefte*, A24, 176 pp.
- Weber, B., Lopez, R., and Köhler, H., 2001. Isotopic and chemical indications on the origin of the Mixtequita and the Chiapas Batholiths in SE Mexico: Evidences for inherited Grenville and Panafrican basement. *EUGXI Strasbourg*, France, p. 598.
- Weber, B. and Köhler, H., 1999. Sm-Nd, Rb-Sr and U-Pb isotope geochronology of a Grenville terrane in Southern Mexico: Origin and geologic history of the Guichicovi complex. *Precambrian Research*, 96, 245-262.
- Weis, P., 2000. Geologische und isotopengeochemische Untersuchungen zur magmatischen und metamorphen Entwicklung des Chiapas Massivs, Mexiko. Diploma tesis, *Universität Freiburg y Universität München*, Alemania, 127 pp.

COMPARACIÓN DEL VIENTO COSTERO Y MARINO DE LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA DURANTE EL INVIERNO DE 1994

Juan Carlos Leal^{1,2} y Miguel F. Lavín¹

¹ Depto. de Oceanografía Física, CICESE

Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., 22860, México

² División de Recursos Hídricos, IMADES

Reyes y Aguascalientes, Col. San Benito, Hermosillo, Sonora, 83190, México

RESUMEN

Se comparan observaciones del viento realizadas simultáneamente en el observatorio meteorológico de San Felipe, Baja California y en el centro de la Cuenca Wagner, en la región norte del Golfo de California, del 8 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995. La información obtenida en la costa, a 1.5 km tierra adentro, es influenciada por la orografía local, y muestra una marcada fluctuación diurna. En contraste, los datos obtenidos con la boya meteorológica a ~60 km de la costa, no muestran variación diurna. Con los datos filtrados para eliminar las variaciones diurnas y semidiurnas se exploran tres modelos que relacionan linealmente la diferencia de la rapidez del viento a través de la zona costera. Se encuentra que la magnitud del viento sinóptico observado en la Cuenca Wagner es aproximadamente 2.5 mayor que la observada en San Felipe.

Palabras clave: Golfo de California, viento, comparación.

INTRODUCCIÓN

En invierno, la circulación sinóptica de los niveles bajos de la atmósfera de la región norte del Golfo de California (NGC) es dominada por un centro de alta presión que se localiza al suroeste de Estados Unidos, lo cual causa eventos, de 3 a 10 días de duración, de viento fuerte, seco y frío, proveniente del noroeste que se mueve paralelo al eje longitudinal del golfo (Ives, 1962; Badan-Dangon *et al.*, 1991). Una de las respuestas de las aguas del NGC a las condiciones de viento intenso del noroeste ($\sim 8 \text{ ms}^{-1}$) y baja humedad relativa ($\sim 57\%$) es la intensa pérdida de calor (87 % del total) en esta temporada, con más de dos tercios debida a la evaporación (Reyes y Lavín, 1997).

Como en otras zonas costeras, el estudio de las características del forzamiento atmosférico sobre el Golfo de California se ha basado en observaciones obtenidas en la costa (Roden, 1958; Organista-Sandoval, 1987; Lavín y Organista, 1988; Badan-Dangon *et al.*, 1991; Castro *et al.*, 1994; Reyes y Lavín, 1997; Berón-Vera y Ripa, 2000). Esto no es satisfactorio, pues existe evidencia de que la magnitud del viento oceánico es mayor que el medido en la costa (SethuRaman y Raynor, 1980; Schwing y Blanton, 1984). La determinación correcta de los efectos del viento sobre el océano exige una buena estimación del viento lejos de la costa, dado que pequeñas diferencias acumuladas en rapidez y dirección del viento pueden causar una gran discrepancia en el cálculo del momentum total ejercido sobre la superficie del agua (Schwing y Blanton, 1984), así como en las estimaciones del intercambio de propiedades fisicoquímicas, masa, agua, CO_2 , O_2 , etc.

Aunque la variación espacial de las condiciones atmosféricas de invierno dentro del NGC es considerada poco significativa por Badan-Dangon *et al.* (1991), esto no necesariamente es cierto para la costa adyacente. Usando un conjunto de datos simultáneos de las estaciones meteorológicas de San Felipe, B.C. y Puerto Peñasco, Son., y de 3 campañas oceanográficas, Reyes-Hernández (1993) obtuvo una razón de 2.55 entre los promedios diarios del viento medidos mar adentro y en la estación meteorológica de San Felipe. Aunque este valor es cercano al factor 2 sugerido para la misma región por Badan-Dangon *et al.* (1991) y generalizado por Schwing y Blanton (1984), no existe fundamento estadístico que apoye la validez de esos resultados. El objetivo de este trabajo es comparar una serie de tiempo de viento obtenida en la costa contra una serie de tiempo obtenida mar adentro en el NGC, basado en relaciones formuladas por otros autores en otras partes del mundo, con las que se pueda estimar la diferencia del viento. Asimismo, se desea comparar los rasgos más sobresalientes entre ambos regímenes durante la temporada de invierno de 1994.

DATOS Y MÉTODOS

Las series de tiempo de viento de costa y mar adentro son referidas a un nivel y a una orientación de referencia para evaluar la variación espacial de las condiciones atmosféricas en el NGC. Se utiliza el análisis espectral para caracterizar los rasgos más sobresalientes de cada ambiente y se exploran tres modelos para ajustar los datos del viento de costa a los de mar abierto. La calidad del ajuste se evalúa con un coeficiente de correlación compleja.

La información meteorológica que se utilizó en este estudio consiste de una serie de datos de viento obtenida simultáneamente en dos distintas localidades, del 8 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995. Los datos costeros se registraron cada 10 minutos con la Estación Meteorológica Automática del Servicio Meteorológico Nacional en el poblado de San Felipe, Baja California (31°1.68'N y 114°50.80'O), aproximadamente 1.5 km tierra adentro (Figura 1). Los datos de mar se registraron cada hora con una boya meteorológica Minimet/Zeno-800, anclada aproximadamente en el centro de la región norte del Golfo de California (Figura 1; 30°59'N y 114°12'O), siendo ésta la parte más profunda de la cuenca Wagner (200 m).

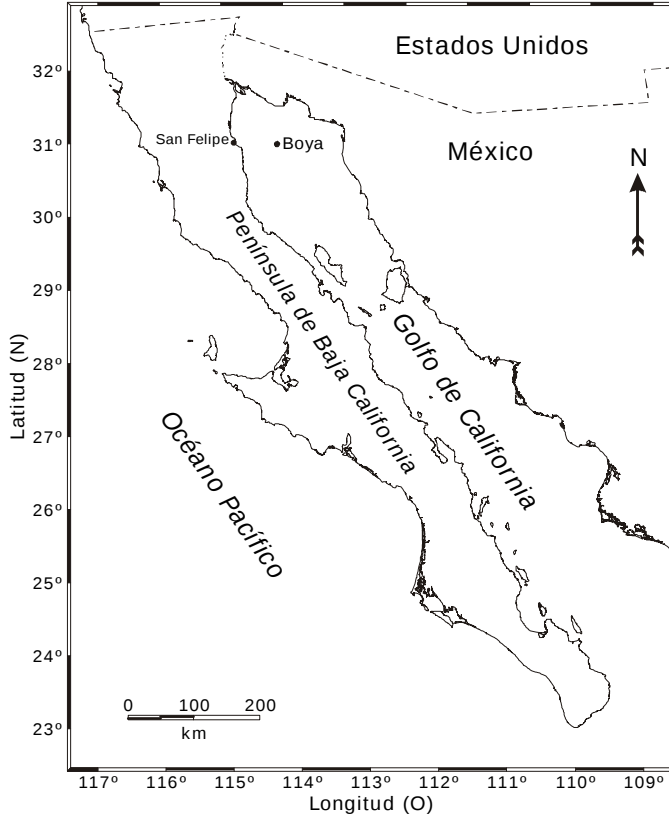


Figura 1. Posiciones de observación en el poblado de San Felipe (B.C.) y en el centro de la región norte del Golfo de California.

La altura (z) de los sensores en la boya es de 3 m sobre la superficie del agua, por lo que se hizo una aproximación extrapolando los datos a la altura convencional de 10 m, con base en el perfil logarítmico de la rapidez del viento medio (U) en condiciones de estabilidad neutra (Banke y Smith, 1971):

$$U_{10} = \frac{U^*}{k} \left[\ln(10) - \ln(z) + k \frac{U}{U^*} \right] \quad (1)$$

donde $U^* = (\tau / \rho_a)^{1/2}$ es la velocidad de fricción, $\tau = \rho_a C_D U^2$ es una parametrización del esfuerzo del viento, ρ_a es la densidad del aire, y $k = 0.4$ es la constante de von Karman. C_D es el coeficiente de arrastre, el cual depende de la intensidad del viento, de la estabilidad de la capa superficial atmosférica y de la

rugosidad de la superficie (Gill, 1982, p. 29-30), pero para algunas aplicaciones se puede usar un valor constante promedio. Para el Golfo de California se han usado valores de C_D que van desde 1.1×10^{-3} (Ripa, 1990; Argote *et al.*, 1994 y 1998) hasta 1.6×10^{-3} (Organista-Sandoval, 1987); aquí usaremos un valor intermedio de 1.4×10^{-3} .

Los datos de rapidez (R) y dirección (θ) que definen el vector velocidad del viento ($\mathbf{W}$) se reorientaron al norte geográfico (11°07' declinación magnética) y se transformaron a componentes u y v , con la componente u en la dirección zonal y la componente v en la dirección meridional. Se definió la dirección del vector velocidad del viento hacia donde sopla éste (convección oceanográfica). Ambas series de datos fueron promediadas vectorialmente cada hora.

Se calculó el espectro energético de cada una de las series horarias usando un intervalo de confianza del 95 % y 192 grados de libertad (gl). Con el cálculo de espectros vectoriales de potencia de cada una de las series de tiempo de viento, en donde se utilizó un ancho de banda de 8 ciclos por día (cpd), se obtuvieron los elementos de la elipse componente y el espectro rotacional. Además, se calculó la correlación total y la coherencia a partir de los espectros cruzados vectoriales entre ambas series. Estos parámetros se estimaron para cada una de las bandas de frecuencia en que se divide el espectro de acuerdo a la metodología de Candela-Pérez (1982).

MODELOS

Con el propósito de estudiar los eventos asociados con escalas sinópticas, ambas series de datos fueron suavizadas (filtradas) mediante un triple promedio corrido de 24 datos (Godin, 1972). Con este tratamiento se eliminan las frecuencias asociadas con las brisas y sobresalen los regímenes que tienen duración de más de un día. Con los datos suavizados se exploraron tres modelos que relacionan linealmente la diferencia en rapidez del viento entre ambas regiones. Un primer modelo (Hsu, 1981), derivado de las ecuaciones de movimiento es

$$U_{\text{mar}} = U_{\text{costa}} \sqrt{\frac{H_{\text{mar}} C_{D\text{costa}}}{H_{\text{costa}} C_{D\text{mar}}}}, \quad (2)$$

donde U es la rapidez media del viento, H es la altura de la capa límite planetaria (CLP) y C_D es el coeficiente de arrastre. Los subíndices *mar* y *costa* representan las condiciones de cada ambiente. No se realizó sondeo alguno de la capa marina en el lugar del anclaje de la boya durante el estudio para determinar su altura. Sin embargo, el estudio de Botella-Arriaga (1996) sobre los aspectos hidráulicos de la capa marina en el Golfo de California, encuentra una altura típica de la capa marina en condiciones de invierno de aproximadamente 150 m con pequeñas variaciones dentro del NGC; esto es, la altura de la CLP es independiente de la dirección e intensidad del viento. Lo anterior puede deberse a que la subsidencia de masas de aire comprime

la capa marina durante esta estación del año (Badan-Dangon *et al.*, 1991). La altura de la CLP en la costa (200 m), se estimó a partir de Hmar y del gradiente de temperatura entre ambas localidades de acuerdo a Hsu (1979):

$$H_{\text{costa}} = H_{\text{mar}} - 123(T_{\text{costa}} - T_{\text{mar}}),$$

donde Tcosta y Tmar, son las temperaturas del aire en la costa y el mar, respectivamente. El cálculo guarda relación con la hidrodinámica del lugar (Botella-Arriaga, 1996). Este modelo,

$$U_{\text{mar}} = U_{\text{costa}} \sqrt{\frac{(150 \text{ m})(0.0124)}{(200 \text{ m})(0.0014)}} \quad (2')$$

se llamará “teórico” y el segundo modelo, al que llamaremos “estadístico” (Hsu, 1986), es

$$U_{\text{mar}} = A + B U_{\text{costa}} \quad (3)$$

donde las constantes A y B son determinadas empíricamente por medio de mínimos cuadrados. La relación anterior puede considerar condiciones de viento en calma para la costa, mientras que el viento sopla en mar abierto.

El tercer modelo, denominado “semiempírico” (Hsu, 1981), está basado principalmente en la regla de la potencia como una representación de la distribución del viento respecto a la altura de la CLP,

$$U_{\text{mar}} = a (U_{\text{costa}})^b \quad (4)$$

(Hsu, 1981), donde a y b son coeficientes positivos que varían para cada localidad, los cuales se obtienen empíricamente.

Al comparar la serie de tiempo obtenida en San Felipe (U_{costa}), con el viento medido mar adentro por la boya (U_{mar}), se obtuvo un coeficiente de correlación compleja ($|\rho|$) y un ángulo medio (θ) que representa la dirección relativa entre el viento en el centro del NGC respecto al viento en San Felipe; θ es expresado en grados y es positivo en sentido dextrógiro (Kundu, 1976). Las observaciones meteorológicas *in situ* obtenidas con la boya durante el mismo período de tiempo fueron usadas de referencia para tal propósito.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos horarios de viento de San Felipe y de la boya mostrados en la Figura 2, tienen magnitudes claramente diferentes y, además, tienen distintos patrones de comportamiento. El viento en la costa es de menor magnitud que mar adentro, lo cual es debido a que el saliente rocoso con alturas de 300 m que se encuentra al norte del poblado actúa como obstáculo físico al flujo de aire del NO, produciendo una estela a sotavento de este saliente, asociada con el forzamiento sinóptico atmosférico (Botella-Arriaga, 1996). Esto explica la baja intensidad del viento

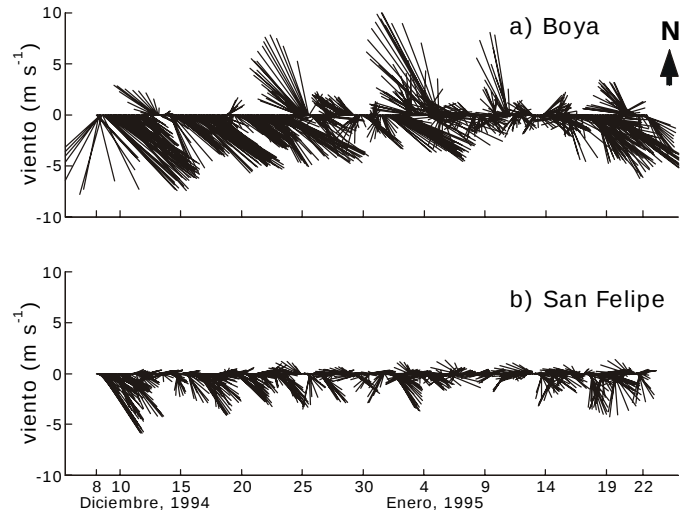


Figura 2. Series horarias del viento en diagrama de astillas de a) Boya y de b) San Felipe, durante el periodo del 8 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995.

medio que se registra y por qué el régimen de brisas no es removido por eventos de viento fuerte, como lo señalan Delgado *et al.* (1994).

El viento costero parece ser afectado más fuertemente por fluctuaciones diurnas y semidiurnas que el viento medido mar adentro (Figura 2), lo cual es confirmado por los espectros rotacionales en la Figura 3. La mayor energía del espectro rotacional del viento medido mar adentro (Figura 3) está asociada con la banda sinóptica (del orden de una semana), la cual contiene el 75 % de la energía total. Para el viento medido en la costa, la banda diurna contiene el 40% de la energía total, y es 1.5 veces mayor que la energía de la banda sinóptica. Las bandas sinóptica, diurna y semidiurna (Figura 3) contienen el 76% de la energía total del espectro del viento medido en la costa. La orientación de las elipses componentes diurna y semidiurna, aproximadamente normal a la costa (Figura 4), muestra que se trata de un típico régimen de brisas que, para esta zona, ya ha sido descrito por Reyes-Hernández (1993) y por Delgado *et al.* (1994). El viento mar adentro no muestra influencia del sistema de brisas (Figuras 2 y 3), lo cual implica que el alcance de éste es menor de 60 km mar adentro.

Una comparación de la serie de tiempo del viento entre estos dos ambientes muestra un pobre coeficiente de correlación ($|\rho| = 0.58$). No obstante, con los espectros cruzados vectoriales se encontró para los eventos del viento sinóptico un valor conservador de coherencia vectorial (0.81) y correlación total (0.77). El sistema de brisas (Figuras 3 y 4) es lo que empobrece y dificulta la comparación de los campos de vientos sobre tierra y mar, por tal razón las fluctuaciones asociadas a éste sistema fueron removidas.

Los datos filtrados mar adentro se muestran en la Figura 5a. Las series “mar adentro” predichas con los datos costeros usando los tres modelos dados por las ecuaciones (2), (3) y (4) son las Figuras 5b, 5c y 5d, respectivamente. Los resultados

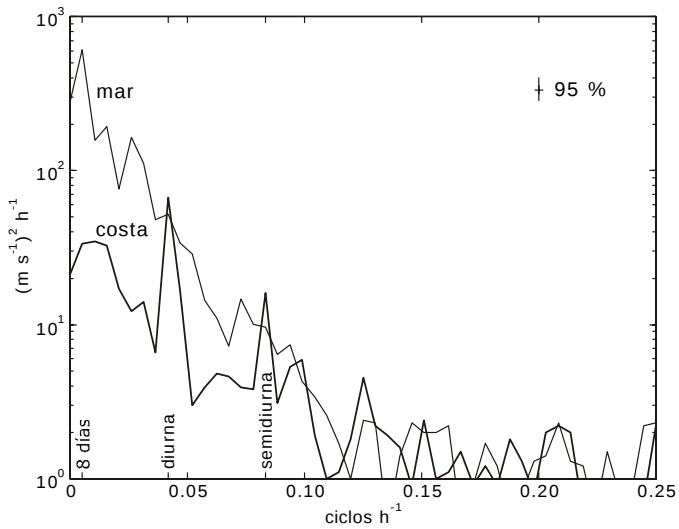


Figura 3. Espectro rotacional positivo de la magnitud del viento medido durante el periodo del 8 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995. El eje de energía está en escala logarítmica; el eje de frecuencias en $ciclos h^{-1}$ y el intervalo de confianza al 95 % se muestra en la parte superior derecha de la gráfica.

son visualmente muy similares, lo cual es confirmado cuantitativamente por los valores de la pareja $(|\rho|, \theta)$: (0.88, -2.0), (0.87, -2.0) y (0.88, -2.0) para los modelos teórico, estadístico y semiempírico, respectivamente.

Los tres modelos ajustan adecuadamente (en términos estadísticos) la diferencia de rapidez del viento medido en la costa al observado en el mar (NGC). Una estimación de la razón del viento medido mar adentro y en costa, libre de fluctuaciones diurnas y semidiurnas, resultó de 2.5; este factor sustenta la magnitud de los parámetros de la ecuación 2. El hecho de que los eventos hayan ocurrido simultáneamente en la costa y mar adentro (Figura 5), desacredita el sentido del parámetro A de la ecuación estadística. Cabe destacar que los eventos de viento del SE son pobremente resueltos con los modelos (Figura 5). Tales eventos ocurren durante condiciones de baja presión, lo que causa que el viento se debilite y pueda invertir su dirección, soplando del SE con rapidez que en algunos casos puede ser comparable con la máxima del NO. La atenuación de tales eventos en la costa puede asociarse con la geomorfología del lugar.

Por lo tanto, las relaciones que se proponen (durante invierno) para estimar la intensidad del viento sinóptico del NO en el NGC a partir de datos medidos en San Felipe son:

$$U_{\text{mar}} = 2.5 U_{\text{costa}}$$

mediante el modelo teórico,

$$U_{\text{mar}} = 0.65 + 2.45 U_{\text{costa}}$$

mediante el modelo estadístico, y

$$U_{\text{mar}} = 3 (U_{\text{costa}})^{0.9}$$

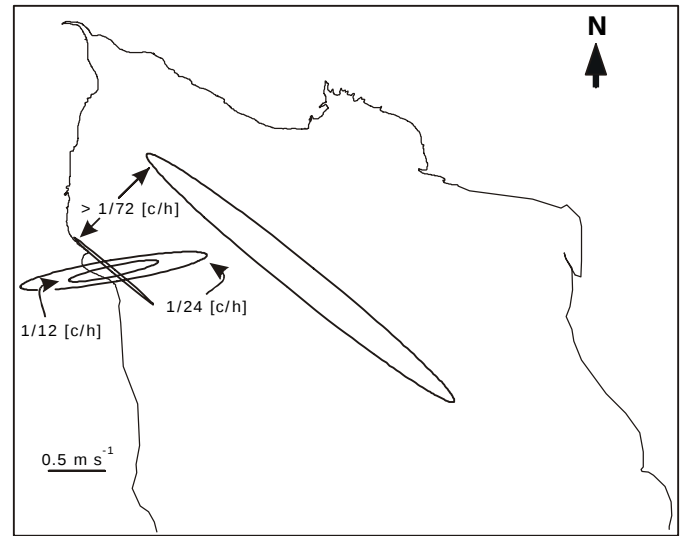


Figura 4. Elipses componentes de las bandas con mayor energía durante el periodo del 8 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995. Las cuales son: la banda sinóptica, $> 1/72$ ciclos/h $[c/h]$; la banda diurna, $1/24 [c/h]$ y la banda semidiurna, $1/12 [c/h]$.

mediante el modelo semiempírico. La gran similitud entre el factor 2.5 del modelo teórico (con desviación estándar de 0.1), y el de 2.55 estimado por Reyes-Hernández (1993) debe ser fortuito, en vista de las serias limitaciones en el conocimiento de los parámetros usados en su cálculo.

CONCLUSIONES

Se usaron observaciones directas para describir y cuantificar las diferencias entre el viento costero y marino en la región norte del Golfo de California durante el periodo del 8 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995. Las condiciones observadas con tal conjunto de datos reflejan claramente el efecto de las propiedades térmicas y de las uniformidades de la superficie de cada región. El viento costero es dominado por el régimen de brisas, mientras que el del NGC no lo está. A escala sinóptica, la orografía local causa una reducción del viento costero con respecto al medido en el centro de la cuenca Wagner. Esta reducción puede estimarse de acuerdo con las relaciones $U_{\text{mar}} = 2.5 U_{\text{costa}}$, $U_{\text{mar}} = 0.65 + 2.45 U_{\text{costa}}$ o $U_{\text{mar}} = 3 (U_{\text{costa}})^{0.9}$. Estas relaciones son apropiadas para viento del noroeste, pero no para viento del sureste.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte del proyecto CONACyT 25555-T9712. CICESE proporcionó financiamiento adicional, del presupuesto global otorgado por la SEP. El Servicio Meteorológico Nacional, a través del Met. Ramón Arozamena Castro, proporcionó la información meteorológica de San Felipe, B.C. Las maniobras del anclaje de la boyta meteorológica se llevaron a cabo en el B/O Francisco de Ulloa. El Oc. Salvador Sánchez

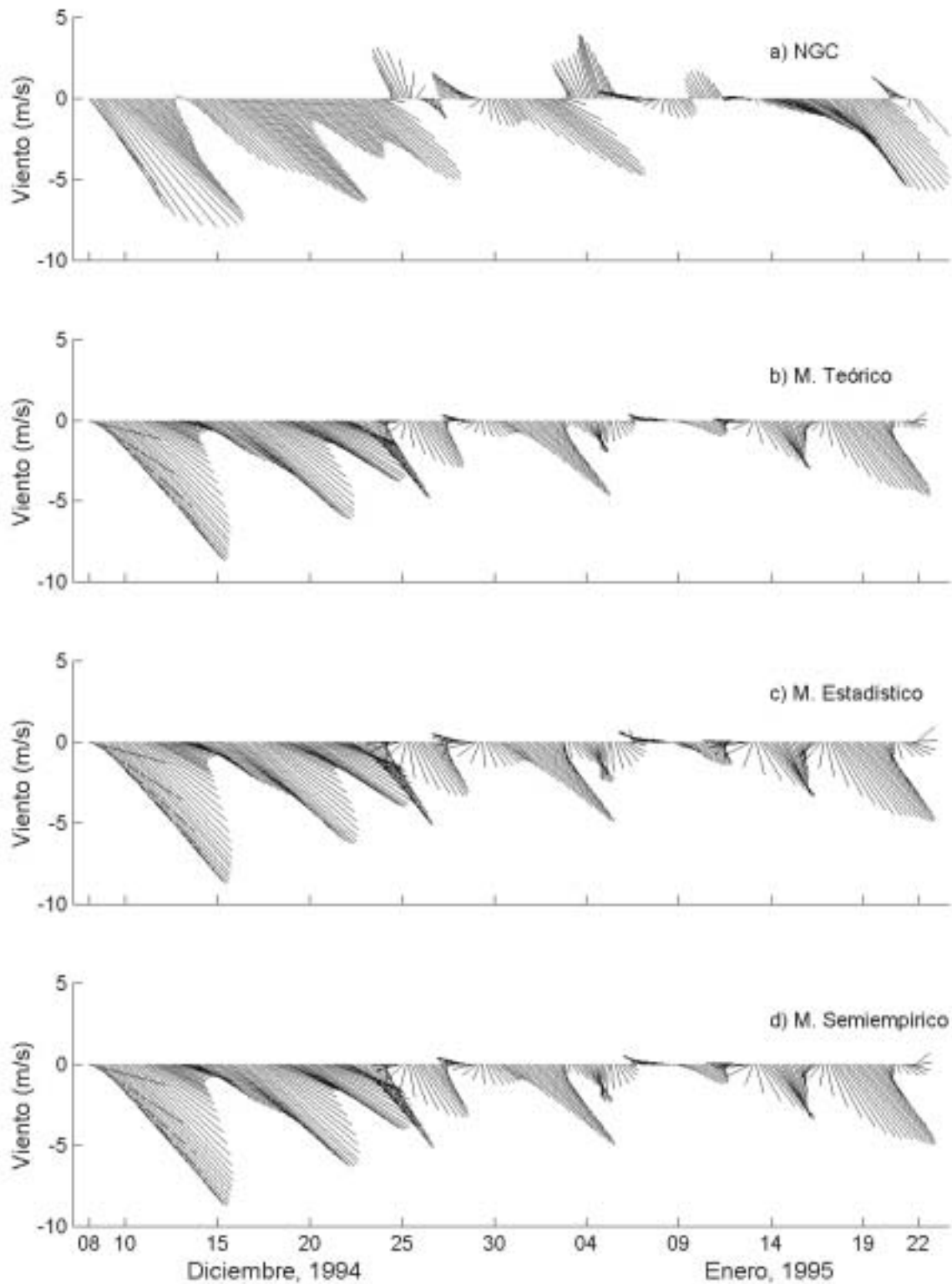


Figura 5. Series de tiempo del viento medido en: a) NGC; y los ajustes, b) modelo teórico, c) modelo estadístico y d) modelo semiempírico.

participó en la operación técnica del anclaje y el Dr. Emilio Palacios en la captura de datos de la boya meteorológica. Carlos Cabrera ayudó con las figuras. Finalmente, agradecemos las revisiones de Rubén Castro y un árbitro anónimo.

REFERENCIAS

Argote, M.L., A. Amador, M.F. Lavín and J.R. Hunter, Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California, *Journal of Geophysical Research*, 100 (C8), 16103-16118, 1995.

- Argote, M.L., M.F. Lavín and A. Amador, Barotropic residual circulation in the Gulf of California due to the M2 tide and wind stress. *Atmósfera*, 11, 173-197, 1998.
- Badan, A.D., C.E. Dorman, M.A. Merrifield, and C.D. Winant, 1991, The lower atmosphere over the Gulf of California, *Journal of Geophysical Research*, 96, 16877-16896.
- Banke, E.G., and S.D. Smith, 1971, Wind stress over ice and over water in the Beaufort Sea, *Journal of Geophysical Research*, 76, 7368-7374.
- Beron-Vera, J., and P. Ripa, 2000, Three-dimensional aspects of the seasonal heat balance in the Gulf of California, *Journal of Geophysical Research*, 105, 11441-11457.
- Botella-Arriaga, J., 1996, Aspectos hidráulicos de la capa marina sobre el Golfo de California, Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B.C. 81 pp.
- Candela-Pérez, J., 1982, Corrientes en el estrecho de Johnstone, B.C., Canadá durante la primavera y el verano de 1973, Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B.C., México, 208 pp.
- Castro, R., M.F. Lavín, and P. Ripa, 1994, Seasonal heat balance in the Gulf of California, *Journal of Geophysical Research*, 99, 3249-3261.
- Delgado, O.E.G., F.J. Ocampo T., y S. Larios C., 1994, Las brisas durante algunos meses de primavera y verano en el noroeste del Golfo de California, *Ciencias Marinas*, 20, 421-440.
- Gill, A.E., 1982, *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, 662 pp.
- Godin, G., 1972, *The Analysis of Tides*, University of Toronto Press, 264 pp.
- Hsu, S.A., 1979, An operational forecasting model for the variation of mean maximum mixing height across the coastal zone, *Boundary-Layer Meteorology*, 16, 93-98.
- Hsu, S.A., 1981, Models for estimating offshore winds from onshore meteorological measurements, *Boundary-Layer Meteorology*, 20, 341-351.
- Hsu, S.A., 1986, Correction of land-based wind data for offshore applications: a further evaluation, *Journal of Physical Oceanography*, 16, 390-394.
- Ives, R.L., 1962, The pestiferous winds of the upper Gulf of California, *Weatherwise*, 15, 197-201.
- Kundu, P.K., 1976, Ekman veering observed near the ocean bottom, *Journal of Physical Oceanography*, 6, 238-242.
- Lavín, M.F., y S. Organista, 1988, Surface heat flux in the Northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 93, 14033-14038.
- Organista-Sandoval, S., 1987, Flujos de calor en el alto Golfo de California, Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B.C., México, 142 pp.
- Reyes-Hernández, A.C., 1993, Efectos de las condiciones atmosféricas de otoño e invierno sobre la formación de masas de agua en el Golfo de California, Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B.C., México, 91 pp.
- Reyes, H.C. y, M. F. Lavín, 1997, Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the Northern Gulf of California, *Atmósfera*, 10, 101-123.
- Ripa, P., Seasonal circulation in the Gulf of California, *Oceanologica Acta*, 8, 559-564, 1990.
- Roden, G.I., 1958, Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California, *Pacific Science*, 12, 21-45.
- Schwing, F.S., and Blanton, J.O., 1984, The use of land and sea based wind data in a simple circulation model, *Journal of Physical Oceanography*, 14, 193-197.
- SethuRaman, S., and G. Raynor, 1980, Comparison of mean wind speeds and turbulence at a coastal site and an offshore location, *Journal of Applied Meteorology*, 19, 15-21.

LA TERMODINÁMICA Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE ROCAS CRISTALINAS

Gustavo Tolson

Depto. de Geología Regional, Instituto de Geología, UNAM

México, D.F., 04510, México

E-mail: tolson@servidor.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Las bases termodinámicas de sistemas químicos heterogéneos fueron descritas por J. Willard Gibbs en la segunda mitad del siglo XIX. Estas bases fueron aplicadas a la geología por distintos grupos, particularmente en universidades de Nueva Inglaterra en los Estados Unidos, a partir de los años cincuenta del siglo pasado. En este trabajo busco sintetizar distintas ideas que me han sido transmitidas por varios profesores de petrología (y sus rigurosas lecturas) y que he intentado integrar durante el desarrollo de algunos cursos de posgrado que he impartido. No cito explícitamente las fuentes del presente trabajo pero incluyo una lista de referencias donde se discuten más abundante y detalladamente los temas aquí expuestos.

En algún momento hemos aprendido que la naturaleza sigue trayectorias que minimizan la energía de un sistema. Si consideramos el sistema químico H_2O a una presión ambiental y a una temperatura de $10^\circ C$, la fase estable es el agua, mientras que a una temperatura de $-10^\circ C$, la fase estable es el hielo. Esto significa que bajo esas condiciones el agua y el hielo, respectivamente, tienen menor energía libre de Gibbs. A $0^\circ C$ la energía libre de ambas fases es igual y coexisten en equilibrio. Cambios en las variables intensivas P y T afectan el valor absoluto de la energía libre de las distintas fases de un sistema químico.

Las rocas que afloran en la superficie de la Tierra se encuentran, en general, a temperaturas y presiones distintas a las vigentes cuando cristalizaron. Sin embargo, las velocidades de las reacciones químicas entre minerales son sumamente lentas, de tal manera que es posible encontrar, en condiciones atmosféricas, rocas compuestas por conjuntos cristalinos que estabilizaron a temperaturas y presiones corticales. La perseverancia de paragénesis minerales en rangos de P y T alejados de sus valores durante la cristalización se debe a la metaestabilidad de dichas fases. Esto significa que podemos inferir las condiciones físicas durante la cristalización pues quedan registradas en los conjuntos minerales que forman a las rocas. La termodinámica nos ayuda a comprender y pronosticar los rangos de P y T vigentes durante la cristalización de las rocas, lo cual nos permite utilizarla para inferir las condiciones de su formación a partir de un análisis cuidadoso de las fases minerales que las componen.

En un sistema sencillo de un componente, como H_2O o SiO_2 , las relaciones entre distintas fases son relativamente sencillas. Sin embargo, cuando aumentamos la complejidad química de un sistema para tratar de comprender sistemas petrológicos, por ejemplo, las relaciones de la energía libre de las posibles fases se tornan más complejas. Una reacción como $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + SiO_2 \rightleftharpoons KAlSi_3O_8 + Al_2SiO_5 + H_2O$ (muscovita + cuarzo $\rightleftharpoons$ feldespato K + aluminosilicato + agua) requiere que consideremos no sólo cambios físicos (cambios de estado), sino también cambios químicos (cambios en la composición química de las fases). Para dar seguimiento a estos cambios de composición química es necesario desarrollar un esquema de contabilidad fiable que nos permita también comunicar o ilustrar lo que ocurre en estas reacciones. Dicho esquema lo provee el espacio composicional que discutiré más ampliamente a continuación.

EL ESPACIO COMPOSICIONAL

En las asignaturas básicas de petrología utilizamos líneas o triángulos para representar la composición química de un sistema. Por ejemplo, en el sistema $MgO-SiO_2$ podemos representar las composiciones químicas de los minerales periclase (MgO), forsterita (Mg_2SiO_4), enstatita ($MgSiO_3$) y cuarzo (SiO_2) a lo largo de una recta como lo muestra la Figura 1. La posición sobre la recta de los distintos minerales es obtenida a partir de la proporción de SiO_2 , medida de distintas maneras. En la Figura 1a), ésta se encuentra expresada en términos de fracciones molares, mientras que en la Figura 1b) está en términos de fracciones atómicas. La fracción molar X de SiO_2 en una fase α se obtiene mediante

$$X_{SiO_2}^{\alpha} = \frac{n_{SiO_2}}{\sum_i n_i} \quad (1)$$

donde n_{SiO_2} es el número de moles de SiO_2 y $\sum_i n_i$ es el número total de moles de reactivos que participan en la reacción.

La fracción atómica de SiO_2 en una fase α se obtiene mediante

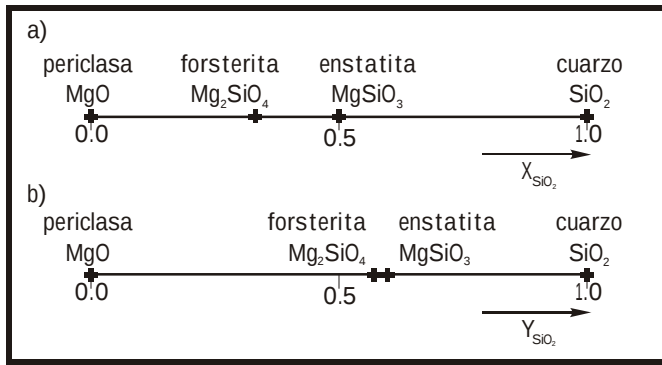
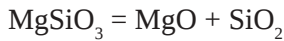
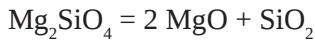


Figura 1. Relación geométrica entre las fases periclase, forsterita, enstatita y cuarzo en términos de a) fracciones molares de SiO_2 y b) fracciones atómicas de SiO_2 .

$$Y_{\text{SiO}_2}^\alpha = \frac{N_{\text{SiO}_2}}{\sum_i N_i} \quad (2)$$

donde N_{SiO_2} es el número de átomos en SiO_2 y $\sum_i N_i$ es el número total de átomos de reactivos que participan en la reacción.

Si escribimos entonces reacciones químicas balanceadas en términos de MgO y SiO_2 , podemos utilizar las ecuaciones (1) y (2) para calcular las fracciones molares y atómicas de SiO_2 en forsterita y enstatita, respectivamente:



$$X_{\text{SiO}_2}^{\text{Mg}_2\text{SiO}_4} = \frac{1}{2+1} = \frac{1}{3}, \quad X_{\text{SiO}_2}^{\text{MgSiO}_3} = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2} \text{ y}$$

$$Y_{\text{SiO}_2}^{\text{Mg}_2\text{SiO}_4} = \frac{3}{4+3} = \frac{3}{7}, \quad Y_{\text{SiO}_2}^{\text{MgSiO}_3} = \frac{3}{3+2} = \frac{3}{5}.$$

Consideremos ahora un sistema un poco más complejo que incluye el componente FeO , por lo que tenemos el sistema MgO-FeO-SiO_2 que se ilustra en la Figura 2. Al aumentar en uno el número de componentes, aumentamos en uno el número de dimensiones necesarias para representar el sistema geoméricamente. Por ende, lo que antes se podía representar en una línea, ahora es necesario representarlo en un plano. Los tres componentes composicionales definen un triángulo. En este triángulo podemos ubicar los pares de minerales forsterita-fayalita ($\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-Fe}_2\text{SiO}_4$) y enstatita-ferrosilita ($\text{MgSiO}_3\text{-FeSiO}_3$). Estos pares minerales constituyen las soluciones sólidas de olivino y ortopiroxeno, respectivamente. La sustitución catiónica que permite las soluciones sólidas es $\text{Mg}^{2+}\text{-Fe}^{2+}$. En la Figura 2 se demuestra una vez más que podemos graficar los distintos componentes utilizando diferentes unidades. En la Fi-

gura 2a) utilicé fracciones molares, y en 2b) fracciones de masa (o peso). Vemos que cambian las relaciones geométricas entre los componentes, mas no sus relaciones topológicas.

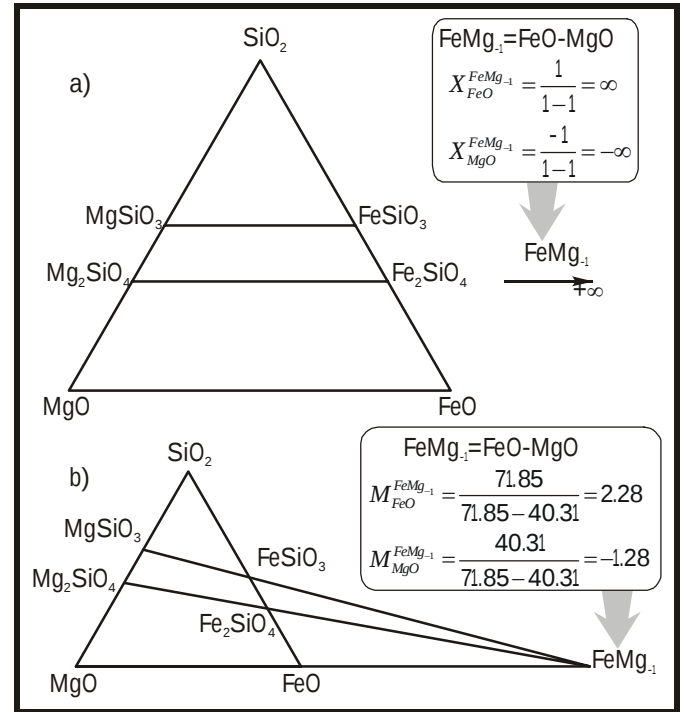


Figura 2. Representación geométrica del sistema MgO-FeO-SiO_2 a) en términos de fracciones molares, b) en términos de % en masa. En ambos casos se muestra la ubicación de las rectas $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-Fe}_2\text{SiO}_4$ y $\text{MgSiO}_3\text{-FeSiO}_3$. Estas dos rectas representan las soluciones sólidas de los olivinos y ortopiroxenos, respectivamente. A lo largo de las rectas existe una sustitución iónica $\text{Fe}^{2+}\text{-Mg}^{2+}$. El vector de sustitución es Fe-Mg_1 . En a) este vector se encuentra en ($\text{FeO}=\infty, \text{MgO}=-\infty$), en b) se muestra el punto que representa al vector ($\text{MgO}=-1.28, \text{FeO}=2.28, \text{SiO}_2=0.0$). Los recuadros muestran ejemplos de los cálculos de las fracciones molares y de masa.

Si añadimos otro componente es necesaria una representación tridimensional, como se muestra en el tetraedro de la Figura 3a. En la base del tetraedro se encuentra el triángulo de la Figura 2a con las soluciones sólidas marcadas con líneas gruesas (punteadas). La línea enstatita-ferrosilita tiene una contraparte cálcica representada por la wollastonita (CaSiO_3). Este trío composicional define el triángulo de los piroxenos, cuyos detalles se muestran en la Figura 3b. La base del triángulo la forman los ortopiroxenos. Conforme éstos incorporan más y más calcio, se va distorsionando la red cristalográfica hasta tal punto que la simetría se reduce de ortorrómbica a monoclinica; este cambio de simetría define los clinopiroxenos. La porción sombreada del trapecio diópsida-hedenbergita-ferrosilita-enstatita incluye las composiciones químicas de piroxenos naturales. Nótese la ausencia de piroxenos entre enstatita y diópsida y entre ferrosilita y hedenbergita. Las composiciones comprendidas en el triángulo wollastonita-hedenbergita-diópsida no forman minerales estables, sino hasta llegar muy cerca del vértice de wollastonita. Las proporciones atómicas de este triángulo corresponden a mallas cristalinas tan distorsionadas que son sumamente inestables en condiciones terrestres.

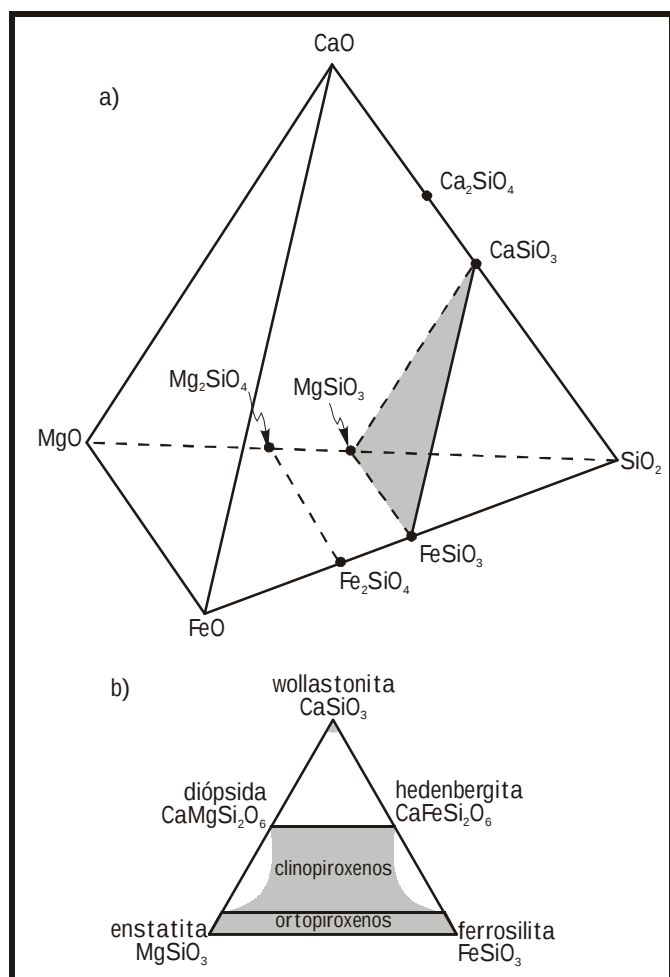


Figura 3. a) Tetraedro ilustrando el sistema MgO-FeO-CaO-SiO_2 , en términos de fracciones molares. El triángulo de la figura 2 forma la base del tetraedro y se muestran las soluciones sólidas de los olivinos y ortopiroxenos. El triángulo formado por MgSiO_3 - FeSiO_3 - CaSiO_3 está sombreado. b) Detalles del triángulo de los piroxenos. Se muestra la ubicación de los orto- y clinopiroxenos, así como los nombres de algunos de los piroxenos más comunes. Las regiones sombreadas representan las composiciones posibles.

LAS COORDENADAS BARICÉNTRICAS

Los gráficos discutidos anteriormente están expresados en términos de coordenadas baricéntricas. En estas coordenadas, la composición química de una fase es representada por distancias relativas entre los distintos componentes.

La relación entre las coordenadas cartesianas de una mezcla de componentes químicos y sus coordenadas baricéntricas se puede ilustrar con la Figura 4. Si consideramos el mismo sistema MgO-SiO_2 que analizamos anteriormente, lo podemos representar en coordenadas cartesianas donde cada eje representa el número de moles de MgO y SiO_2 , respectivamente. Sin embargo, para definir una composición química no es necesario tomar en cuenta las cantidades de los distintos componentes (o sea la cantidad total de materia), sino las cantidades relativas o proporciones de cada uno. Es decir, la elección de la fórmula

de la enstatita expresada como MgSiO_3 o bien, como $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ es arbitraria. Por ejemplo, en el plano definido por n_{MgO} y n_{SiO_2} los puntos (1,1), (2,2), (3,3),..., (n,n) representarían distintos vectores de la composición química de la enstatita, mientras que los puntos (1,2), (2,4), ..., (n,2n) representarían la composición de la forsterita. Esto significa que lo importante para la definición de la composición es la pendiente de los vectores que pasan por el origen en el espacio cartesiano y no su longitud.

Una propiedad de las coordenadas baricéntricas es que su suma siempre es 1. En el esquema cartesiano, esto se traduce en que $X_{\text{SiO}_2} + X_{\text{MgO}} = 1$, o bien $X_{\text{MgO}} = 1 - X_{\text{SiO}_2}$. Esta es la ecuación

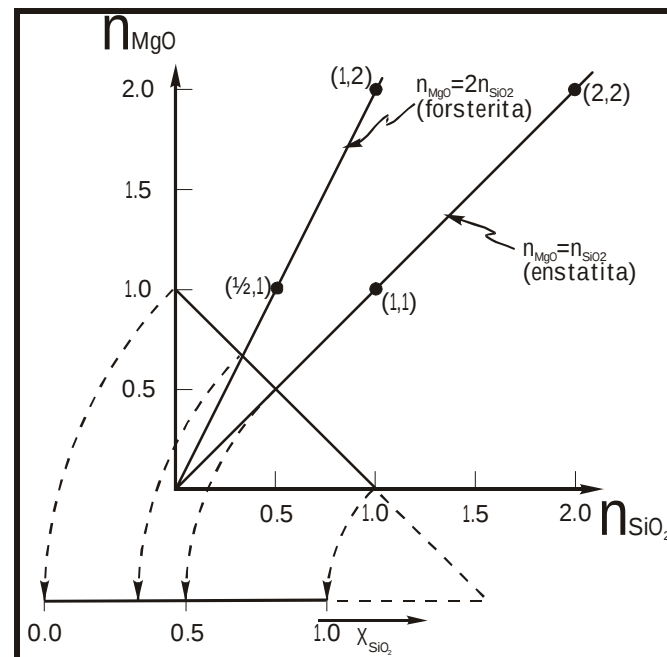


Figura 4. Relación entre coordenadas cartesianas (arriba) y coordenadas baricéntricas (abajo). Las coordenadas baricéntricas se obtienen a partir de una renormalización a lo largo de la línea $n_{\text{MgO}} = 1 - n_{\text{SiO}_2}$. Las unidades en coordenadas baricéntricas son proporciones y no cantidades absolutas.

ción de una recta con pendiente -1 entre los puntos (1, 0) y (0, 1), lo cual tiene como resultado que las coordenadas baricéntricas sean representadas por la línea diagonal entre 1.0(MgO) y 1.0(SiO_2). La posición de un mineral en las coordenadas baricéntricas es definida entonces por la intersección de la línea de composición con la recta $X_{\text{MgO}} = 1 - X_{\text{SiO}_2}$, es decir,

$$X_{\text{MgO}} = \frac{n_{\text{MgO}}}{n_{\text{SiO}_2} + n_{\text{MgO}}}, \quad (3)$$

$$X_{\text{SiO}_2} = \frac{n_{\text{SiO}_2}}{n_{\text{SiO}_2} + n_{\text{MgO}}}. \quad (4)$$

Esta relación reduce la representación de un mineral en coordenadas baricéntricas a un problema de renormalización. Nótese también la ausencia de unidades.

Hay dos buenas razones por las cuales utilizar coordenadas baricéntricas. En primer lugar, las variables termodinámicas intensivas no dependen de la cantidad de materia, sino de las proporciones de los distintos componentes. En segundo lugar, el uso de las coordenadas baricéntricas elimina una dimensión; es decir, una línea permite definir combinaciones de dos componentes, un triángulo combinaciones de tres, etc.

MANIPULACIONES ALGEBRAICAS DEL ESPACIO COMPOSICIONAL

Que podamos escribir una ecuación como (3) o (4) significa, desde un punto de vista matemático, que existe una *dependencia lineal* entre las *variables composicionales* MgO y SiO_2 . Esto a su vez implica que el espacio composicional es un espacio vectorial en el cual se cumplen las reglas de juego del álgebra lineal. En particular, podemos describir tanto la posición de un punto (la composición química de un sistema) como los desplazamientos del punto (los cambios en composición química del sistema) de manera sistemática y precisa.

Al ser representadas las distintas composiciones químicas por vectores, podemos describir cuantitativamente las proporciones de los componentes necesarios para especificar la composición mineralógica de la roca. Las diversas facies metamórficas, por ejemplo, no son más que distintas expresiones mineralógicas de una misma composición química. Las reacciones metamórficas que suscitan las nuevas fases minerales a costas de otras, se pueden contabilizar mediante combinaciones de vectores en el espacio composicional.

CAMBIO DE MIEMBROS EXTREMOS

Uno de los temas fundamentales del álgebra lineal concierne a las transformaciones lineales. En particular, existe un grupo de transformaciones lineales denominadas transformaciones de coordenadas. Estas transformaciones nos permiten representar distintos vectores en un espacio vectorial utilizando distintos marcos de referencia o *vectores base (versores)*. Esto es importante en la petrología porque mediante análisis de laboratorio podemos obtener datos composicionales de una roca expresados de diversas maneras. Por ejemplo, la petrografía nos da información en términos de proporciones volumétricas de minerales, mientras que un análisis de roca entera o un microanálisis con microsonda electrónica nos da usualmente datos en términos de % en masa de óxidos mayores. Por ejemplo, podemos utilizar las relaciones geométricas del espacio composicional para expresar una misma roca (o sea una misma composición química) utilizando coordenadas expresadas en óxidos de elementos mayores o bien en términos de los minerales que la constituyen. Esto es análogo a expresar una distancia en millas o kilómetros.

Veamos como hacer ésto en la práctica. Supongamos que queremos expresar los minerales de la Figura 1 en términos de otros miembros extremos. Por ejemplo, queremos expresar la enstatita en términos de forsterita y cuarzo. Primero escribimos una matriz, A , que relaciona las distintas composiciones químicas de los minerales, expresando las composiciones de los nuevos componentes en términos de los componentes originales (Figura 5). Esta matriz debe ser cuadrada. Debajo de A podemos escribir otra matriz B de vectores renglón que representan los minerales que queremos expresar en los nuevos términos. Ahora calculamos la inversa de A , A^{-1} , para obtener la transformación lineal que necesitamos. Aplicamos esta transformación lineal a las distintas composiciones post-multiplicando B por A^{-1} para obtener B' , como lo muestra la Figura 5. Los renglones de B' expresarán el vector de composición en términos de los nuevos componentes.

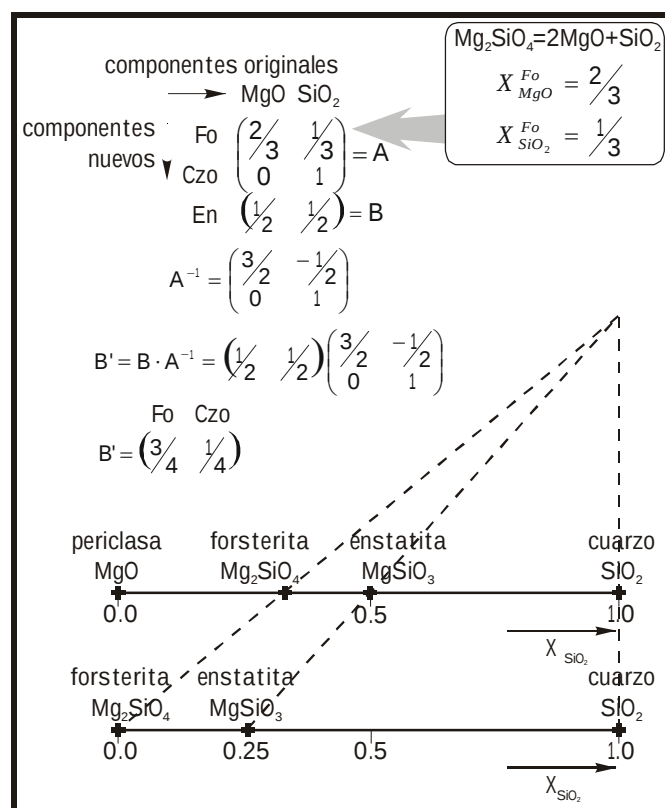


Figura 5. La definición matricial de la transformación lineal para transformar composiciones expresadas en un marco de referencia a otro. Como ejercicio, añada el vector renglón correspondiente a periclase en la matriz B y calcule la posición de la periclase en términos de forsterita y cuarzo. Nótese que la suma de los renglones siempre es 1, ya que representa el total de las fracciones molares. El recuadro sombreado muestra un ejemplo de como se calcula cada renglón de A y de B . El gráfico inferior muestra la manera en la que dicha transformación se puede representar geoméricamente.

Una pregunta natural es ¿por qué utilizar la inversa de A , A^{-1} , en vez de la matriz transpuesta de A , A^T ? Para responderla, invitamos al lector a considerar este punto más cuidadosamente. La transpuesta de A en la Figura 5 simplemente no satisface las condiciones requeridas de la matriz de transformación

de cambio de base. En particular, los renglones de A^T ni suman 1, ni expresan correctamente los componentes MgO-SiO_2 en términos de Fo y Czo; ambas de estas condiciones las cumple A^{-1} . Para cerciorarse de los detalles matemáticos de los cambios de base de distintas transformaciones lineales, consúltese un texto sobre álgebra lineal.

BALANCEO DE EXPRESIONES QUÍMICAS

Podemos utilizar el álgebra lineal para resolver problemas de balanceo de expresiones químicas. Si consideramos, por ejemplo, los minerales granate $[(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}]$, clorita $[(\text{Fe}_2, \text{Mg}_7)\text{Al}_6\text{Si}_5\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}]$, biotita $[\text{K}_2(\text{Fe}_3\text{Mg}_3)\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$, muscovita $[\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, cianita $(\text{Al}_2\text{SiO}_5)$ y cuarzo (SiO_2) en presencia de agua (H_2O), ¿cómo hacer para escribir una ecuación balanceada entre estos componentes? ¿Es posible? El correcto balanceo de una ecuación química lo podemos plantear como la solución de un sistema de ecuaciones lineales. La pregunta es: ¿qué combinación de moles (u otra unidad conveniente) de distintos minerales necesitamos para formar otro conjunto de minerales? Por ejemplo, esto corresponde a encontrar coeficientes x_i para la ecuación

$$x_1 \cdot \text{granate} + x_2 \cdot \text{clorita} + x_3 \cdot \text{muscovita} + x_4 \cdot \text{cianita} + x_5 \cdot \text{cuarzo} + x_6 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{biotita}. \quad (5)$$

Si descomponemos cada mineral en sus óxidos constituyentes, podemos escribir las ecuaciones:

	gran	clor	musc	cian	czo	H ₂ O	biot
[SiO ₂]	3·x ₁	+ 5·x ₂	+ 3·x ₃	+ 1·x ₄	+ 1·x ₅	+ 0·x ₆	= 6
[AlO _{3/2}]	2·x ₁	+ 6·x ₂	+ 3·x ₃	+ 2·x ₄	+ 0·x ₅	+ 0·x ₆	= 2
[FeO]	2·x ₁	+ 2·x ₂	+ 0·x ₃	+ 0·x ₄	+ 0·x ₅	+ 0·x ₆	= 3
[MgO]	1·x ₁	+ 7·x ₂	+ 0·x ₃	+ 0·x ₄	+ 0·x ₅	+ 0·x ₆	= 3
[K _{0.5} O]	0·x ₁	+ 0·x ₂	+ 1·x ₃	+ 0·x ₄	+ 0·x ₅	+ 0·x ₆	= 2
[H ₂ O]	0·x ₁	+ 8·x ₂	+ 1·x ₃	+ 0·x ₄	+ 0·x ₅	+ 1·x ₆	= 2

En forma matricial podemos expresar este planteamiento de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} 3 & 5 & 3 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 6 & 3 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Esta ecuación matricial es del tipo $AX=Y$, misma que se puede resolver multiplicando ambos lados por la inversa de A , A^{-1} , con el resultado:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{7}{12} & -\frac{1}{6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{12} & \frac{1}{6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{3}{2} & 0 \\ 1 & -\frac{1}{2} & -1 & 0 & -\frac{3}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2}{3} & -\frac{4}{3} & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.25 \\ 0.25 \\ 2 \\ -4 \\ -1 \\ -2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

A partir de este resultado podemos escribir la expresión química balanceada $1.25 \cdot \text{granate} + 0.25 \cdot \text{clorita} + 2 \cdot \text{muscovita} = \text{biotita} + 4 \cdot \text{cianita} + \text{cuarzo} + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, donde he escrito los componentes con coeficientes negativos del lado derecho de la ecuación. Cabe recalcar que en este caso la ecuación (5) está en términos de biotita, pero pudo haberse escrito en términos de cualquiera de los minerales para resolver el sistema de ecuaciones.

Otra ventaja de la representación vectorial del espacio composicional es la facilidad con la que podemos utilizar computadoras para representar, calcular y contabilizar las distintas composiciones químicas que representan fases estables en un sistema de composición química conocida.

PROYECCIONES

Las proyecciones no son más que un grupo particular de transformaciones lineales del espacio geométrico. En la petrología se han utilizado las proyecciones con el fin de reducir la dimensionalidad de los sistemas petrológicos para así poder representarlos gráficamente. Esto es particularmente útil cuando el número de componentes es mayor que cuatro, con lo cual ya no es posible representarlo con un tetraedro que podemos construir y visualizar en tres dimensiones.

El análisis proyectivo en la petrología requiere de ciertos cuidados para asegurarse de que la reducción de dimensionalidad no incurra en una reducción de rigor termodinámico. Es decir, al reducir la dimensionalidad se está simplificando el sistema. Es importante tener cuidado de que la simplificación no conduzca a un error en la comprensión de los sistemas que intentamos comprender. En particular es importante que las fases de

las cuales se proyecta estén presentes en exceso en la paragénesis (es decir que existan como minerales en equilibrio). Un ejemplo de esto lo ilustro en la Figura 6, donde represento un sistema hipotético de tres componentes 1, 2 y 3, en condiciones de presión y temperatura tales que las paragénesis estables se muestran por medio de líneas de coexistencia. Nótese que sobre la línea de proyección sólo es correcto representar las fases *B* a *E*, porque *F* no se encuentra en equilibrio con *A* en el diagrama de facies de tres componentes, de tal manera que no se cumple el requisito de saturación de *A* necesario para la proyección.

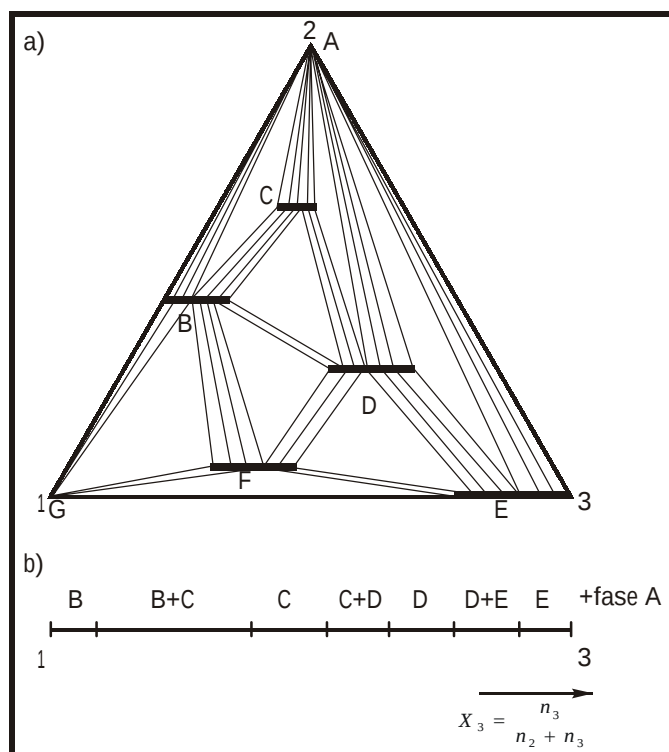


Figura 6. a) Diagrama de facies hipotético para el sistema de componentes 1, 2 y 3. Las fases *B-F* son soluciones sólidas limitadas y *A* y *G* son 100% componente 2 y 1, respectivamente. b) Proyección del diagrama en a) sobre la línea 1-3 a través del componente 2. La fracción molar del componente 3 en la proyección se obtiene con las proporciones relativas de 2 y 3. Nótese la ausencia de las fases *F* y *G* en la proyección, en vista de que no existe una paragénesis estable de estas fases en coexistencia con *A*. Modificado de la Figura 7 de Spear et al. (1982).

Para explicar cómo se lleva a cabo este proceso de proyección con matrices, utilizaré el ejemplo de Thompson (1982a, b), quien utilizó la proyección AFM para el sistema pelítico, a través de cuarzo, agua y muscovita. En principio, la metodología a seguir no difiere de aquella utilizada para la transformación de coordenadas con el fin de cambiar de miembros extremos (básicamente estamos cambiando de miembros extremos). Primero formulamos una matriz *A* que relaciona las composiciones químicas de un sistema conocido (u original) de coordenadas con el sistema donde queremos proyectar (Figura 7). También definimos la matriz *B* que relaciona los minerales a proyectar con las composiciones químicas originales. Luego procedemos como hicimos anteriormente, calculando la inversa de *A*, *A*⁻¹, y post-multiplicamos *B* por *A*⁻¹ para obtener *B'*. La ma-

triz *B'* tiene como renglones los vectores con las composiciones de los minerales en términos de los puntos y del plano de proyección. Para finalizar, simplemente fijamos los valores de los puntos de proyección en cero y renormalizamos para obtener las coordenadas correctas en el plano de proyección.

El lector interesado puede consultar distintas proyecciones utilizadas para el estudio de distintas paragénesis en los textos de Philpotts (1990) y Best (1982).

CONSIDERACIONES TERMODINÁMICAS

La energía es almacenada por las moléculas de la materia y su liberación puede ser utilizada para producir calor cuando se quema un combustible en un horno, trabajo mecánico cuando se consume combustible en un motor, o trabajo eléctrico cuando una reacción química bombea electrones por un circuito. La termodinámica es la rama de la ciencia que estudia las transformaciones de energía y nos permite aprovechar las reacciones químicas que ocurren espontáneamente a nuestro alrededor con el mayor beneficio y forzar aquellas reacciones químicas que no ocurren espontáneamente de la manera más eficiente. En la petrología, las bases termodinámicas conforman las reglas que siguen los materiales de la corteza para formar las distintas fases minerales que la constituyen para así poder determinar las condiciones en las que se formaron.

En la termodinámica nos referimos a un *sistema* como aquella parte del mundo que nos interesa estudiar por el momento. El sistema puede ser abierto, permitiendo intercambio de masa y energía con sus alrededores, puede ser cerrado (donde no hay intercambio de masa pero sí de energía), o bien puede ser un sistema aislado totalmente de sus alrededores. En conjunto, el sistema y sus alrededores conforman el *universo*.

Tres conceptos fundamentales de la termodinámica son el *trabajo*, el *calor* y la *energía*. Con el trabajo asociado con algún proceso me refiero a algo que se puede traducir en el movimiento vertical de una masa en los alrededores de un sistema. La energía es el potencial para hacer trabajo. Cuando hacemos trabajo en un sistema aislado, la capacidad del sistema para hacer trabajo aumenta y por ende aumenta su energía. Cuando la energía de un sistema es modificada como resultado de una diferencia en temperatura decimos que ha habido un flujo de calor. El trabajo y el calor son distintas maneras en las que se manifiesta la energía de un sistema. El sistema es como un banco: acepta depósitos y permite retiros en cualquiera de las dos monedas, pero sus reservas se contabilizan sólo como energía.

LA ENERGÍA INTERNA

La energía interna (*E*) total de un sistema no se puede determinar, pero los cambios de energía interna (ΔE) durante las reacciones químicas son relativamente sencillos de determinar.

$$\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}} \quad (8)$$

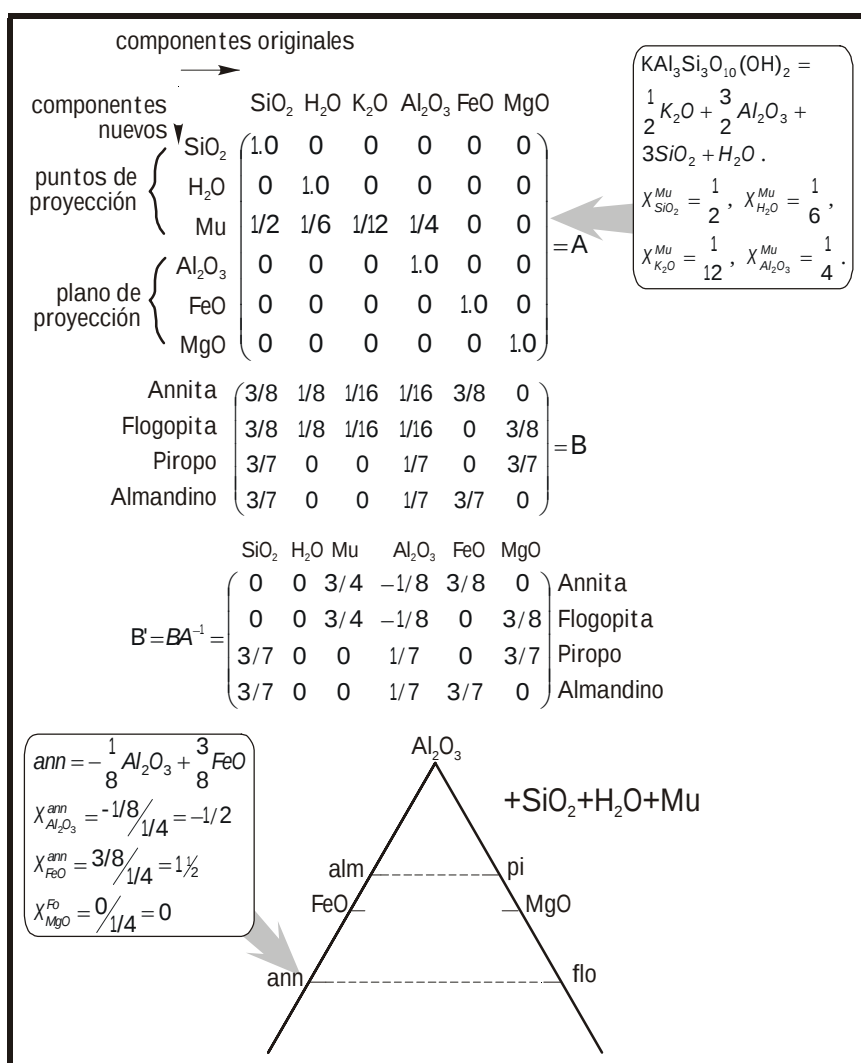


Figura 7. Descripción matricial y geométrica de la proyección de los minerales annita, flogopita, piropo y almandino en el triángulo AFM de Thompson (1957). Nótese la similitud del planteamiento con aquel de la Figura 5. La línea punteada entre los pares annita-flogopita y piropo-almandino (micas y granates, respectivamente) representan soluciones sólidas irrestrictas de Fe^{2+} - Mg^{2+} . Para validar la proyección, es requisito indispensable la presencia de cuarzo (SiO_2), muscovita [$Mu = KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$] y H_2O . Esta proyección es útil para el estudio de sistemas pelíticos.

Tomando en cuenta que el cambio en la energía interna se expresa como la suma de las componentes de calor (q) y de trabajo (w) tenemos

$$\Delta E = q + w. \quad (9)$$

Aquí adopto la convención de signos donde calor aportado al sistema y trabajo que se le hace al sistema son positivos (nótese que distintos autores adoptan diferentes convenciones y el lector tendrá que seguir cuidadosamente las derivaciones de cada autor). Durante la cristalización de sillimanita a partir de andalucita a una presión (P) constante, por ejemplo, el trabajo se puede expresar como

$$w = -P\Delta V, \quad (10)$$

donde V es el volumen. Sustituyendo a w en la ecuación (9) tenemos

$$\Delta E = E_1 - E_2 = q_p - P(V_2 - V_1) \quad (11)$$

lo cual se puede expresar como

$$q_p = (E_2 + PV_2) - (E_1 + PV_1) \quad (12)$$

Nótese que en esta expresión, q_p (el calor liberado en condiciones isobáricas) se expresa como la diferencia entre dos estados energéticos. A esta diferencia la denominamos cambio de *entalpía*, del griego que significa calentar. A la entalpía le asignamos la variable H y podemos escribir

$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V. \quad (13)$$

Los conceptos vertidos en este inciso dan pie a la *Primera Ley de la Termodinámica*, que se puede expresar de distintas maneras:

- La energía del universo es constante.

- La energía no se crea ni se destruye, sólo cambia de forma.
- $\Delta E = q + w$.
- El cambio de energía de un sistema es igual al intercambio de calor del sistema con sus alrededores más el trabajo que hace el sistema en sus alrededores o los alrededores en el sistema.
- Nada es gratis.

EL ORDEN Y LA ENTROPÍA

Si yo llegara a mi oficina una mañana y me encontrara con un escritorio despejado, mis papeles ordenados en orden de prioridad, mis discos compactos en su estuche correspondiente, los libros en su lugar, mis tazas de café arregladas por tamaño (y limpias) me extrañaría. Es decir, este tipo de cambio no es espontáneo. Este tipo de cambio requiere de una inversión (en mi caso considerable) de energía.

Siguiendo con el tema, hay algunos procesos en el universo que son espontáneos y que observamos con frecuencia: si abrimos una botella de cerveza el dióxido de carbono que sale de la botella se mezcla en la atmósfera. Por otra parte hay algunos procesos que no son espontáneos y que nunca observamos: cuando ponemos una servilleta con tortillas en la mesa, no encontramos que algunas tortillas se calientan a expensas de otras. Estos ejemplos son indicios de que un estado de desorden es favorecido a un estado ordenado.

El orden de un sistema tiene que ver con las posibilidades en la que es posible acomodar los átomos que lo conforman. Como ejemplo, en un cristal los enlaces entre átomos forman mallas cristalográficas regulares y las posiciones de los distintos elementos que conforman el cristal son más o menos estrictas. Si este cristal es calentado hasta fundirse, los átomos en el líquido no tienen posiciones fijas con respecto a sus vecinos y se pueden desplazar libremente en él. En el estado gaseoso, los átomos se mueven mucho más caóticamente con aún mayor libertad. Asociado con estos cambios de estado tenemos un cambio en el valor de otra variable termodinámica: la *entropía*, S . La entropía es la medida del grado de orden de un sistema. Estas consideraciones nos llevan a la formulación de la *Segunda Ley de la Termodinámica*, que también puede ser expresada con diferentes enunciados:

- Todo sistema tiende a un estado de equilibrio.
- La entropía es la flecha del tiempo.
- El estado de máxima entropía es el más estable para un sistema aislado.
- La energía del mundo es constante; la entropía del mundo tiende a maximizarse.

Para la transición de un estado a otro que ocurre a una temperatura T_i el cambio de entropía (ΔS) del sistema se define como

$$\Delta S = \Delta H/T_i, \quad (14)$$

lo cual nos conduce a la expresión

$$\Delta H = T\Delta S \quad (15)$$

para un cambio que se lleva a cabo a una temperatura constante.

LAS DISTINTAS EXPRESIONES ENERGÉTICAS

En sentido estricto, toda la termodinámica se puede analizar desde el punto de vista de la energía interna. Sin embargo, siendo E una función de S y de V , que no necesariamente son fáciles de medir, con frecuencia es mejor expresar la variación de energía de un sistema en términos de otras variables. De hecho, considero que uno de los problemas que enfrentamos cuando abordamos la termodinámica por primera vez, como estudiantes, es precisamente la multiplicidad de distintas expresiones energéticas. Dicha multiplicidad nace del afán de crear expresiones matemáticas alternativas que faciliten la apreciación del problema inmediato que nos atañe. También son el resultado de la naturaleza de los experimentos que se llevan a cabo en el curso de una investigación y del instrumental de medición disponible.

La derivación detallada y formal de cada ecuación de estado está fuera del alcance de esta nota. Sin embargo, con apoyo de la Figura 8, donde se representa cualitativamente la geometría de la superficie de energía interna en función de las variables S y V , presentaré algunas de las relaciones que guardan entre sí las distintas expresiones energéticas.

Utilizando diferenciales, la ecuación (13) se puede expresar como

$$dE = dH - PdV. \quad (16)$$

Sustituyendo dH por TdS de la ecuación (15) tenemos

$$dE = TdS - PdV. \quad (17)$$

Si ahora obtenemos las derivadas parciales de la ecuación (17) podemos escribir

$$\left. \frac{\partial E}{\partial S} \right|_V = T, \text{ y} \quad (18)$$

$$\left. \frac{\partial E}{\partial V} \right|_S = -P. \quad (19)$$

Estas expresiones se pueden considerar como las definiciones termodinámicas de temperatura y presión, respectivamente. Las ecuaciones (18) y (19), así como las relaciones geométricas de la Figura 8 b) y c), nos permiten obtener las siguientes igualdades:

$$H = E + PV \text{ y} \quad (20)$$

$$F = E - TS. \quad (21)$$

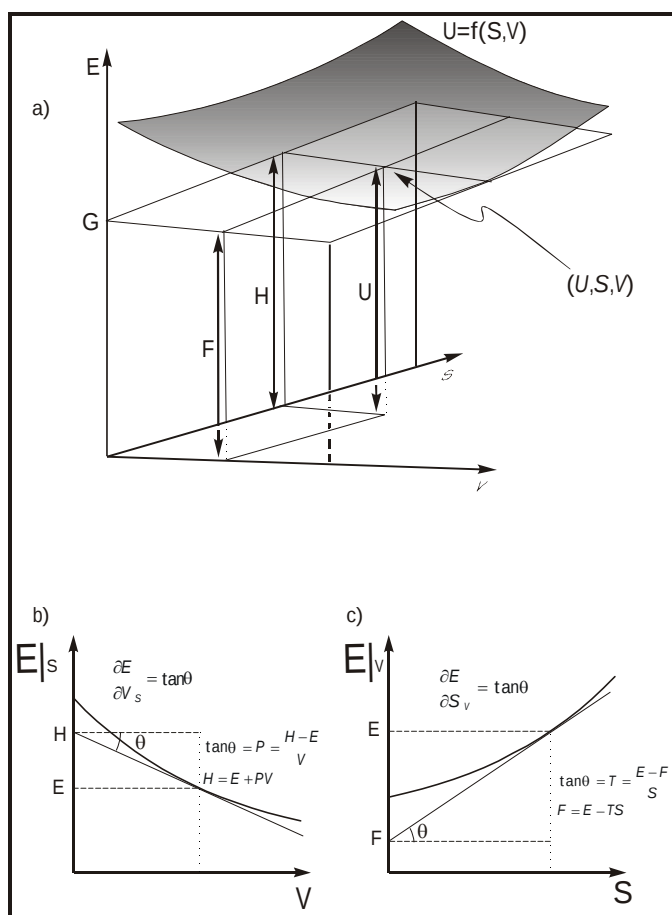


Figura 8. a) Representación gráfica de la geometría de la superficie de energía interna (U) en función de S y V , así como la tangente a la superficie en el punto (U, S, V) y la relación geométrica entre las variables H , F , U , y G . b) Gráfico de U en función de V a una entropía constante S . c) Gráfico de U en función de S a un volumen constante V . En ambos gráficos se puede apreciar la derivación geométrica de H y F , respectivamente, utilizando la pendiente de las tangentes a la curva U .

Si procedemos a diferenciar estas expresiones obtenemos:

$$dH = dE + PdV + VdP \quad (22)$$

$$dF = dE - SdT - TdS. \quad (23)$$

Podemos ahora sustituir el valor de dE usando la ecuación (17) para obtener finalmente

$$dH = TdS + VdP \quad (24)$$

$$dF = -SdT - PdV. \quad (25)$$

Nótese que la entalpía, H , se ha expresado como una función de S y P a partir de la expresión de E en términos de S y V , mientras que F se encuentra en términos de T y V . En la conversión de una expresión de E a una expresión de H hemos cambiado de la variable V a la variable P . Igualmente, cuando transformamos una expresión de E en función de S a una función de T obtenemos F . A los pares P - V y S - T les llamamos variables conjugadas. Podemos llevar a cabo transformaciones de este tipo (denominadas transformaciones de *Legendre*) para expresar la energía libre de Gibbs como

$$G = E - TS + PV \quad (26)$$

La ecuación (26) se puede expresar como una diferencial exacta, con lo cual obtenemos

$$dG = dE - TdS - SdT + PdV + VdP.$$

Sustituyendo el valor de dE de la ecuación (17) esto se simplifica para dar

$$dG = VdP - SdT \quad (27)$$

que representa la variación en G en función de cambio en P y T .

Las distintas representaciones energéticas nos dicen distintas cosas acerca de los sistemas donde las estudiamos. La energía interna, E , por ejemplo, nos da información acerca de la energía total de una sistema. La entalpía, H , representa el flujo de energía térmica. La expresión de la energía de Helmholtz es a veces conocida como la función del trabajo, porque representa el trabajo máximo que puede hacer un sistema. Los cambios en la energía libre de Gibbs, como veremos con más detalle a continuación, representan la dirección favorecida para reacciones químicas y cambios de fase.

LA ENERGÍA LIBRE DE GIBBS

A partir de la derivación simplificada de la energía libre de Gibbs, veamos ahora algunas de sus propiedades como función de estado. Su utilidad en la petrología radica en su capacidad de determinar la posibilidad de una reacción para formar una fase a partir de otra(s). Es decir, si $\Delta G < 0$ para una reacción, la reacción es espontánea; si $\Delta G > 0$, la reacción no es espontánea y si $\Delta G = 0$, las fases de la reacción están en equilibrio. Esto significa que la energía libre de Gibbs es el criterio para determinar la estabilidad termodinámica de un conjunto de fases.

Los científicos de fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX, pensaban que con el simple hecho que una reacción fuera exotérmica (es decir que $\Delta H < 0$ para la reacción), bastaba para que ésta fuera espontánea. Consideremos por el momento, a manera de contraejemplo, el sistema H_2O en condiciones atmosféricas a una temperatura cercana a los $0^\circ C$ y la reacción hielo=agua. Sabemos que a $-1^\circ C$ la fase estable es hielo, que a $1^\circ C$ la fase estable es agua y que a $0^\circ C$ ambas fases (hielo y agua coexisten en equilibrio). También se puede demostrar que dicha reacción es endotérmica, es decir que absorbe calor (el calor de fusión). A pesar de que la conversión de hielo a agua es una reacción endotérmica a $1^\circ C$, la reacción es espontánea. La razón de esta aparente contradicción radica en el cambio de entropía del sistema. Es decir, la energía térmica absorbida por el sistema (ΔH) es acomodada por un aumento en la entropía (ΔS) del sistema. Esto se puede demostrar sencillamente reacomodando y combinando las ecuaciones (13) y (26), que nos permiten escribir

$$\Delta E = \Delta H - P\Delta V = \Delta G + T\Delta S - P\Delta V, \quad (28)$$

con lo cual podemos obtener

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S. \quad (29)$$

El significado de esta ecuación es que tanto la entropía como la entalpía contribuyen o compiten entre sí para establecer la dirección de espontaneidad de una reacción. Hay reacciones donde ambas aportan para dar un valor negativo a ΔG . Por ejemplo, la combustión del gas butano ($2 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{ O}_2 = 8 \text{ CO}_2 + 10 \text{ H}_2\text{O}$) libera calor ($\Delta H < 0$) y resulta en un aumento de entropía ($-T\Delta S < 0$), ya que los átomos de 15 moléculas se reacomodan para formar 18 moléculas.

Nótese también en la ecuación 28 que cuando $\Delta G = 0$ (es decir, en condiciones de equilibrio) el cambio de calor tiene que ser igual al cambio de entropía por la temperatura absoluta. Vale la pena también remarcar que la ecuación 15 se obtiene a partir de un reacomodo de la ecuación (28).

Consideremos ahora algunos aspectos geométricos de la superficie de energía libre de Gibbs. De la ecuación (27) podemos derivar

$$\left. \frac{\partial G}{\partial P} \right|_T = V \quad (30)$$

y

$$\left. \frac{\partial G}{\partial T} \right|_P = -S. \quad (31)$$

Ya que tanto S como V están restringidos a valores positivos, las ecuaciones (28) y (29) nos indican que la pendiente de G con respecto a P será siempre positiva y la pendiente de G con respecto a T será negativa. Por otra parte las segundas derivadas de G

$$\left. \frac{\partial^2 G}{\partial P^2} \right|_T = \frac{\partial V}{\partial P} \quad (32)$$

y

$$\left. \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right|_P = -\frac{\partial S}{\partial T} \quad (33)$$

son también siempre menores a cero (por la relación inversa entre P y V y la relación directa entre T y S). El signo negativo de las segundas derivadas nos indica que la curvatura de las funciones es cóncava hacia abajo, tanto en el plano G - T , como en el plano G - P .

La información obtenida de las primeras y segundas derivadas parciales de la energía libre de Gibbs con respecto a la presión y la temperatura, respectivamente, nos permite reconstruir cualitativamente la geometría tridimensional de las superficies de energía en función de P y T (Figura 9a). Para un sistema químico de un componente, el diagrama de fases queda definido por la proyección de las líneas de intersección de las distintas superficies sobre el plano P - T (Figura 9b). Las líneas de intersección representan puntos en el espacio P - T donde la energía libre de Gibbs de las distintas fases es igual. Ya que la naturaleza tiende a minimizar su energía, la formación de la fase de menor energía libre es favorecida a partir de la(s) otra(s) fase(s). A esta(s) fase(s) le(s) denominamos fase(s) de equilibrio.

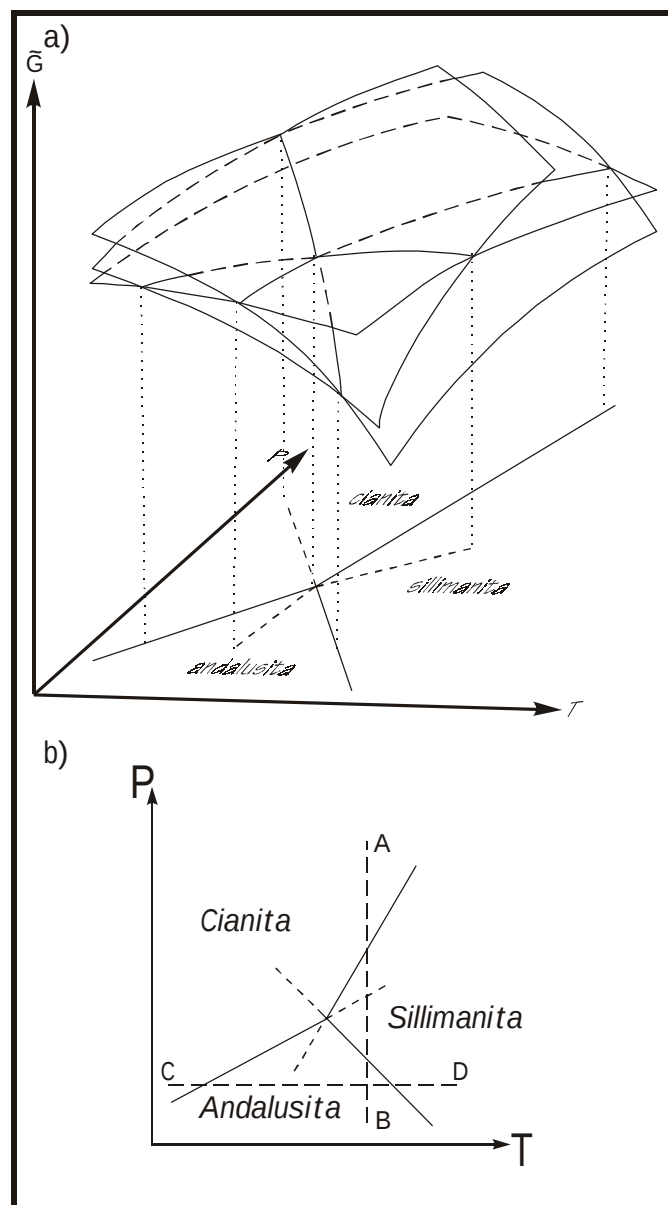


Figura 9. a) Representación gráfica de la geometría de las superficies de energía libre de Gibbs molar en función de P y T y la proyección al plano P - T de las líneas de equilibrio. b) Diagrama de fases esquemático del sistema de los aluminosilicatos. Las rectas A-B y C-D representan cortes isotérmicos e isobáricos, respectivamente.

LOS EFECTOS DE AUMENTO DE PRESIÓN EN FASES CRISTALINAS

Podemos explorar los efectos de aumento de presión en fases cristalinas realizando excursiones isotérmicas en el plano G - P , utilizando por el momento el mismo ejemplo de los aluminosilicatos de la Figura 9. Examinemos detalladamente el comportamiento de la energía libre de Gibbs molar ($\tilde{G}$) de las distintas fases a lo largo de un corte sobre la línea AB de la Figura 9b). La Figura 10a) muestra gráficamente este comportamiento. Las flechas indican aquellas porciones de las respectivas curvas para las cuales ($\tilde{G}$) es mínima y por lo tanto, corresponden a la fase estable en ese rango de P .

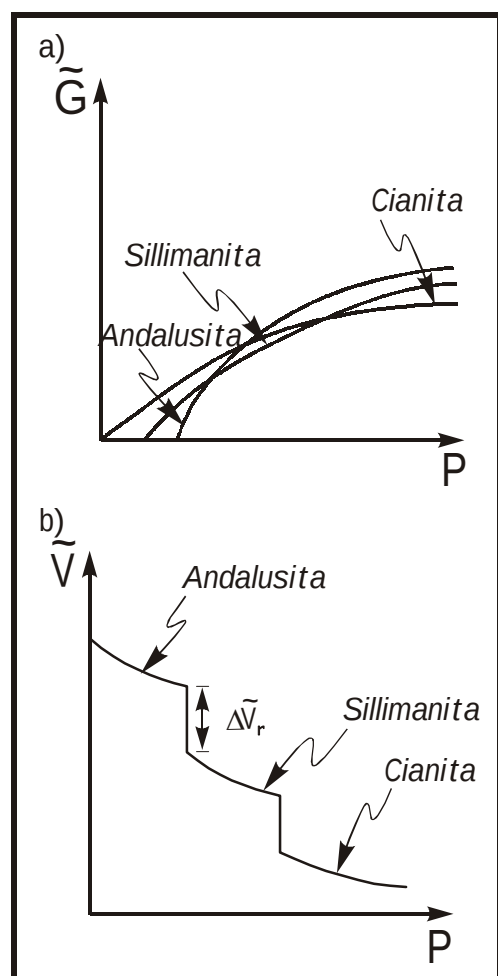


Figura 10. a) Representación gráfica de la energía libre de Gibbs molar en función de P para el sistema de los aluminosilicatos, a lo largo de la línea AB de la Figura 6b. Las flechas de las curvas de cada fase señalan las fases estables en cada rango de P . b) Gráfica de la variación del volumen molar en función de P . $\Delta \tilde{V}_r$ representa el cambio volumétrico de la reacción.

También podemos mostrar la variación del volumen molar $\tilde{V}$ de las tres fases en función de P como se muestra en la Figura 10b). De la figura se desprende que el cambio de fase de andalusita a sillimanita (o de sillimanita a cianita) con aumento de presión está asociado a una discontinuidad en el volumen

molar del material cristalino. Este cambio del volumen molar representa una respuesta del material al aumento de presión y es acompañado por un cambio en el arreglo estructural cristalino. La Figura 11 a), b) y c), muestran pares estereoscópicos de las estructuras cristalinas de andalusita, sillimanita y cianita, respectivamente, en las que cualitativamente se puede apreciar de las estructuras, el aumento en la densidad de las mallas atómicas en la progresión andalusita-sillimanita-cianita.

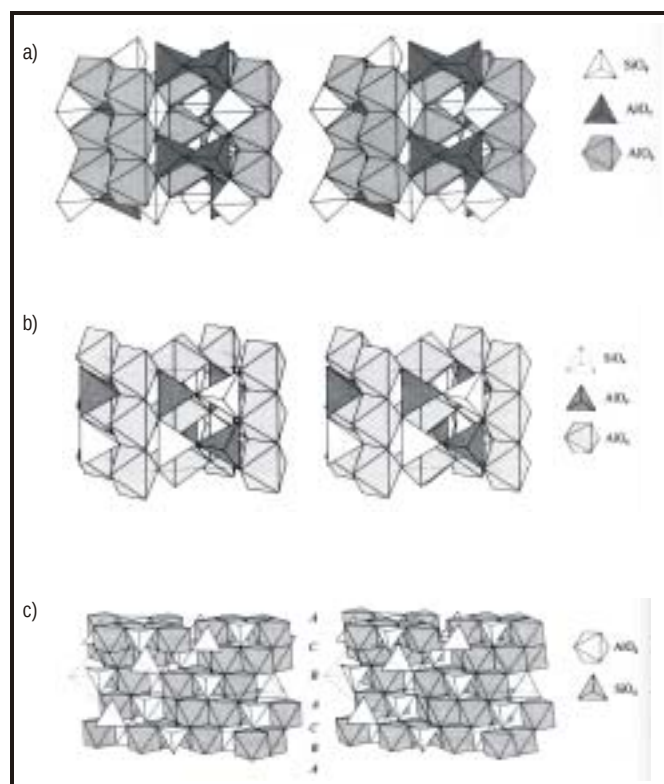


Figura 11. Pares estereoscópicos de las estructuras atómicas de a) andalusita, b) sillimanita y c) cianita. Se puede apreciar cualitativamente en la figura el aumento en la densidad del acomodo de los átomos de arriba hacia abajo (Modificado de Zolnai y Stout, 1984).

Estructuralmente, los tres polimorfos de Al_2SiO_5 acomodan todo el silicio en coordinación tetraédrica y uno de los dos iones de Al^{3+} en coordinación octaédrica. La diferencia principal entre las tres estructuras se manifiesta por la coordinación del ion Al^{3+} restante, que ocupa un sitio de coordinación V en andalusita, coordinación IV en sillimanita y coordinación VI en cianita. Como se aprecia en la Figura 11a), la estructura de la andalusita consiste de cadenas de octaedros paralelas a $[001]$. Estos octaedros comparten una arista y solamente la mitad de los iones Al^{3+} ocupan estos sitios; la otra mitad ocupa sitios bipiramidales trigonales irregulares en coordinación cinco. La estructura de la sillimanita (Figura 11b) es similar a la de la andalusita, ya que la mitad de los iones Al^{3+} ocupa octaedros en cadenas alargadas en dirección $[001]$. Sin embargo, los cationes de Al^{3+} restantes ocupan tetraedros que comparten tres de sus cuatro oxígenos con tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Para la cianita, se rompe el arreglo de los octaedros en cadenas y se forman ma-

llas bidimensionales de octaedros que comparten aristas y que acomodan todo el aluminio, logrando con esto una estructura más compacta (Figura 11c).

LOS EFECTOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA EN FASES CRISTALINAS

Desde un punto de vista cristalográfico o estructural, los cambios de fase causados por aumentos de temperatura coinciden con aumentos en la simetría. Entre mayor sea el desorden, mayores son las posibilidades de simetría; entonces, a mayor temperatura, mayor desorden, mayor simetría. Para ilustrar esto, veamos un ejemplo tomado de los feldespatos potásicos con fórmula química KAlSi_3O_8 . A este grupo mineral pertenecen los polimorfos microclina y sanidino, de baja y alta temperatura, respectivamente. La microclina es de simetría triclínica con grupo puntual $\bar{1}$ mientras que el sanidino es monoclinico con grupo puntual $\frac{2}{m}$. Este aumento en la simetría se relaciona

con el aumento de la entropía molar ($\Delta\tilde{S}_r$) asociado al cambio de fase.

Los cambios de $\tilde{S}$ también se manifiestan como variaciones en el grado de orden/desorden de átomos en la malla cristalina de distintas fases. La Figura 12a) y b) muestra los pares estereoscópicos de las estructuras cristalográficas del sanidino y de la microclina, respectivamente. En la estructura del sanidino (Figura 12a) se pueden reconocer dos sitios tetragonales simétricamente distintos que se resaltan con T1 y T2. Al bajar el sanidino de temperatura, el aluminio es más fácilmente alojado en los sitios T1, con lo que se pierden tanto el eje simétrico de orden dos, como el plano de simetría. La posición más estricta del aluminio en la malla cristalográfica representa más orden en el sistema, que a su vez se refleja en una disminución de la entropía molar del material cristalino.

TRANSFORMACIONES DE PRIMER Y SEGUNDO ORDEN

Las transformaciones cristalográficas detalladas en los incisos anteriores son transformaciones de *primer orden*, porque las primeras derivadas (o sea S y V) de la energía libre son discontinuas sobre la curva de equilibrio. Para P y T fijos, el que las entropías y los volúmenes molares de dos polimorfos coexistentes en equilibrio sean distintos resulta intuitivo, ya que de otra manera tendrían las mismas propiedades físicas. Las fases tienen que ser distintas, cada una con su propia estructura. Las entropías y volúmenes molares de cada polimorfo tienen, entonces, que ser distintos. Para convertirse un polimorfo en otro, tienen que romperse enlaces atómicos y tienen que reorganizarse los iones para formar una nueva estructura. Por esta razón, las transiciones de primer orden son a veces denominadas transiciones *reconstructivas*.

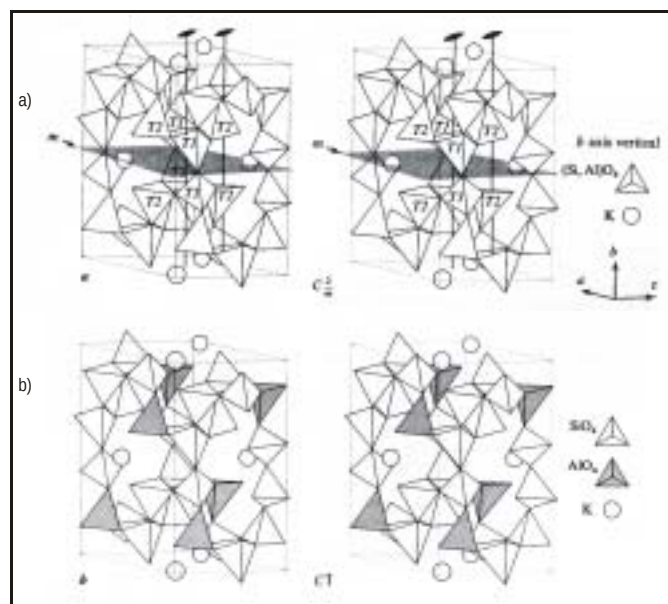


Fig. 12. Pares estereoscópicos de las estructuras de a) sanidino mostrando los elementos de simetría y los tetraedros simétricamente idénticos, y b) microclina con tetraedros simétricamente distintos por la ocupación diferencial de Al^{3+} y Si^{4+} . (Modificado de Zoltai y Stout, 1984).

Algunos otros tipos de transiciones polimórficas no exhiben cambio en entropía y volumen molar. La transición entre los cuarzos α y β , por ejemplo, es el resultado de una rotación paulatina de los tetraedros que permite que se enderece la estructura; esta transición es acompañada por un aumento en la simetría puntual de 32 a 622. No es necesario romper enlaces atómicos en este tipo de transformaciones, por lo que se les conoce como transformaciones de *desplazamiento*.

La Figura 13 resalta la diferencia en las curvas de volumen molar en función de P para transiciones de primer y de segundo orden. Como es de esperarse, las diferencias entre los dos tipos de transformaciones hacen que las transformaciones de desplazamiento sean rápidas y fácilmente reversibles, mientras que las reconstructivas son lentas y difícilmente reversibles.

TERMODINÁMICA DE LA NUCLEACIÓN

La nucleación de una fase cristalina es el proceso de formación de centros de cristalización, formados por grupos de átomos con arreglo cristalino. La nucleación es el primer paso en la formación de cristales a partir de un líquido. Cuando estos núcleos son pequeños, hay un número de átomos en la superficie del núcleo similar al número de átomos en el centro del núcleo. Los átomos en las porciones centrales del núcleo están rodeados de átomos y son afectados por esfuerzos más o menos balanceados. En cambio, los átomos de la superficie del núcleo cristalino se encuentran con esfuerzos desbalanceados, causados por enlaces químicos desbalanceados por la interfaz entre las dos fases (sólida y líquida). Existe entonces cierta competencia entre estos dos estados en las fases tempranas de la nucleación. Sin embargo, al crecer el cristal, el número de áto-

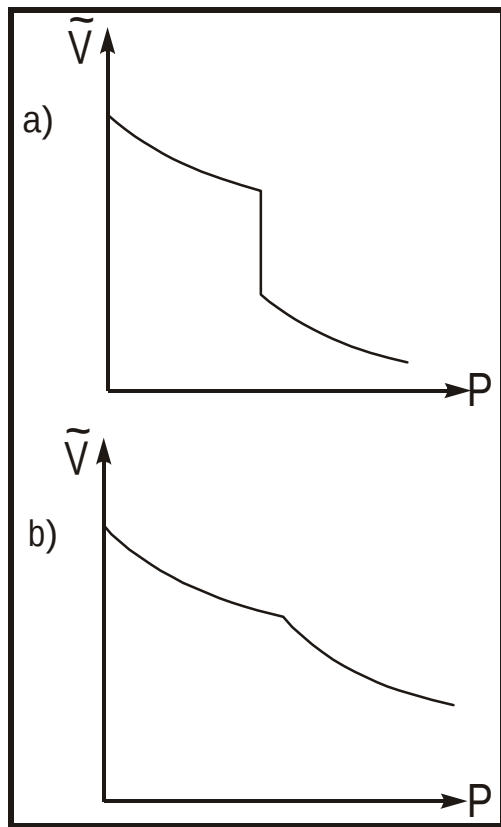


Figura 13. Curvas de volumen molar en función de presión para a) transiciones de primer orden y b) segundo orden.

mos centrales y aislados de los efectos de interfaz aumenta como el radio del cristal al cubo, mientras que el número de átomos que quedan en la superficie aumenta como el radio al cuadrado. Esto significa que hay un cierto radio crítico para un núcleo que tiene que ser excedido para que los átomos centrales con esfuerzos balanceados predominen y que el crecimiento del cristal sea espontáneo.

Estos efectos los podemos representar también mediante gráficos de energía libre de Gibbs contra el radio del núcleo, como se muestra en la Figura 14. Estos gráficos muestran una barrera energética que inhibe el crecimiento de un cristal hasta que el cristal haya alcanzado y rebasado el radio crítico, momento a partir del cual el crecimiento es espontáneo. Esta barrera es similar a la que asociamos con la energía de activación de una reacción química. El tamaño de la barrera es a su vez afectado por otros factores como la viscosidad, la presión y la temperatura.

Si nosotros tratáramos, por ejemplo, de cristalizar hielo a partir de agua en un congelador con una temperatura controlada a exactamente 0°C , veríamos que la nucleación es muy ineficiente a esa temperatura, ya que la barrera energética es grande. Si en cambio bajáramos la temperatura del congelador a -10°C o a -20°C , la nucleación es favorecida sustancialmente por una reducción considerable de la energía de nucleación causada por alejarnos de la temperatura de equilibrio entre las dos fases. Esto es ilustrado en la Figura 14.

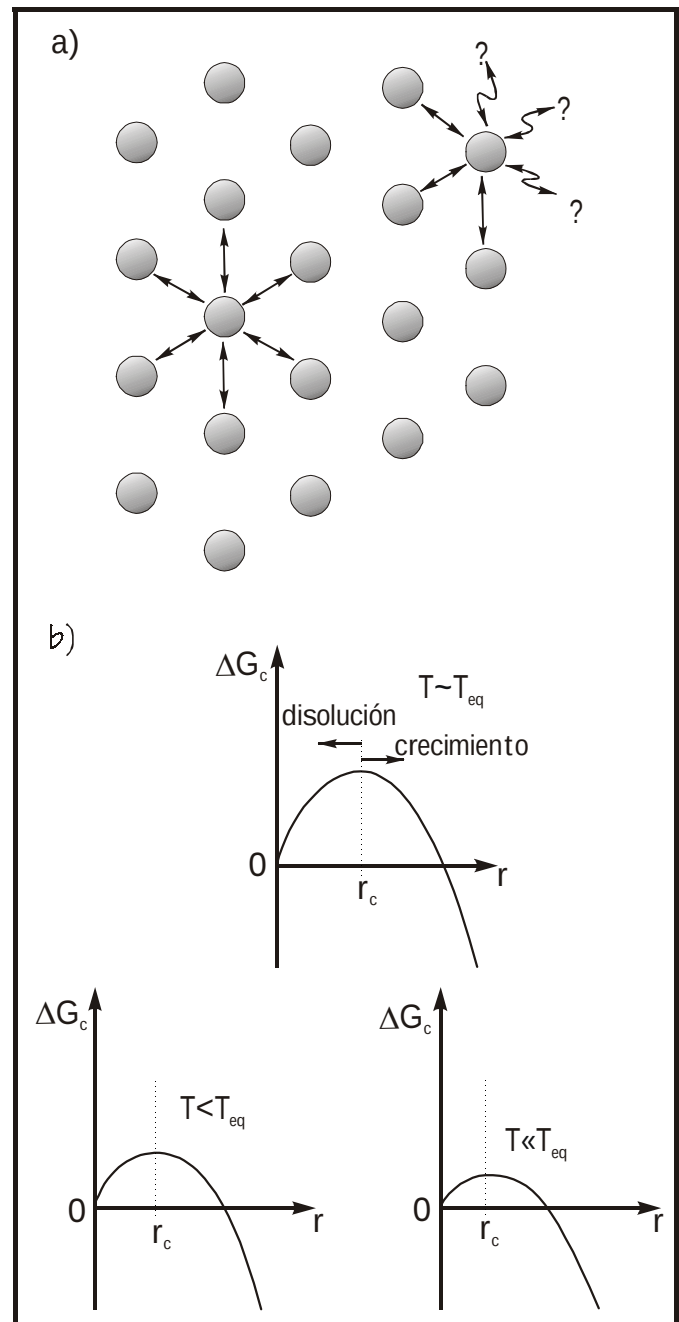


Figura 14. a) Diferencias en el balance de fuerzas de átomos hacia el centro y en el borde de un cristal. Los átomos en los bordes están más desequilibrados que aquellos en las porciones internas del cristal. b) Energía libre de Gibbs en función de radio del núcleo. Nótese la disminución de la barrera energética y del radio crítico con el aumento en la diferencia de T .

Una vez rebasado el radio crítico de un núcleo, inicia la fase de crecimiento de un cristal. El crecimiento es controlado por el abastecimiento de átomos compatibles a la superficie del cristal, el que a su vez es controlado por las tasas de difusión del material. El abasto en medios acuosos es sumamente eficiente, por lo cual el crecimiento es rápido. En medios cristalinos (como las rocas metamórficas) la difusión es mucho más lenta y se vuelve más lenta conforme disminuye la temperatura. Esto contribuye a que queden preservadas fases cristalinas

metaestables a temperaturas y presiones alejadas de su campo de estabilidad. Esto es sumamente afortunado para los petrólogos metamórficos, y para las prometidas, porque de otra manera, no quedarían preservadas ni las paragénesis metamórficas ni los diamantes.

EL POTENCIAL QUÍMICO

Lo expresado hasta este punto de los aspectos termodinámicos es aplicable estrictamente a sistemas de una composición que puede ser descrita con un solo componente químico. Es decir, que es aplicable para los sistemas H_2O , SiO_2 , o bien Al_2SiO_5 , el ejemplo citado. Sin embargo, las rocas son sistemas químicos mucho más complejos, que exhiben variabilidad química. Esta variabilidad química se expresa mediante distintas paragénesis minerales formadas en las mismas condiciones de P - T . En este inciso intentaré conjuntar nuestros conocimientos del espacio composicional con nuestros conocimientos de la energía libre de Gibbs.

Para ilustrar esta idea de manera gráfica, hago referencia a la Figura 15 donde represento de manera esquemática la variación de la energía molar de Gibbs (en condiciones P - T fijas, tales que los minerales periclase, forsterita, enstatita y cuarzo sean estables) en función de la composición química del sistema MgO - SiO_2 expresada como fracción molar de SiO_2 . De la gráfica se desprende que las composiciones correspondientes a los minerales estables tienen energías libres muy inferiores a las energías libres de composiciones intermedias. Esto se debe a que el acomodo tridimensional de los átomos en las proporciones de los distintos minerales es más eficiente en estas composiciones que en composiciones intermedias. En el estado cristalino esto se debe a que cada ion tiene una posición específica dentro de la malla cristalina y que estas posiciones no son intercambiabiles con otros iones.

En un sistema como fayalita-forsterita (Fe_2SiO_4 - Mg_2SiO_4) tenemos que los elementos hierro y magnesio pueden sustituirse uno por el otro sin alteración sustancial de la geometría de la malla cristalina, debido a que sus radios iónicos son muy similares y que sus cargas (en este ejemplo concreto) son idénticas. Esta posibilidad de libre sustitución permite que un mismo mineral pueda representar distintas proporciones de hierro y magnesio. A este tipo de sistemas minerales les llamamos soluciones sólidas. Otros ejemplos de importancia geológica son los piroxenos, descritos anteriormente, y las plagioclasas, entre otros muchos.

La Figura 16 muestra esquemáticamente la variación de la energía libre de Gibbs molar en función de la fracción molar de forsterita, para una temperatura y presión fijas y tales que las fases cristalinas sean estables. La curva de energía libre molar varía en función de la composición química del sistema, lo cual significa que la energía libre de Gibbs no es sólo una función de P y de T como ilustramos en un inciso anterior, sino que también es función de la composición química X .

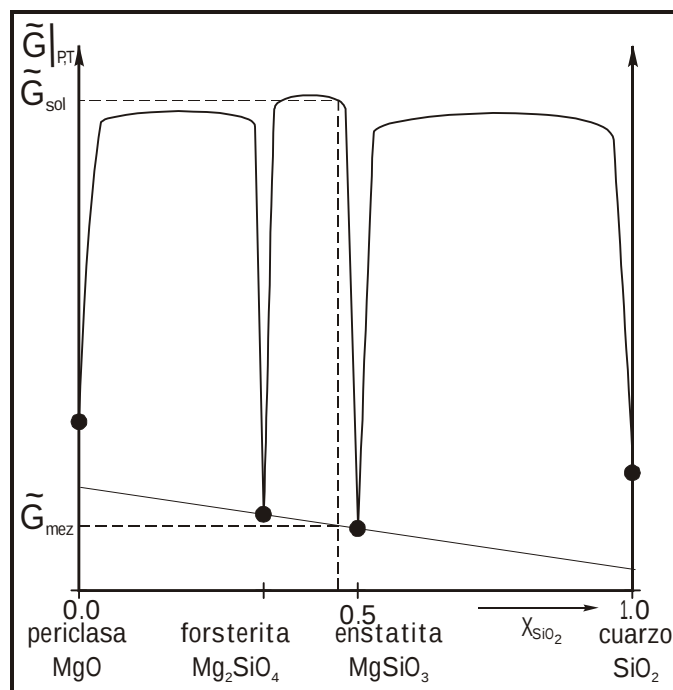


Figura 15. Gráfico de G molar a una temperatura y presión fijas, en función de la fracción molar de SiO_2 . P y T son tales que las fases cristalinas periclase, forsterita, enstatita y cuarzo son estables (pero no necesariamente coexistentes). Empíricamente, sabemos que no hay fases cristalinas con composiciones intermedias entre forsterita y enstatita. La razón es que la energía libre de Gibbs molar de una mezcla mecánica de forsterita-enstatita (G_{mez}) es menor que aquella de un cristal con composición intermedia (G_{sol}).

Analíticamente, para una fase en un sistema de m componentes, podemos plantear la siguiente ecuación:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{P, n_i} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T, n_i} dP + \left(\frac{\partial G}{\partial n_1} \right)_{P, T, n_j} dn_1 + \dots + \left(\frac{\partial G}{\partial n_m} \right)_{P, T, n_i} dn_m. \quad (34)$$

De la misma manera que escribimos las ecuaciones (23) y (24) que manifiestan que el volumen y el negativo de la entropía son las derivadas parciales de la energía de Gibbs con respecto a la presión y la temperatura, respectivamente, cuando las demás variables son constantes, podemos definir una nueva variable termodinámica

$$\mu_1 \equiv \left(\frac{\partial G}{\partial n_1} \right)_{P, T, n_{j \neq 1}}. \quad (35)$$

A esta variable, denominada potencial químico, la podemos comprender en términos de la contribución al cambio de la energía libre de Gibbs de una fase como resultado de variaciones en la composición química de la fase.

Si consideramos como ejemplo un sistema de dos componentes químicos podemos plantear la ecuación (27) de la siguiente manera:

$$dG = -S dT + V dP + \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2. \quad (36)$$

Dividiendo ambos lados de (29) entre la masa del sistema para obtener valores molares tenemos:

$$d\tilde{G} = -\tilde{S} dT + \tilde{V} dP + \mu_1 dX_1 + \mu_2 dX_2, \quad (37)$$

donde

$$X_i = \frac{n_i}{\sum n_i}.$$

Tomando como ejemplo el par fayalita-forsterita ilustrado en la Figura 16, que muestra la variación en la energía libre molar de Gibbs en función de la fracción molar de forsterita (en condiciones isobáricas e isotérmicas), vemos que ésta varía a lo

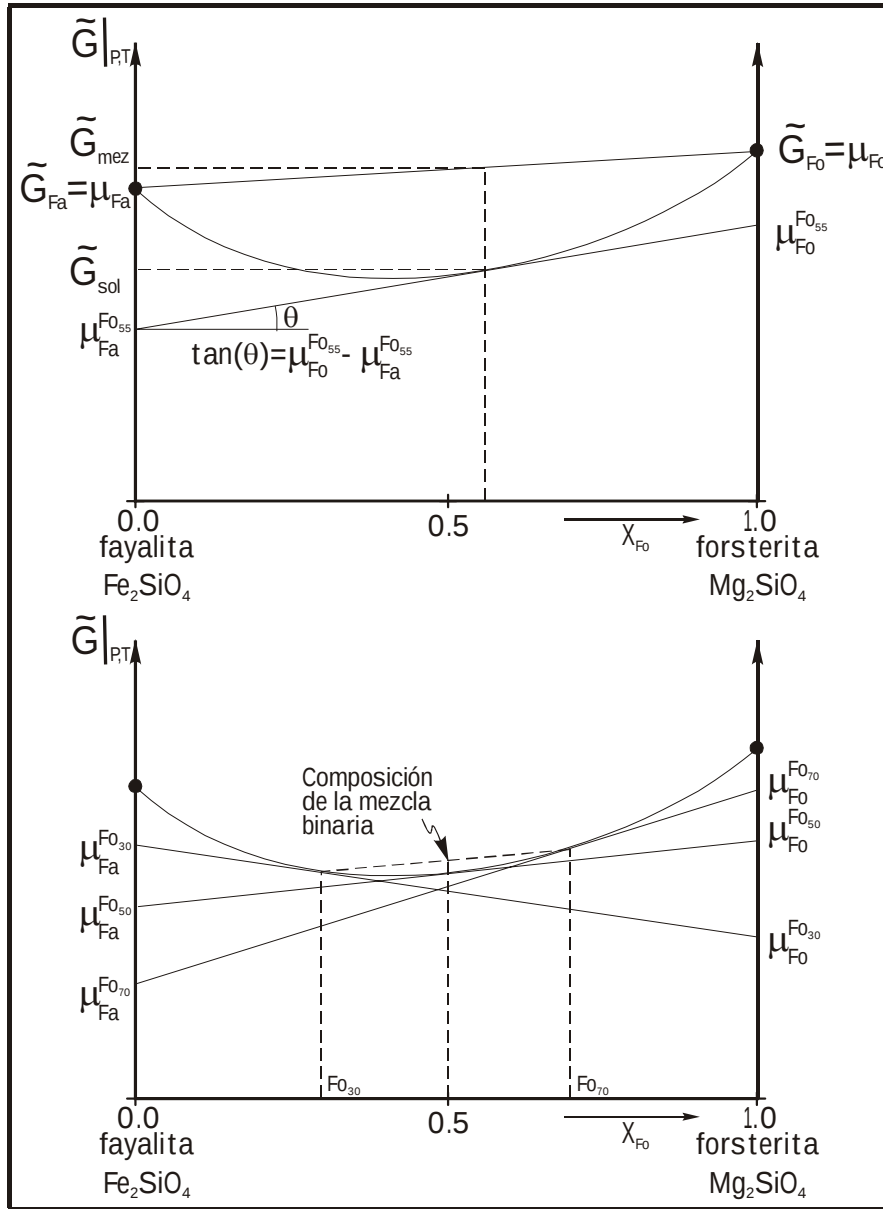


Figura 16. Gráficos con la variación de la energía molar de Gibbs en función de la composición química en el sistema fayalita-forsterita a presión y temperatura constantes. a) Nótese en particular la relaciones geométricas entre la pendiente de la tangente a la curva de energía molar en el punto Fo_{55} y la ecuación (19) en el texto. También nótese que la energía libre de una mezcla binaria de los miembros extremos es mayor que la energía libre de un cristal de Fo_{55} . b) Relaciones energéticas de una mezcla mecánica de polvos de composición Fo_{55} y Fo_{55} . La solución sólida Fo_{55} es de menor energía libre que la mezcla mecánica. El "motor" que propulsa la reacción es el potencial químico.

largo de una curva siempre cóncava hacia arriba. Vemos también que los extremos de esta curva, en los puntos correspondientes a los miembros extremos del sistema binario, representan la energía libre molar (y el potencial químico $m\ddot{o}$) de las fases puras. ¿Cómo podemos intuir esta geometría? Si partimos de que el sistema de los olivinos es una solución sólida irrestricta, la forma cualitativa de esta curva no podría ser distinta. Si fuera cóncava hacia arriba, la energía libre de una mezcla mecánica de fayalita y forsterita sería menor que la energía libre de un cristal con una composición intermedia. De ser ésto cierto, encontraríamos entonces rocas formadas por estos dos minerales. Lo que encontramos es, en cambio, rocas con cristales de olivino de composición intermedia entre los dos miembros extremos.

De las relaciones geométricas de la Figura 16a) podemos derivar lo siguiente:

$$X_{Fa} + X_{Fo} = 1 \Rightarrow X_{Fa} = 1 - X_{Fo} \Rightarrow dX_{Fa} = -dX_{Fo} \quad (38)$$

$$(dG)_{P,T} = \mu_{Fa}(-dX_{Fo}) + \mu_{Fo}(dX_{Fo}) \quad (39)$$

$$\left(\frac{\partial G}{\partial X_{Fo}} \right)_{P,T} = \mu_{Fo} - \mu_{Fa} \quad (40)$$

La ecuación (33) nos dice que para una fase (Fo_{55} en el ejemplo del gráfico) la variación de la energía libre en función de la composición química es igual a la diferencia de los potenciales químicos de los componentes puros. Los potenciales químicos de los componentes puros se representan por la intersección de la tangente con los ejes de G .

La Figura 16 b) muestra la situación hipotética de cantidades iguales de dos polvos de olivino, finamente molidos y perfectamente mezclados en un crisol, a una temperatura de unos 900°C y presión de 1 bar. La composición de los polvos es de 30% y 70% Fo respectivamente. El gráfico muestra que los dos polvos tienen distintos potenciales químicos de Fa y Fo , lo cual crea una situación de inestabilidad. El gradiente químico que existe entre granos de polvo induce la difusión de Mg^{2+} y de Fe^{2+} , con lo cual la composición de los cristales tiende a homogeneizarse, hasta tener una composición de Fo_{50} . En esta composición, los potenciales químicos de Fo y de Fa en los cristales del crisol serán iguales y se habrá logrado el equilibrio termodinámico.

LA REGLA DE LAS FASES

La regla de las fases asocia el número de grados de libertad termodinámica (f) con el número de componentes químicos (c) en un sistema y el número de fases (ϕ) que pueden coexistir en equilibrio termodinámico heterogéneo: $f = c - \phi + 2$.

El número grados de libertad termodinámica (la varianza en términos matemáticos) asocia el número de variables que describe un sistema con el número de ecuaciones que describen su comportamiento. Este tipo de análisis también cumple con las estrictas reglas del álgebra lineal. Lo que buscamos en el análisis petrológico es la coexistencia del mayor número de fases posibles, para así poder constreñir sus condiciones de P y T . Si retomamos como ejemplo el sistema de los aluminosilicatos de la Figura 9 veremos que la región donde es estable la sillimanita, por ejemplo, abarca un rango bastante amplio de P y T , es decir, ambas variables pueden asumir valores independientemente. Sin embargo, a lo largo de la línea de equilibrio sillimanita-cianita, el valor de P dicta el valor de T y *viceversa*: un valor depende del otro. En el caso particular de la coexistencia en equilibrio de las tres fases, los valores de P y de T están determinados y no pueden variar.

Este concepto de varianza matemática exige que las tangentes de las superficies energéticas estén en contacto con éstas en todo momento. Esto fija o determina los valores de los potenciales químicos, como expuse en el inciso anterior. Otra manifestación de este concepto lo representa el amortiguamiento del potencial químico. Como se ilustra en la Figura 17, el sistema $MgO-SiO_2$ se puede manifestar con ciertas combinaciones de las fases periclase (pe), forsterita (fo), enstatita (en) y cuarzo (czo). La regla de las fases dicta que un sistema de dos componentes y dos fases presentes tenga cero grados de libertad. De esto se desprende que el potencial químico de los distintos componentes es fijado o amortiguado en cada una de las dos fases coexistentes. Es decir, no puede variar ni el potencial químico del MgO ni del SiO_2 en cada fase coexistente, en presencia de dos fases en equilibrio. Por otra parte, no pueden coexistir, en equilibrio, más de dos fases.

RELEVANCIA GEOLÓGICA

Lo expuesto hasta aquí puede ser considerado sumamente teórico y, para algunos, de poca utilidad práctica. Habrá incluso lectores que se pregunten ¿y qué? Incluyo a continuación un par de ejemplos que ilustran aplicaciones concretas de algunos de los puntos tratados, sin que dicha aplicabilidad se considere restringida a los ejemplos expuestos.

¿ES POSIBLE QUE UN PROTOLITO X SE MANIFIESTE COMO UN ESQUISTO Y?

Consideremos por un momento un paquete rocoso que consiste en un skarn de forsterita, calcita y dolomita equilibrado en presencia de CO_2 . Con el fin de establecer su origen, nos preguntamos si el protolito hubiera podido ser una roca compuesta por cuarzo-dolomita en partes iguales. Básicamente nos estamos preguntando si existe una combinación lineal válida de forsterita, calcita y dolomita cuyo resultado sea $50\%SiO_2 + 50\%CaMg(CO_3)_2$. Esto lo podemos plantear gráficamente en primera instancia para proceder a un planteamiento matricial como se muestra en la Figura 18. Dicha figura mues-

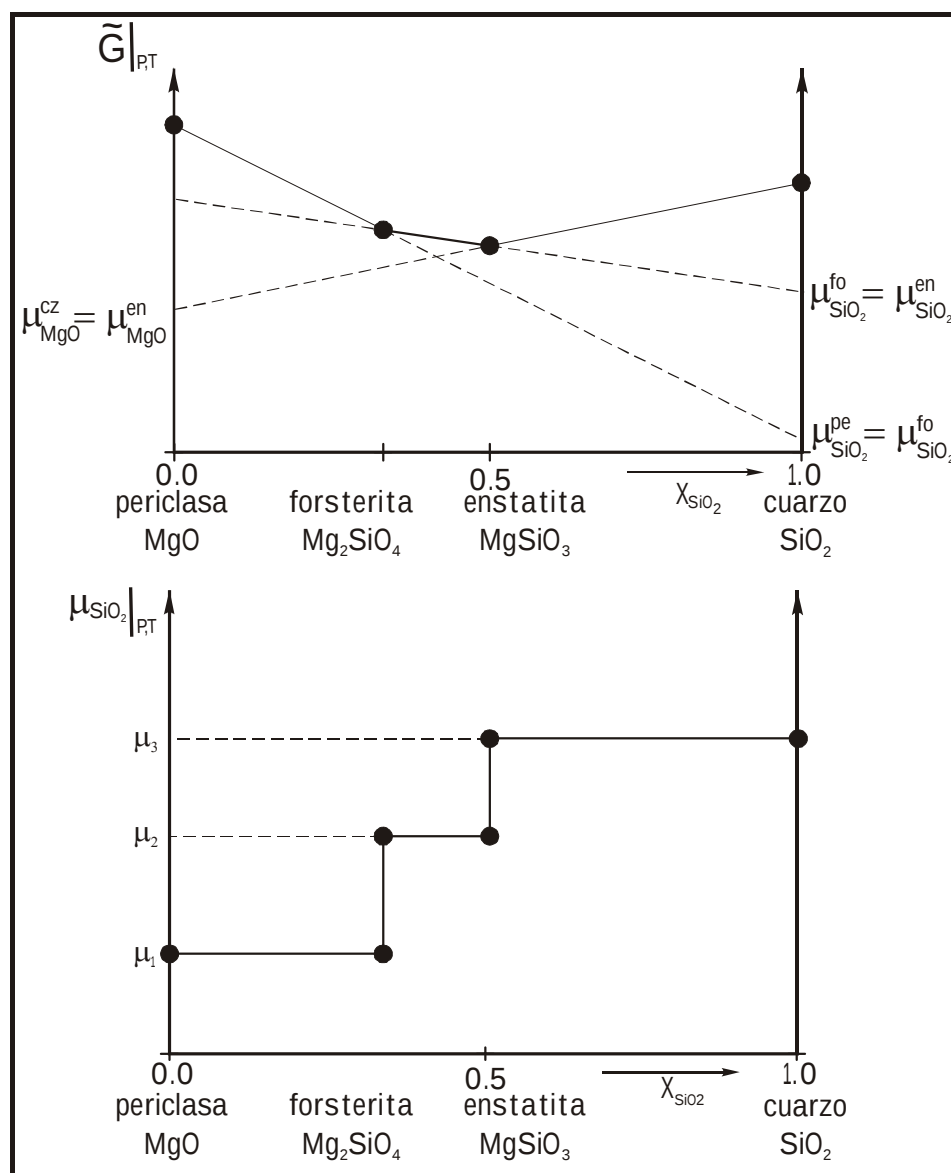


Figura 17. a) Gráfico de energía libre de Gibbs molar en función de los componentes MgO y SiO₂, para un rango de temperatura y presión tales que las paragénesis *pe-fo*, *fo-en*, *en-czo* son estables. b) Potencial químico de SiO₂ en función de los componentes MgO y SiO₂. La regla de las fases dicta que para un sistema de dos componentes y dos fases, el número de grados de libertad es cero. En el gráfico, la presencia de las dos fases *en* y *fo* construye, o amortigua, el potencial químico al valor μ_2 . Cuando el sistema es representado por una fase, por ejemplo *en*, el potencial químico puede variar entre μ_2 y μ_3 .

tra las relaciones geométricas entre CaO, MgO, SiO₂ y CO₂ y los minerales calcita (cc), dolomita (do), magnesita (mn), cuarzo (czo) y forsterita (fo). La Figura también muestra el triángulo de proyección calcita-magnesita-cuarzo, proyectado a través de CO₂, representando las mismas fases, así como el planteamiento matricial para resolver la incógnita.

Desde un punto de vista geométrico, lo que nos preguntamos es si el punto correspondiente a las composiciones de los protolitos representados en el triángulo cc-mn-SiO₂ cae dentro del área del triángulo cc-do-fo'. Planteado desde un punto de vista algebraico, nos preguntamos si podemos expresar los distintos protolitos hipotéticos en términos de los vectores base originales y en términos de los vectores base nuevos, de tal ma-

nera que todos los componentes sean positivos en ambos. Como ilustra la Figura 18c, sólo el protolito compuesto de 10%SiO₂+90%do cumple ambos criterios, indicando que, de los protolitos investigados, es el único viable.

ANÁLISIS DE UN TERRENO METAMÓRFICO EN FUNCIÓN DE COMPOSICIÓN Y GRADO METAMÓRFICO

La Figura 19 muestra un terreno metamórfico hipotético derivado de dos protolitos, cuya distribución litológica describe un pliegue buzante hacia el noreste. Este paquete de rocas ha estado sujeto a condiciones de metamorfismo progresivo cuyo grado aumenta hacia el NNE, de tal manera que los distintos

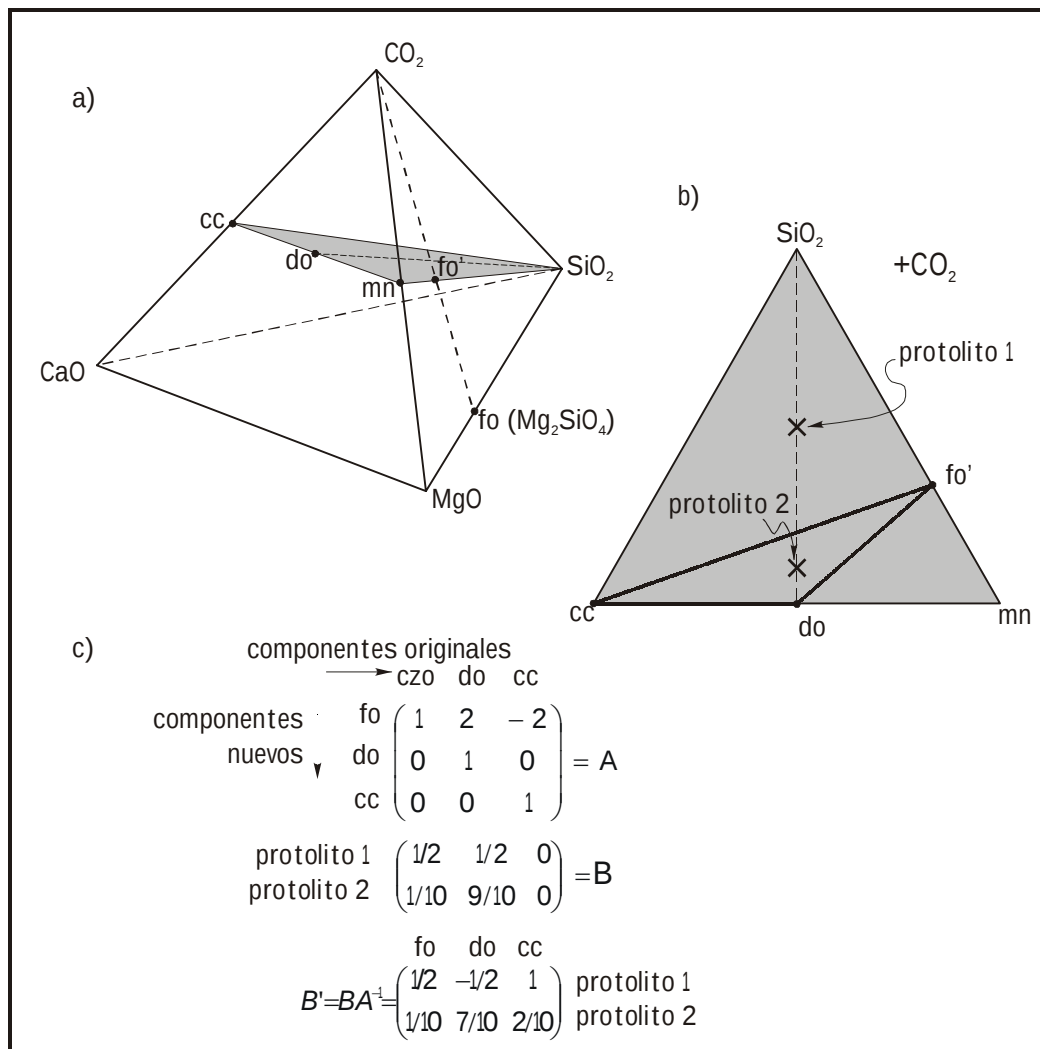


Figura 18. a) Tetraedro que muestra las relaciones entre los óxidos de carbono, silicio, calcio y magnesio así como la posición de los minerales forsterita (fo), calcita (cc), magnesita (mn) y dolomita (do). El triángulo SiO_2 -cc-mn está sombreado, y la proyección de la forsterita a través de CO_2 (fo') se ubica en él. b) El triángulo SiO_2 -cc-mn proyectado a través de CO_2 con la ubicación de distintas fases expresadas en fracciones molares y la composición de los protolitos hipotéticos. La composición del protolito 1 cae fuera del triángulo cc-fo'-do, lo cual significa que la composición química de la roca es imposible de representar con una combinación de esos minerales. c) Desarrollo matricial que nos permite evaluar si alguno de los protolitos es posible. Se procede como si se tratara de un cambio de vectores base, expresando los productos metamórficos como transformación de coordenadas. Nótese que el vector del protolito 1 tiene componentes negativos, mientras aquel del protolito 2 no.

protolitos han modificado su mineralogía, conforme el régimen termobárico estabiliza distintos minerales para expresar sus composiciones químicas globales. La misma figura muestra cómo hay algunas reacciones que afectan sólo una de las dos litologías (cuarzo + feldespato K + sillimanita $\Leftrightarrow$ cuarzo + sillimanita + granito), mientras que hay otras que afectan ambas (muscovita $\Leftrightarrow$ sillimanita + feldespato K). Las líneas de reacción representan las posiciones en el espacio P - T - X a lo largo de las cuales existió un equilibrio termodinámico y se denominan isógradas.

Las isógradas en el mapa representan la intersección de curvas de reacciones metamórficas en el espacio P - T con la topografía. El valor de P dependerá, básicamente, de la profundidad. La temperatura, T , sin embargo, puede ser localmente modificada por la inyección de un cuerpo intrusivo grande, por ejemplo. Esto significa que las isógradas son superficies cuya forma primaria puede ser caprichosa.

Los eventos metamórficos frecuentemente son acompañados por eventos de deformación, aunque la existencia de uno no implica la del otro. Los cambios en las formas geométricas son acomodados por flujo de materia, lo que en el estado sólido a nivel cristalino, se lleva a cabo por procesos de recrystalización dinámica. Esto significa que la deformación de cuerpos geológicos en el régimen metamórfico es acompañada y/o acomodada por reacciones metamórficas. Esto conduce al desarrollo de texturas planares (e.g. foliación) o lineales (e.g. lineación) cuya formación está íntimamente ligada a la (re)crystalización de minerales, así como a la cinemática de la deformación (Tolson, 1996). Claramente, los minerales formados durante los eventos de deformación, registrarán las condiciones de P y T vigentes durante su (re)crystalización. Esto es afortunado porque las zonas de cizalla subsecuentes que afec-

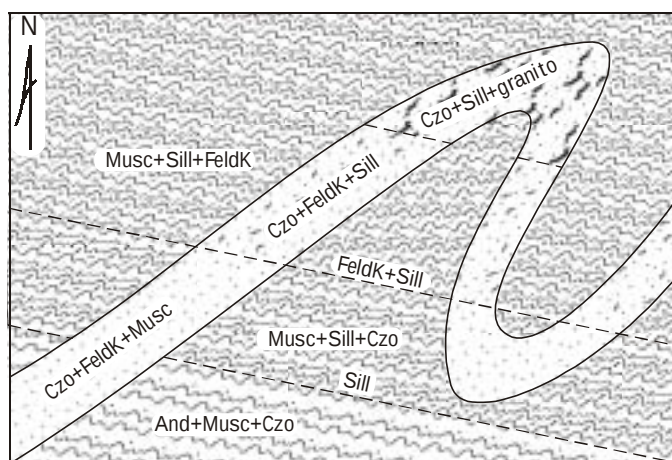


Figura 19. Mapa geológico esquemático que muestra relaciones geométricas entre distintas litologías. Se puede observar la presencia de un pliegue buzante hacia el NE, así como la presencia de contactos entre paquetes rocosos de distintas mineralogías orientados WNW-ESE fuertemente inclinados hacia el SSW. A estos contactos se les denomina isógradas, ya que son líneas que unen puntos de igual grado metamórfico. Los nombres de los minerales de nueva formación se encuentran del lado de alto grado de la isógrada.

ten rocas de mayor grado metamórfico, preservarán en sus paragénesis minerales el registro de las condiciones P - T vigentes durante la deformación.

CONCLUSIONES

El geólogo, por la naturaleza de sus intereses, se caracteriza por ser una persona capaz de integrar, aspectos físicos, químicos, geométricos y temporales de algún paquete de rocas para lograr una interpretación coherente de su génesis. La comprensión del espacio composicional y de sus relaciones con la fisicoquímica y la petrología es una herramienta sumamente poderosa para descifrar la evolución de las rocas cristalinas.

La capacidad de manipulación del espacio composicional con las reglas del álgebra lineal, hace posible la calibración de herramientas tan importantes como los geotermobarómetros y los geocronómetros, lo que permite una mejor cuantificación de los procesos geológicos. La universalidad de las leyes termodinámicas, y la posibilidad de aplicarlas con rigor, nos permite dar el salto de lo meramente descriptivo a lo rigurosamente cuantitativo en las Ciencias Geológicas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Gabriela Solís Pichardo y a Enrique González Torres las correcciones que hicieron a una versión anterior del manuscrito. Los arbitrajes de Luis Delgado Argote y Bodo Weber contribuyeron a mejorar el manuscrito. Gracias también a los varios grupos de alumnos que me han ayudado a entender algunos puntos básicos de lo que aquí presento.

REFERENCIAS

- Best, M. 1982. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Freeman, New York, 630 pp.
- Ehlers, E.G., 1987. *The Interpretation of Geological Phase Diagrams*. Dover, New York, 280 pp.
- Philpotts, A.R., 1990. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 498 pp.
- Spear, F.S., 1993. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. *Mineralogical Society of America Monographs*, Vol. 1, 799 pp.
- Spear, F.S., Rumble III, D and Ferry, J.M., 1982. Linear algebraic manipulation of N -dimensional composition space. In: Ferry, J.M. (Ed.) "Characterization of metamorphism through mineral equilibria", *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, Vol. 10, p. 53-104.
- Thompson, J.B., Jr., 1982a. Composition Space: An algebraic and geometrical approach. In: Ferry, J.M. (Ed.) "Characterization of metamorphism through mineral equilibria", *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, Vol. 10, p. 1-31.
- Thompson, J.B., Jr., 1982b. Reaction Space: An algebraic and geometrical approach. In: Ferry, J.M. (Ed.) "Characterization of metamorphism through mineral equilibria", *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, Vol. 10, p. 33-51.
- Tolson, G., 1996. Un catálogo de indicadores cinemáticos en rocas cizalladas. *GEOS*, v. 16, No. 1, p. 9-14.
- Zoltai, T. and Stout, J., 1986. *Introductory Mineralogy*. Burgess, Minneapolis, 590 pp.

Tabla de nomenclatura matemática

Variable	Significado
c	Número de componentes químicos en un sistema
E	Energía interna
f	Grados de libertad de un sistema
F	Energía de Helmholtz
ϕ	Número de fases en un sistema
$\tilde{G}$	Energía libre de Gibbs molar
H	Entalpía
μ	Potencial químico
n	Número de moles
n_i	Número de moles del componente i
N	Número de átomos
N_i	Número de átomos en el componente i .
p	Presión
q	Calor
q_p	Calor a presión constante
S	Entropía
$\tilde{S}$	Entropía molar
T	Temperatura
$\tilde{V}$	Volumen molar
X_i	Fracción molar del componente i .
X_i^α	Fracción molar del componente i en la fase α .
Y_i^α	Fracción atómica del componente i en la fase α .

CATÁLOGO DE LAS FALLAS REGIONALES ACTIVAS EN EL NORTE DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Manuel Cruz-Castillo
Instituto Mexicano del Petróleo.

RESUMEN

Se describen las características principales de las fallas activas regionales del norte de Baja California y se citan los sismos con magnitud (M , M_s ó M_L) mayor o igual a 6 que podrían estar asociados a dichas fallas. Asimismo, se comenta la microsismicidad en aquellas fallas donde no se han registrado sismos de M , M_s ó $M_L \geq 6$. La mayoría de estas fallas son de tipo lateral derecho, con velocidades de desplazamiento entre 1 y 60 mm/año. Con excepción de la falla Agua Blanca, todas se han movido durante el Cenozoico tardío y están genéticamente relacionadas con el régimen de esfuerzo tectónico actual.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene el objetivo de resumir y poner al día una descripción de las fallas del norte de Baja California utilizando como referencia principal a Suárez *et al.* (1991). Las fallas ilustran la intensa actividad tectónica a la que está sujeto el norte de Baja California (ver figura). En esta amplia región destacan los siguientes rasgos tectónicos: la dorsal fósil asociada con la placa Farallón (Lonsdale, 1991); la Sierra Peninsular, producto de la subducción de la placa Farallón; el complejo volcánico San Quintín, que geoquímicamente tiene la firma típica de un punto caliente (Juárez, 1996); las fallas, fosas y cuencas producto de la apertura del Golfo de California; el escarpe de más 1000 m entre la Provincia Extensional y la Sierra Peninsular llamado Escarpe del Golfo, y el segmento de falla transforme definido por la fallas Cerro Prieto e Imperial.

La península de Baja California forma parte de la placa Pacífico, la cual se desplaza hacia el NW con respecto a la placa Norteamericana. En la parte norte del estado, el deslizamiento de estas dos placas se manifiesta en una zona de cizalla definida por Legg *et al.* (1991) y conocida como la Zona de Cizalla del Sur de California (Southern California Shear Zone). Esta zona es una microplaca flanqueada por fallas dextrales que rota en el sentido opuesto a las manecillas del reloj, y que ocupa área marina y continental. La parte marina del área es conocida con el nombre de Borde Continental Californiano debido a que se considera como una extensión de la Sierra Peninsular ya que sus características sísmicas son similares.

El Norte de Baja California ha sido afectado desde el Plioceno por fallas laterales dextrales con arreglo paralelo orientadas N30°W, N40°W y N70°W. El movimiento general de estas fallas está gobernado por el sistema San Andrés-Golfo de California en donde se han identificado fallas que pueden generar sismos hasta de magnitud $M=7$. Dentro del Borde Continental los sismos son escasos y dispersos (Frez y González, 1991; Frez y Frías, 1998).

La microsismicidad que se reporta es la que ha sido registrada por las redes permanentes en la Baja California y que algunos autores han consignado en trabajos anteriores; se trata de sismos cuyas magnitudes varían entre 2.0 y 3.0 grados.

FALLAS Y SISMICIDAD ASOCIADA

A continuación, se describen las fallas regionales que se infiere que fueron generadas por la actividad tectónica del Plioceno y Cuaternario en el norte de la península.

SISTEMA SAN MIGUEL-VALLECITOS-CALABAZAS

Este sistema de fallas es sísmicamente muy activo. Forma un complejo con escalonamiento derecho entre las fallas Calabazas, Vallecitos y San Miguel. Algunos autores sitúan al sistema San Miguel-Vallecitos como la continuación SE de la falla Rose Canyon-Inglewood-Newport, aunque se desconocen evidencias superficiales claras de su conexión.

FALLA SAN MIGUEL

Es una estructura de desplazamiento lateral derecho y rumbo N60°W que se extiende desde el sur de San Miguel hasta el oriente del Valle San Rafael. Es una falla escalonada que forma pendientes bajas, desplaza el drenaje y abanicos aluviales, genera manantiales y en ella se definen líneas de vegetación. El inicio de su actividad se sitúa en el Mioceno medio y su velocidad actual es de 0.1-3 mm/año. Se le asocian varios temblores importantes, entre ellos dos de 1954 de $M=6$ y 6.3 y tres de 1956 conocidos como de San Miguel. Estos últimos ocurrieron, uno el 9 de febrero y dos el 14 de febrero, fueron de magnitud local (M_L) entre 6.3-6.8 y provocaron un rompimiento a lo largo de 20 km. Esta falla se considera como una de las más activas en la región (Shor y Roberts, 1958; Gastil *et al.*, 1975; Reyes *et al.*, 1975; Frez y González, 1991; Suárez *et al.*, 1991; Suárez, 1994).

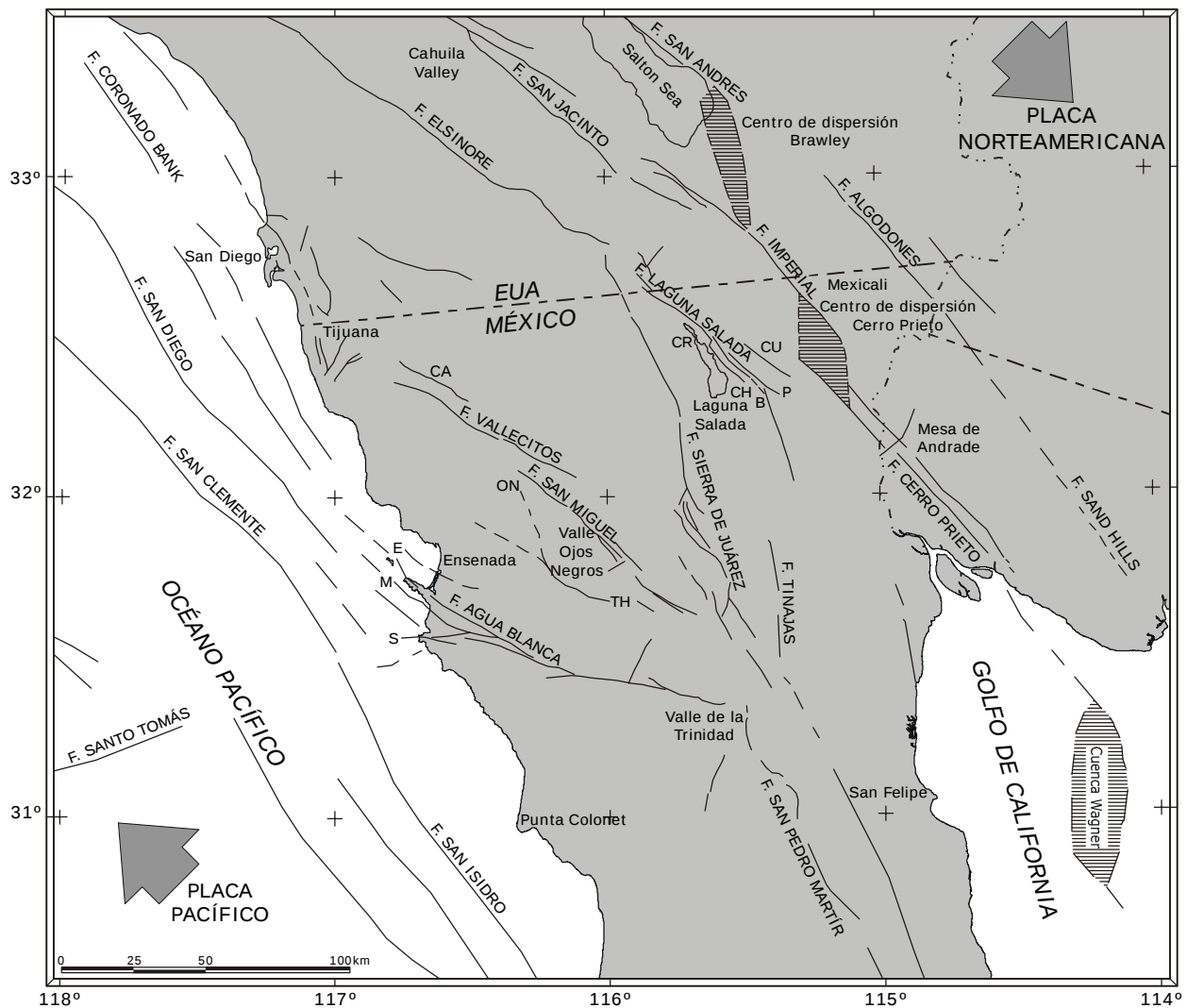


Figura. Fallas regionales del norte de Baja California las cuales se dividieron en dos grupos principales: las peninsulares (localizadas en tierra emergida) y de borde (localizadas en ambiente marino); las fallas que se presentan en línea continua son las que están bien localizadas y en línea discontinua las interpretadas. B=Falla Borrego, CA=Falla Calabazas, CH=Falla Chupamirtos, CP=centro de dispersión Cerro Prieto, CR=Falla Cañón Rojo, CU=Falla Cucupá, CW=Cuenca Wagner, E=Falla El Descanso-Estero, M=Falla Maximinos, ON=Falla Ojos Negros, P=Falla Pescaderos, S=Falla Bahía Soledad, SS=Salton Sea y TH=Falla Tres Hermanas.

FALLA CALABAZAS

La localización de esta falla está pobremente definida. Se trata de una falla dextral, que tiene expresiones geomorfológicas tales como escarpes, escalones y crecimiento de depósitos aluviales. Es visible desde el Plutón Pinal hasta el Valle de las Palmas.

FALLA VALLECITOS

Esta estructura es la continuación NW de la falla San Miguel. Es una falla dextral que geomorfológicamente forma escarpes, y se observa al occidente del Valle de las Palmas. A esta falla no se le han asociado sismos de magnitud cercana a 6 ni microsismicidad. Esta falla posiblemente pasa debajo de la ciudad de Tijuana y no se descarta la posibilidad de que el temblor de Guadalupe de $M=5.7$ de 1949 esté asociado a ella.

FALLA TRES HERMANAS

Esta falla dextral está muy cerca del Valle San Miguel, por lo que se le considera parte del sistema de fallas San Miguel-Vallecitos (Suárez *et al.*, 1991); sin embargo, su asociación no es muy clara. Es paralela al sistema San Miguel-Vallecitos, pero no ha sido estudiada en detalle y su localización se debe a la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, así como al alineamiento de sismos, escarpes y manantiales de aguas termales. Su velocidad de desplazamiento es desconocida. Entre la zona de las fallas Tres Hermanas y San Miguel, se encuentra la falla Ojos Negros, en donde se registra una gran actividad microsísmica.

SISTEMA EL DESCANSO-ESTERO

Se encuentra localizada entre Punta Salsipuedes y la ciudad de Ensenada. La falla El Descanso-Estero se ha identificado a partir de perfiles batimétricos y sísmicos de reflexión y se interpreta que continúa a lo largo del tramo SW del escarpe meridional de la ciudad de Ensenada. Su extensión hacia la Bahía de Ensenada no es clara y consiste de discontinuidades subparalelas en tramos cortos, menores a 10 km. Se infiere que es de tipo lateral derecho. Se le ha asociado un enjambre sísmico de 50 eventos que ocurrió en 1981 (Catálogo de la SCEC; Legg *et al.*, 1991; Frez y Frías, 1998).

SISTEMA CORONADO BANK-AGUA BLANCA

La zona de falla Coronado Bank-Agua Blanca es la más compleja de las fallas del Borde Continental, ya que presenta numerosas discontinuidades subparalelas, saltos derechos e izquierdos con arreglo en escalón y anastomosados bien definidos por el relieve. La falla Coronado Bank se une con la falla Agua Blanca en la bahía de Ensenada. Ambas fallas tienen una orientación N30°W en la zona marina y de N70°W dentro de la península. Este cambio en la orientación de las fallas es la diferencia principal entre las estructuras del Borde Continental y las Peninsulares.

FALLA AGUA BLANCA

Los primeros estudios de la falla Agua Blanca los realizaron Allen *et al.* (1960). Esta falla se extiende desde El Paso de San Matías hasta la Bahía de Todos Santos, con un rumbo de N72°W; tiene como mínimo 22 km de desplazamiento lateral y es la falla activa más antigua del norte de Baja California; existe desde el Mesozoico tardío. En el Valle de Santo Tomás se divide en dos brazos que limitan el sur y el norte de la Península de Punta Banda; el brazo sur es conocido como falla Santo Tomás y se ramifica en la falla conocida como Soledad y en la falla Maximinos. Los rasgos geomorfológicos que genera la falla Agua Blanca son muy claros, ya que forma sierras, corta y desplaza abanicos aluviales, forma cañadas, cañones, valles en escalón, cuencas de forma triangular y en la Península de Punta Banda se pueden apreciar sus facetas triangulares. En el Valle de Santo Tomás la falla Agua Blanca deja de presentar movimientos laterales como principales, para cambiar a un movimiento oblicuo. Rockwell *et al.* (1987) le estiman un periodo de recurrencia de 175 a 200 años para sismos de magnitud mayor de 6. En un periodo de 13 años no se han registrado más de 10 temblores de $M_L > 3$. Además, se sabe que la falla se ha estado desplazando con una velocidad promedio de 4 mm/año sin generar sismos grandes, por lo que se considera de baja sismicidad (Allen *et al.*, 1960; Armijo y Suárez, 1981; Ortega, 1988; Rockwell *et al.*, 1989; Frez y González, 1991; Suárez *et al.*, 1991; Suárez, 1993).

FALLA MAXIMINOS

Esta falla lateral derecha, con componente normal, se interpreta como subsidiaria de la falla Agua Blanca debido a su paralelismo y cercanía. Se localiza al sur de la península Punta Banda.

SISTEMA DEPRESIÓN DE SAN DIEGO-BAHÍA SOLEDAD

El sistema formado por la depresión de San Diego y la zona de falla Bahía Soledad tiene una longitud aproximada de 50 km y está formado por fallas continuas que cortan sedimentos cuaternarios cercanos a la costa (Legg *et al.*, 1991).

SISTEMA SAN CLEMENTE-SAN ISIDRO

La zona de fallas San Clemente-San Isidro tiene más de 300 km de largo. Se encuentra localizada en la parte poniente del interior del Borde Continental y abarca la zona de cizalla delineada por las fallas San Clemente y San Isidro y por fallas laterales subparalelas de rumbo N40°W. Presenta evidencias morfológicas que se pueden asociar a fallamiento lateral derecho. Ha sido identificada por Legg *et al.* (1991) usando perfiles de sísmica de reflexión, reflectores acústicos y mecanismos focales. Su porción meridional se ha interpretado como transtensiva. Debido a que esta estructura corta sedimentos jóvenes, se infiere que su movimiento se ha concentrado en el Cuaternario tardío y su deformación en cizalla-Y es un indicador de un desplazamiento en estado avanzado (Wong *et al.*, 1987; Legg *et al.*, 1991; Legg, 1991).

La falla San Clemente es lateral derecha y a ella se asocian vetas hidrotermales, cañones y abanicos submarinos. Se desconoce su razón de desplazamiento (Legg, 1991).

La falla San Isidro también es de desplazamiento lateral derecho y ha sido delimitada por escarpes hasta de 350 m de altura. Se desconoce su razón de desplazamiento. Ha presentado enjambres de temblores con magnitudes cercanas a 5 en un área localizada a unos pocos kilómetros al NW del poblado de San Quintín (Rebollar *et al.*, 1982).

SISTEMA IMPERIAL-CERRO PRIETO

FALLA IMPERIAL

Esta falla delimita el lado oriental del centro de dispersión Cerro Prieto y forma parte de un límite entre placas. Es la principal conexión entre el sistema San Andrés y las estructuras del Golfo de California. Sin tener una buena expresión geomorfológica, se extiende a lo largo de 75 km, desde 3 km al sur de la ciudad de Brawley, California, hasta el centro de dispersión Cerro Prieto con una orientación de N42°W. Su velocidad de desplazamiento se ha estimado en 47 mm/año. A esta falla se le asocian los temblores de El Centro, de 1940, de $M_L = 7.1$ y el del Valle Imperial, de 1979, de $M_L = 6.6$. Un dato

sobresaliente es que en esta falla la microsismicidad es escasa, al igual que en la falla Cerro Prieto, que se describe abajo (Frez y González, 1991; Frez y Frías 1998; Suárez *et al.*, 1991; Suárez, 1999).

FALLA CERRO PRIETO

Esta falla es de tipo dextral; se extiende a lo largo de 80 km desde el centro de dispersión Cerro Prieto hasta la Cuenca de Wagner. El trazo de la falla es visible únicamente en su sector sur; la parte norte ha sido determinada por mecanismos focales y métodos geofísicos. Es la estructura que marca la frontera entre las placas Norteamérica y Pacífico, en la región del Valle de Mexicali; su desplazamiento promedio es mayor a 50 mm/año. Se le asocian los temblores de 1852, 1875 y 1891 con una magnitud $M=6-7$, el de 1934 de $M=7.1$, el de El Golfo de 1966 ($M_s=6.3$) y el temblor de Victoria de 1980 de $M_L=6.1$ (Lesage y Frez, 1990; Frez y González, 1991; Suárez, 1999).

SISTEMA ELSINORE-LAGUNA SALADA

Esta es una falla activa dextral oblicua que probablemente rompió el 23 de febrero de 1892 provocando un sismo de $M=7-7.5$; también se le asocia el temblor de 1934 de magnitud $M_L=6.5$ (Shor y Roberts, 1958; Mueller y Rockwell, 1991; Frez y González, 1991). La falla Elsinore es la continuación, en la parte estadounidense, de la falla Laguna Salada.

SISTEMA LAGUNA SALADA

Los primeros estudios de esta falla los realizó Lindgren en 1888. En realidad se trata de dos fallas juntas: una compleja en su parte sur y otra simple en su parte norte. En el SE esta compuesta por la falla Cañón Rojo y Chupamirtos, al oriente por las fallas Cucapá, Pescaderos y Borrego. En su parte NW existe una única falla, que es la falla Laguna Salada. Este sistema de fallas se encuentra dentro de la provincia *Basin and Range* y es el límite entre la Laguna Salada y la Sierra Cucapá. La Laguna Salada es el resultado de la subsidencia provocada por la falla durante el Plioceno y Holoceno en la margen occidental de la Sierra Cucapá. El desplazamiento lateral a lo largo de la zona de falla no está muy bien definido, pero en promedio se desplaza menos de 1 mm/año; en la actualidad, la parte NW de la falla Laguna Salada tiene una velocidad de desplazamiento vertical de 1 mm/año y de 0.7 mm/año en sentido horizontal. Durante el Holoceno el movimiento horizontal en la parte NW fue de 18 m y el vertical de 2 m; en su porción SE la falla ha sido inactiva, mientras que en la parte SW se ha desplazado diversos metros (Muller y Rockwell, 1991). A esta falla se le asocia un temblor de $M=6.7$ en 1892 y otro de $M=6.5$ en 1934.

FALLA CAÑÓN ROJO

Se trata de una falla de tipo normal de rumbo $N30^{\circ}-35^{\circ}E$ con echado de 55 a 60 grados al NW; forma escarpes y abanicos aluviales. Su razón de movimiento es menor a 1 mm/año, y su conexión con la falla Laguna Salada está muy bien definida. El sismo de 1892, en la sección anterior, pudo haber ocurrido en esta falla.

SISTEMA SIERRA JUÁREZ – SIERRA SAN PEDRO MÁRTIR

Axen y Romero (1994) han estudiado la parte norte del Escarpe Principal del Golfo desde el punto de vista petrológico y estructural y consideran que esta parte del escarpe es el producto de una falla despegue antigua cuyas raíces pueden encontrarse bajo la Sierra San Pedro Mártir, por lo que posiblemente se trata de una falla reactivada. En un catálogo de sismicidad para el norte de Baja California, Frez y Frías (1998) reportan que la falla Sierra Juárez presenta una microsismicidad relativamente alta en su segmento central, al sur de la latitud $32^{\circ}N$, mientras que la falla Sierra San Pedro Mártir parece tener microsismicidad asociada pero sólo en su parte norte.

DISCUSIÓN

La mayoría de las fallas descritas son de tipo lateral derecho y presentan velocidades de desplazamiento desde 1 mm hasta 60 mm por año. Aunque los desplazamientos de las fallas del Borde Continental son difíciles de estimar, se puede asegurar que efectivamente han ocurrido, ya que puede apreciarse la geomorfología característica y se han registrado movimientos sísmicos. La dificultad para estimar el desplazamiento de las fallas del Borde Continental se debe a que son marinas. Todas estas estructuras se ajustan y refuerzan el modelo de una cizalla derecha en el Norte de Baja California.

La falla Agua Blanca representa un peligro sísmico importante en la zona, ya que tiene posibilidades de generar un temblor de $M>6$ cada 175 a 200 años. No se le asocia sismicidad importante, y ha estado en silencio sísmico por lo menos durante los 70 años en que se ha monitoreado la sismicidad en Baja California.

El área con mayor actividad microsísmica se asocia a la zona entre la falla San Miguel y la falla Tres Hermanas, definiendo una zona sismogénica potencial, por lo que la falla Ojos Negros cobra importancia como generadora de microsismicidad.

Es muy probable que la falla El Descanso-Estero vuelva a presentar actividad sísmica de tipo enjambre, como la que ha ocurrido en el pasado cercano.

El sistema Imperial-Cerro Prieto y la falla Laguna Salada son las únicas fallas que han presentado sismos con $M>7$. Por su carácter somero se vuelven fallas con sismicidad muy peligrosa para la ciudad de Mexicali, que se localiza entre ellas. Asimismo, Tijuana se encuentra sobre la posible continuación de la falla San Miguel-Vallecitos. Aunque estas fallas son importantes en el contexto tectónico del área, es importante resaltar que aun no han sido cartografiadas ni monitoreadas sísmicamente con detalle. Por ello estas estructuras necesitan urgentemente ser analizadas por el peligro que significan.

Las fallas Cerro Prieto e Imperial tienen una expresión geomorfológica pobre a pesar de que en ellas se han reportado los sismos de mayor magnitud. En contraste, la falla Agua Blanca, que está más alejada del límite entre placas, se caracteriza por presentar una marcada morfología de facetas triangulares y por presentar microsismicidad. La marcada morfología puede obedecer a que la falla Agua Blanca tiene un origen más antiguo que el del Sistema Imperial-Cerro Prieto.

CONCLUSIONES

La deformación estructural del norte de Baja California corresponde, en su mayoría, a un sistema lateral derecho.

El norte de Baja California es una zona muy sísmica y la alta densidad de población la convierten en una área de alto riesgo geológico. El riesgo es mayor hacia el oriente, en el Valle de Mexicali, ya que las fallas más cercanas al límite de placas se caracterizan por su mayor magnitud sísmica. Por el peligro que representan, las fallas Agua Blanca, por su largo silencio sísmico, la falla Ojos Negros, por su intensa actividad microsísmica, y el sistema de fallas Cerro Prieto e Imperial, por su cercanía con zonas económicas, son las estructuras sísmicas más importantes en el norte de Baja California.

REFERENCIAS

- Allen, C.R., Silver, L.T. and Stehli, F.G., 1960. Agua Blanca fault - a major transverse structure of northern Baja California, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, v. 71, p. 457-482.
- Axen, G. y Romero, H., 1994. Cambios de dirección en el buzamiento de los sistemas de fallamiento basal de la parte Norte del Escarpe Principal del Golfo de California. *GEOS*, v. 14, No. 5, p. 74.
- Armijo, R. and Suárez, F., 1981. Neotectonics of northern Baja California: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 13-2, p. 42.
- Catálogo de la SCEC: <http://www.scecdc.scec.org/ftp/catalogs/SCSN/>
- Frez, J. and González, J.J., 1991. Crustal structure and seismotectonics of northern Baja California. in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, p. 261-283.
- Frez, J. y Frías V.M., 1998. Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas californias. *GEOS*, v. 18, No. 2, p. 112-130.
- Gastil, R.G., Phillips, R. and Allison, E., 1975. Reconnaissance geology of the state of Baja California, *Geological Society of America, Memoir 140*, 170 pp.
- Juárez Aguilar, L., 1996. Estudio geoquímico, geocronológico y geológico del Campo Volcánico de San Quintín, Baja California, México, Tesis de Maestría en Ciencias, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, 147 pp.
- Legg, M.R., 1991. Sea beam evidence of recent tectonics activity in the California Continental Borderland. in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, p. 179-196.
- Legg, M.R., Wong, V. and Suárez, F., 1991. Geologic structure and tectonics of the inner Continental Borderland of northern Baja California, in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, p. 145-177.
- Lesage, Ph. y Frez, J., 1990. Estudio comparativo de las fuentes de los temblores de Victoria, junio 9, 1980, del Valle Imperial, octubre 15, 1979 y de El Golfo, agosto 7, 1966. *Geofísica Internacional*, v. 29, No. 3, p. 149-169.
- Lonsdale, P., 1991. Structural patterns of the pacific floor offshore of peninsular California, in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, p. 87-125.
- Mueller, K. and Rockwell, T., 1991. Late quaternary structural evolution of the western margin of the sierra Cucapa, Northern Baja California. in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, p. 249-260.
- Ortega, A., 1988. Neotectónica de un sector de la falla de Agua Blanca, Valle de Agua Blanca (Rancho La Cocina-Rancho Agua Blanca) Baja California, México: Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, 146 pp.
- Rebollar, C., Reyes, A. and Reichle, M., 1982. Estudio del enjambre de San Quintín, Baja California, México, ocurrido durante 1975. *Geofísica Internacional*, v. 21-4, p. 331-358.
- Reyes, A., Brune, J. and Barker, T., 1975. A microearthquake survey of the fault zone, Baja California, Mexico. *Geophysical Research Letters*, v. 2-2, p. 56-59.
- Rockwell, K.T., Hatch, E.M. and Shug, L.D., 1987. Late Quaternary rates Agua Blanca and borderland faults: Final Technical Report USGS, contract No. 14-08-0001-22012, 122 pp.
- Rockwell, K.T., Muhs, D., Kennedy, G., Hatch, M., Wilson, S. and Klinger, R., 1989. Uranium-series ages, faunal correlations and tectonic deformation of marine terraces within the Agua Blanca fault zone at Punta Banda, northern Baja California, México. in: Patrick Abbott, editor, *Geologic Studies in Baja California, The Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Los Angeles, California, U.S.A., p. 1-16.
- Shor, Jr. G.G. and Roberts, E., 1958. San Miguel, Baja California Norte earthquakes of February 1956: *Seismological Society of America Bulletin*, v. 48, p. 101-116.
- Suárez, F., Armijo, R., Morgan, G., Bodin, P. and Gastil, G., 1991. Framework of recent and active faulting in northern Baja California. in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, p. 285-300.

- Suárez, F., 1993. Marco estructural de la Falla Agua Blanca, Baja California, México. *En*: Delgado-Argote, L.A. y Martín-Barajas, A., editores, Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 1, p. 24-39.
- Suárez, F., 1995. Paleosismicidad y Evolución de la Falla San Miguel, Resumen, Compendio de actividades 1994, CICESE.
- Suárez, F., 1999. Sismos de $M > 6$ en el Valle de Mexicali-Imperial, generación y distribución de estructuras asociadas a licuefacción. *GEOS*, v. 19, No. 1, p. 15-23.
- Wong, V, Legg, M. y Suárez, F., 1987. Sismicidad y tectónica de la margen continental del sur de California (USA) y Baja California Norte (México). *Geofísica Internacional*, v. 26-3, p. 459-478.

ESTADO ACTUAL DE RESNOM Y SISMICIDAD DE LA REGIÓN NOROESTE DE MÉXICO EN EL PERIODO SEPTIEMBRE- DICIEMBRE DE 2001

GRUPO RESNOM

Departamento de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

Apartado Postal #2732, Ensenada, B.C., México.

E-mail: resnom@cicese.mx

INTRODUCCIÓN

En la región norte de Baja California y en el interior del Golfo de California existe un importante sistema de fallas geológicas que constituye un segmento de la frontera entre las placas tectónicas del Pacífico y Norte América. La actividad sísmica generada por este sistema de fallas incluye temblores que pueden alcanzar magnitudes ligeramente por arriba de 7.0. El régimen de esfuerzos tectónicos asociado con estas fallas ejerce influencia sobre regiones aledañas, dando lugar a la generación de fallas subsidiarias que ocasionalmente producen temblores que causan alarma y daños en los centros de población.

RESNOM es una red sísmica que ha sido mantenida en funcionamiento durante los últimos 21 años por personal del Departamento de Sismología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C. (CICESE). La red se diseñó para registrar la actividad sísmica de la región norte de Baja California y la porción occidental del estado de Sonora, México, entre los 30° y 33° de latitud norte y 112° y 117° de longitud oeste, aproximadamente. Aún cuando su diseño e instalación se inició en 1977, el registro efectivo de temblores comenzó con el temblor de Victoria de junio 9 de 1980 (Mag 6.1). Actualmente RESNOM consta de 13 estaciones sismológicas de periodo corto (1 s), 3 de banda ancha (0.01 a 50 Hz) y una de periodo largo (15 s). La Figura 1 muestra las principales fallas de la región y las estaciones de RESNOM (triángulos azules).

En este reporte se hace una breve descripción del estado actual de RESNOM y se presenta la sismicidad de la región en el periodo que va de septiembre a diciembre de 2001.

ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA RESNOM

ESTACIONES DE PERIODO CORTO

Las 13 estaciones de periodo corto están equipadas con instrumentación electrónica de 12 bits, diseñada y construida en el CICESE. Los sistemas de registro están acoplados a tres sismómetros Teledyne Geotech (S-500) o Mark L4C para registrar la señal sísmica en direcciones mutuamente ortogonales. Las señales detectadas se digitalizan *in situ* a una razón de 40mps en cada componente y se transmiten en tiempo real, vía radios VHF y UHF, al centro de procesamiento en el CICESE. A su arribo al CICESE, las señales se decodifican y almacenan en una computadora, en la que se lleva a cabo el proceso de detección de eventos (en tiempo real) y el procesamiento preliminar. La detección de eventos se hace mediante un algoritmo de detección que calcula la razón de las amplitudes promedio de señales de ventanas cortas y largas (STA/LTA). Al mismo tiempo, las señales de algunas estaciones se reconvierten a formato analógico para graficarlas en papel con el propósito de efectuar una inspección visual.

ESTACIONES DE BANDA ANCHA

Estas estaciones se instalaron a finales del año 2001, como etapa inicial para la modernización de RESNOM. Funcionan con grabadoras digitales REFTEK (DAS 72A), sensores tri-axiales Geotech (Modelo KS-2000) y un sistema GPS para el control de tiempo (UTC). Las grabadoras almacenan las señales (en discos SCSI de 4 Gbytes) con una resolución de 24 bits y a razón de 100 mps. La información digital se transmite al CICESE mediante radio enlaces e Internet. Para propósito de pruebas, estas estaciones fueron instaladas en los mismos sitios de CPX, SPX y CBX. En el primer semestre del año 2002 las estaciones de periodo corto serán removidas e instaladas en otros sitios para mejorar la cobertura de la red.

ESTACIÓN DE PERIODO LARGO

La única estación de periodo largo incorporada al sistema RESNOM está ubicada en el sótano del edificio de Ciencias de la Tierra. Esta estación consiste en tres sismómetros Teledyne Geotech (Modelos 7505 y 8700) conectados a un sistema de registro digital diseñado y construido en el laboratorio de electrónica de RESNOM. Este sistema digitaliza las señales a razón

PERSONAL DEL GRUPO RESNOM

Investigadores Responsables: Luis Munguía Orozco y Antonio Vidal Villegas

Técnicos en electrónica: Luis Orozco León y Oscar Gálvez Valdez

Técnicos lectoristas: Ignacio Méndez Figueroa y Francisco Farfán Sánchez

Programador: Sergio Arregui Ojeda



Figura 1. Principales fallas geológicas de la región norte de Baja California y estaciones sismológicas (triángulos azules) de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM).

de 1 mps por canal, utilizando un convertidor A/D de 12 bits. La información resultante se serializa y convierte a formato RS-232 para suministrarla a una computadora PC (Linux), en donde se decodifica, visualiza y se incluyen marcas de tiempo.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN

A partir de la instalación de las tres estaciones de banda ancha, se empezó a utilizar también la programación SEISAN (Havskov y Ottemöller, 2001) en el procesamiento preliminar de las señales recibidas tanto de estas estaciones como de las estaciones de periodo corto. Para un evento dado, las señales de las estaciones de periodo corto se cambian primeramente al for-

mato SEISAN. Los archivos resultantes se agrupan con los archivos de las estaciones de banda ancha generándose un solo archivo con toda la información del evento. Dicho archivo se registra a continuación en la base de datos de SEISAN, para con base en ésta efectuar el procesamiento rutinario que da como resultado final un boletín con la información sísmica de la región cubierta por la red.

Las lecturas de los tiempos de arribo de las ondas P y S se utilizan con el programa HYPO71 (Lee y Lahr, 1975), en combinación con modelos de corteza propuestos por Reyes (1979) para el Valle de Mexicali y Nava y Brune (1982) para el Macizo Rocoso en Baja California. Para sismos que ocurren en la ve-

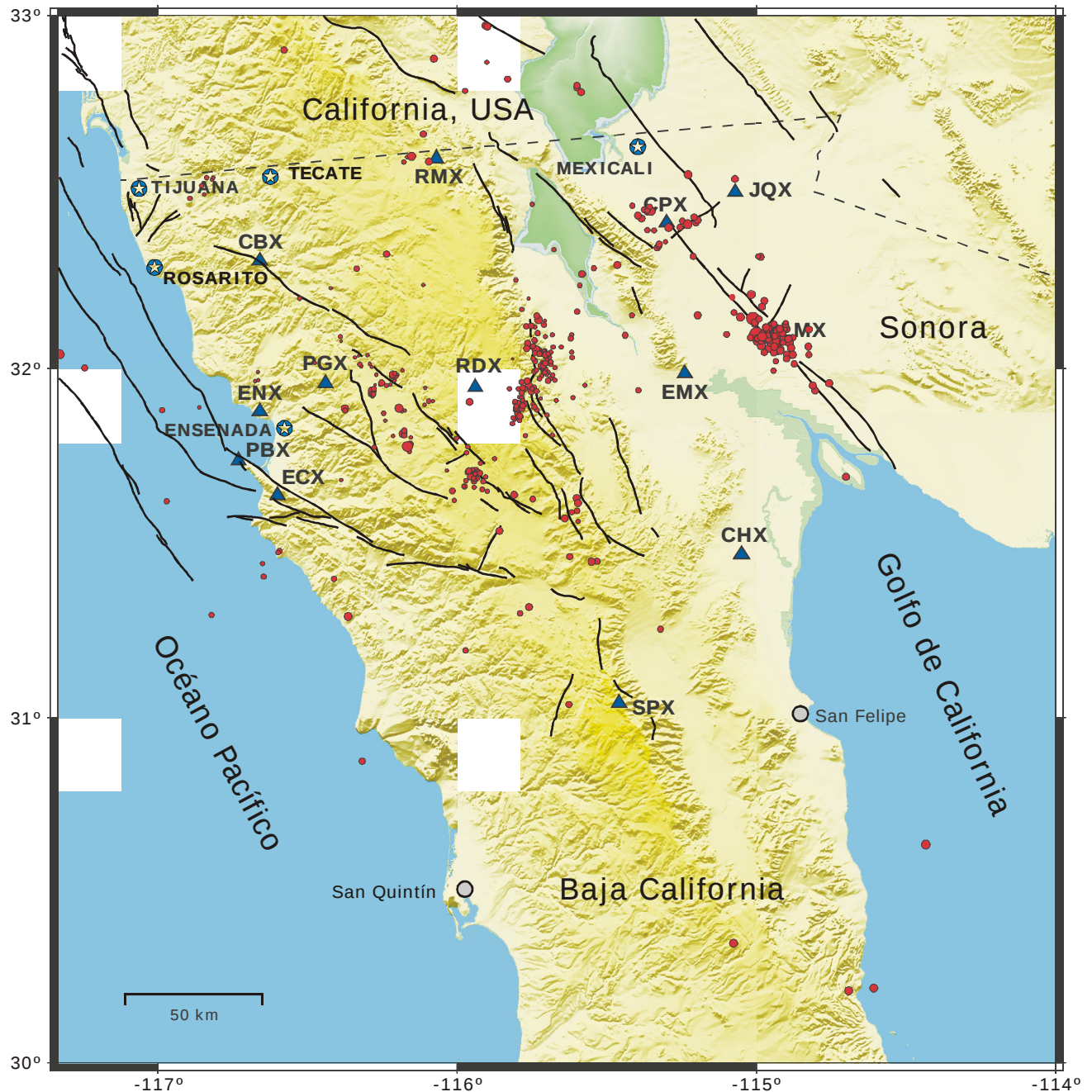


Figura 2. Epicentros de temblores (círculos rojos) de la región registrados en el periodo septiembre-diciembre de 2001. Las magnitudes de los temblores van de 1.0 a 5.4.

ciudad de la frontera con el estado de California, se utilizan frecuentemente los tiempos de arribo proporcionados por la Red sísmica del Sur de California (SCSN), U. S. Geological Survey (USGS), y por el Centro de Datos del Sur de California (SCEDC). La magnitud M_D reportada se estima con base en la duración medida en registros analógicos y las relaciones empíricas propuestas por González y García (1986).

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Como resultado del procesamiento preliminar de la información registrada, se obtiene la catalogación de las series de tiempo y boletines mensuales con los epicentros y magnitudes

de los eventos registrados. Copias de estos boletines mensuales se envían a algunas agencias del gobierno, a la prensa y a diferentes usuarios de la información de la red. Para sismos de magnitud mayor a 3.0, los datos del epicentro y la magnitud están disponibles (tan rápido como es posible) en la página electrónica de RESNOM: <http://sismologia.cicese.mx/resnom/index.html>. En el caso de temblores de magnitud mayor a 4.0, las lecturas de los tiempos de arribo de las fases sísmicas P y S se reportan al National Earthquake Information Center (NEIC) de Estados Unidos, para su integración a bases de datos globales. Tanto los boletines de información sísmica como los datos digitales están disponibles para quien los solicite en forma escrita.

SISMICIDAD DEL PERIODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE DE 2001

Durante este cuatrimestre se localizaron más de 400 temblores en la región con magnitudes de duración, M_D , que van desde 1.0 hasta 5.4. Por razones de espacio, en la Tabla I solamente se incluyen las fechas, las horas de ocurrencia y las coordenadas geográficas de temblores de magnitud mayor que 2.0. Los correspondientes epicentros se muestran con círculos rojos en la Figura 2. Los epicentros de los temblores localizados definen varias áreas de actividad sísmica en la región. Como lo muestra la Figura 2, y en orden de importancia, la actividad sísmica se desarrolló principalmente en la zona de La Mesa de Andrade, en la Sierra Juárez, en la vecindad del campo geotérmico Cerro Prieto, y a lo largo de la Falla de San Miguel.

La actividad sísmica más importante de este cuatrimestre es atribuida a la falla Cerro Prieto. Esta actividad se inició el día 8 de diciembre (23: 36 horas UTC) con un temblor de magnitud M_D 5.4 ($M_w = 5.7$). Sus efectos fueron sentidos en todo el Valle de Mexicali y en ciudades alejadas como Ensenada, Tijuana y San Diego, ésta última en el vecino estado de California, U.S.A. El evento principal se caracterizó por tener un mecanismo de falla predominantemente normal y por haber sido seguido de un gran número de réplicas. Las réplicas de mayor magnitud (M_D 3.7 y 4.7) fueron registradas en las siguientes tres horas posteriores a la ocurrencia del evento principal (González *et al.*, 2002).

REFERENCIAS

- González-G., J.J. y R. García-A., 1986. Escala de Magnitud-Coda para Estaciones Sismográficas en el Norte de Baja California. Resumen extenso, *Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana*, 399-406.
- González-García, J.J., Munguía L., Vidal A., Suárez F., Glowacka E., Arregui S., Diaz de Cosío G., Farfán F., Galvez O., Luna M., Mendez I., Navarro M., Orozco L., and Valdez T., 2002. Mesa de Andrade II: December 8, 2001 Cerro Prieto fault (Mw 5.7) earthquake, Baja California/Sonora, México.
- Havskov, J. and L. Ottemöller, 2001. SEISAN: the earthquake analysis software. *University of Bergen*, Norway, 255 pp.
- Lee, W.H. and J.C. Lahr, 1975. HYPO71 (revised): A Computer Program for Determining Hypocenter, Magnitude, and First Motion Pattern of Local Earthquakes. *U.S. Geological Survey, Open-file report*, 75-311
- Nava F.A. and J.N. Brune, 1982. An earthquake-explosion reversed refraction line in the Peninsular Ranges of southern California and Baja California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72, 1195-1206.
- Reyes Alfonso, 1979. Estudio de Microsismicidad de Sistema de Fallas Transformadas Imperial-Cerro Prieto. *Informe técnico GEO79-01, CICESE*, 90 p.

Tabla I. Sismicidad del periodo septiembre-diciembre de 2001. Se incluyen solamente los epicentros de temblores con magnitudes mayores a 2.0.

Fecha	T. de Origen	Latitud	Longitud	Prof.	Mag.
Septiembre de 2001					
010903	11:22	06.48	31°17.85'	116°22.00'	15.75 3.1
010904	22:02	45.74	32°27.11'	115°22.02'	14.41 2.2
010905	01:39	27.58	32°27.38'	115°21.07'	15.75 2.3
010906	10:50	08.30	32°26.02'	115°23.15'	15.91 2.6
010906	14:18	08.23	32°18.08'	115°28.04'	15.56 2.5
010907	04:58	03.06	31°18.06'	116°49.32'	17.56 2.1
010907	06:20	25.45	30°52.87'	116°19.15'	15.97 2.3
010907	14:40	59.97	31°34.69'	115°38.52'	13.64 2.7
010907	15:41	19.30	32°09.91'	115°04.65'	10.81 2.4
010908	00:07	51.29	31°53.56'	116°22.67'	17.53 2.8
010908	06:13	12.14	31°27.31'	115°32.11'	15.93 2.3
010908	23:56	47.31	31°27.28'	115°33.15'	15.79 2.6
010909	00:06	17.37	32°27.48'	115°22.60'	10.12 2.4
010909	06:30	30.10	30°13.42'	114°36.61'	7.00* 3.1
010910	09:14	47.63	32°19.53'	115°12.76'	10.60 2.2
010911	00:58	54.47	31°35.72'	115°37.15'	15.70 2.1
010912	06:14	19.96	31°37.62'	116°58.33'	10.07 2.0
010912	11:12	41.57	32°26.48'	115°23.89'	4.72 2.6
010913	05:01	44.52	30°12.95'	114°41.62'	8.00 3.0
010913	11:16	00.75	32°03.27'	115°43.52'	2.00* 2.0
010920	15:39	55.21	31°57.39'	115°45.78'	9.48 2.5
010920	16:07	30.94	31°56.40'	115°45.29'	9.55 2.2
010920	23:43	23.66	32°55.53'	117°46.22'	7.00 3.2
010921	01:09	40.99	32°55.75'	117°45.45'	7.00 2.9
010921	13:28	11.07	31°42.61'	115°57.95'	15.93 2.1
010926	06:01	16.27	32°25.55'	115°14.99'	15.43 2.4
010926	10:32	09.74	32°09.38'	115°11.87'	13.00* 2.6
010926	13:55	36.75	31°56.56'	114°48.38'	8.00* 2.8
010927	02:41	58.44	31°29.01'	116°35.79'	6.33 2.0
010927	12:53	30.82	32°03.32'	115°42.63'	10.76 2.1
010927	19:22	56.79	32°16.51'	115°35.09'	4.66 2.6
010928	22:11	57.02	32°03.50'	115°43.81'	4.82 2.1
010929	12:38	11.04	32°02.25'	115°41.74'	4.86 2.1
010930	00:35	16.16	31°42.81'	115°56.46'	15.79 2.7
010930	08:09	18.29	32°03.60'	115°44.39'	4.69 3.1
010930	09:47	00.43	32°02.35'	115°42.33'	12.06 2.1
010930	15:10	27.26	32°02.93'	115°43.19'	13.00* 2.2
Octubre de 2001					
011001	21:23	10.06	33°11.48'	116°09.31'	15.81 2.3
011003	04:35	32.64	31°24.31'	116°24.75'	12.99 2.0
011003	13:42	25.30	32°04.07'	115°45.18'	4.97 2.0
011003	14:35	52.02	32°04.62'	115°46.02'	9.00* 2.2
011003	20:35	59.08	32°58.69'	115°54.50'	9.01 2.7
011004	20:06	11.20	31°38.67'	115°48.70'	11.00* 2.5
011006	05:55	54.74	32°17.45'	116°20.29'	17.79 2.0
011008	11:55	59.77	32°03.77'	115°46.20'	3.07 2.3
011008	15:25	54.69	30°21.22'	115°04.76'	8.22 2.9
011008	15:56	04.77	32°07.01'	114°49.63'	15.00* 2.5
011008	22:01	54.24	32°03.00'	115°44.54'	8.59 2.0
011009	13:09	04.31	31°19.48'	115°45.73'	16.56 2.6
011010	06:41	49.52	31°59.37'	116°13.03'	4.90 2.5
011010	09:11	35.33	32°24.49'	115°17.74'	11.00* 2.9
011010	18:52	53.43	32°02.84'	115°43.63'	9.58 2.0
011012	02:27	41.68	31°42.53'	115°56.03'	19.24 2.8
011014	01:00	28.96	31°56.51'	116°17.13'	12.80 3.1
011017	05:16	22.61	31°52.76'	115°48.00'	11.76 2.4
011017	13:01	29.89	32°54.54'	116°34.78'	3.41 2.3
011019	18:40	35.03	31°58.23'	115°41.94'	10.00* 2.1
011021	18:14	17.12	32°07.54'	115°46.26'	4.94 2.1
011021	20:14	12.30	31°56.46'	115°44.16'	9.99 2.1
011022	21:57	43.03	32°07.55'	117°21.83'	13.00 2.6
011023	07:19	42.40	31°41.79'	114°42.17'	5.00* 2.8
011023	18:23	58.66	31°54.65'	115°57.62'	6.37 2.5
011023	20:57	06.21	32°06.75'	117°20.08'	13.00* 3.1
011025	02:01	40.61	32°35.62'	116°05.84'	5.54 2.5
011025	04:43	30.09	31°49.20'	116°10.97'	4.67 3.1
011026	00:00	08.21	32°05.43'	114°56.38'	7.00* 3.0
011028	05:28	22.93	32°02.80'	115°43.60'	14.34 2.0
011029	22:00	20.40	32°25.24'	115°12.26'	12.00* 2.4
011030	03:41	18.99	31°42.61'	115°57.13'	16.38 2.0

011030	07:17	00.09	31°38.16'	115°36.15'	13.39 2.5
011030	16:25	17.41	32°49.64'	115°50.03'	8.88 2.4
011030	20:55	14.87	32°07.33'	117°23.70'	12.00* 2.1
011031	02:17	06.74	32°36.59'	116°09.29'	7.58 3.1
011031	06:26	23.31	32°05.97'	115°26.44'	13.69 2.3
Noviembre de 2001					
011101	23:41	33.47	32°08.67'	115°43.84'	15.00* 3.0
011103	14:12	29.50	32°00.84'	115°43.29'	10.44 2.4
011104	04:07	50.42	32°09.35'	115°44.24'	4.84 2.2
011104	21:06	13.40	32°17.53'	115°32.71'	11.00* 2.0
011106	12:53	13.99	31°58.00'	115°47.17'	8.10 2.0
011106	17:58	43.51	32°02.68'	115°42.35'	4.89 2.3
011107	02:08	38.08	32°53.12'	116°04.81'	4.48 2.6
011107	02:38	48.68	32°20.99'	115°20.00'	12.00* 2.2
011107	02:52	08.75	32°23.94'	115°20.62'	13.13 2.1
011107	02:55	35.69	32°21.42'	115°19.72'	10.40 2.4
011107	03:05	52.78	32°21.62'	115°19.66'	11.00* 2.3
011107	05:03	08.58	31°42.17'	115°56.46'	14.73 2.2
011107	05:43	58.73	32°23.99'	115°21.97'	11.81 2.0
011110	11:05	36.21	32°27.15'	115°21.31'	3.00* 3.1
011110	11:29	39.39	32°27.97'	115°21.64'	2.00 2.4
011110	11:31	35.55	32°27.30'	115°22.00'	12.49 2.0
011111	15:43	41.74	32°05.16'	115°44.62'	4.88 2.0
011112	03:35	17.86	32°48.19'	115°36.11'	13.15 2.4
011112	09:49	46.12	32°24.99'	115°13.91'	9.60 3.3
011112	17:12	11.00	32°21.18'	118°06.34'	6.72 3.1
011113	00:22	42.78	31°53.50'	116°11.82'	18.89 3.1
011114	00:54	05.95	32°40.32'	116°06.92'	7.37 2.2
011115	17:39	46.18	32°07.82'	115°42.74'	3.89 2.0
011115	22:44	11.17	32°48.58'	115°36.13'	16.10 2.4
011116	14:26	15.41	31°15.65'	115°19.29'	12.00* 2.3
011117	02:08	07.38	31°53.42'	115°48.18'	13.73 2.2
011117	15:01	30.14	32°47.37'	115°35.26'	15.88 2.6
011117	23:03	14.65	31°57.87'	116°15.32'	13.34 2.4
011118	01:27	06.71	31°28.14'	115°37.55'	14.74 2.3
011118	01:48	18.27	31°56.26'	115°47.13'	7.05 2.1
011118	22:16	08.84	32°00.44'	117°14.84'	4.52 2.3
011119	09:58	03.18	32°19.94'	116°14.27'	10.00* 2.3
011120	03:07	28.31	31°59.85'	115°44.65'	9.00* 2.1
011120	03:54	57.81	31°40.16'	115°58.63'	19.22 2.1
011121	20:49	39.37	32°07.64'	115°45.31'	4.69 2.0
011123	02:27	40.31	31°49.72'	116°10.75'	15.79 2.0
011123	12:55	10.04	31°53.53'	115°47.15'	10.42 2.2
011123	22:56	57.12	31°52.23'	115°47.57'	11.25 2.4
011125	09:39	19.23	32°00.18'	115°42.53'	14.69 2.2
011126	01:42	06.40	31°46.92'	116°10.15'	4.68 2.0
011126	14:58	04.81	31°54.02'	115°46.99'	12.73 2.0
011127	06:43	37.70	31°02.64'	115°37.71'	18.28 2.3
011128	17:56	54.51	31°41.39'	115°56.69'	14.87 2.0
011129	04:09	17.34	31°47.38'	116°09.54'	3.66 2.2
011129	13:36	57.25	32°05.44'	115°37.30'	13.10 2.0
011129	15:49	18.61	32°47.66'	115°58.59'	7.62 2.0
Diciembre de 2001					
011202	05:07	35.96	32°25.74'	115°11.96'	3.87 2.8
011202	06:09	26.69	31°53.61'	115°48.23'	12.33 2.3
011203	01:32	24.30	32°58.44'	115°54.06'	5.10 2.3
011203	01:34	29.22	32°58.54'	115°54.06'	4.36 2.8
011205	09:42	15.27	32°12.49'	115°05.04'	15.39 2.3
011206	12:58	16.03	30°38.35'	114°26.14'	4.00 3.3
011207	02:04	32.02	32°24.49'	115°15.50'	16.00 2.4
011207	02:28	47.27	31°38.00'	115°45.03'	11.56 2.2
011207	06:46	59.92	31°57.82'	114°45.52'	6.57 2.8
011207	13:03	46.59	31°42.44'	115°55.51'	18.38 2.0
011207	13:07	32.74	31°41.01'	115°54.90'	14.65 2.1
011208	23:36	12.02	32°06.10'	115°00.15'	10.00* 5.4
011209	00:06	45.59	32°05.91'	114°56.63'	12.56 3.7
011209	00:11	40.94	32°05.63'	114°52.84'	11.86 2.4
011209	00:20	55.27	32°05.52'	114°57.17'	11.85 2.9
011209	00:22	31.37	32°07.07'	114°54.07'	12.00* 2.8
011209	00:24	29.84	32°04.04'	114°49.73'	15.80 2.6
011209	00:27	12.76	32°05.22'	114°55.68'	14.94 2.7
011209	00:35	33.66	32°04.67'	114°53.60'	12.75 3.0
011209	00:41	56.28	32°07.03'	114°53.99'	10.57 2.4
011209	00:47	09.18	32°07.32'	114°56.27'	8.32 2.6
011209	00:47	37.84	32°06.35'	114°55.27'	15.76 3.0
011209	01:03	48.94	31°57.44'	114°48.79'	10.48 2.5

011209	01:10	49.39	32°02.70'	114°53.13'	18.81	2.5
011209	01:35	30.96	32°07.73'	114°57.01'	13.52	2.6
011209	01:42	29.01	32°08.86'	115°00.77'	15.17	4.7
011209	01:56	35.29	32°03.73'	114°57.52'	19.62	3.0
011209	02:04	18.38	32°09.09'	115°03.35'	13.94	3.1
011209	02:18	26.50	32°05.01'	114°55.43'	13.73	2.7
011209	02:21	39.30	32°06.62'	114°58.47'	18.29	2.2
011209	02:26	51.12	32°12.96'	115°01.13'	9.35	3.0
011209	02:52	22.43	32°11.87'	114°58.55'	15.77	2.7
011209	03:42	00.34	32°01.16'	114°52.57'	15.65	2.4
011209	04:03	14.85	32°03.87'	114°55.85'	18.64	2.7
011209	04:35	53.60	32°03.32'	114°55.91'	18.06	2.8
011209	04:49	08.40	32°05.99'	114°56.71'	12.98	2.4
011209	05:03	33.15	32°03.63'	114°55.46'	8.92	3.0
011209	05:22	36.36	32°07.43'	114°58.39'	14.89	2.2
011209	05:33	04.80	32°02.68'	114°53.99'	7.96	2.7
011209	06:37	47.97	32°03.86'	114°53.20'	18.28	2.7
011209	07:06	39.83	32°06.39'	114°58.15'	14.52	2.7
011209	07:52	53.14	32°06.74'	114°56.04'	14.07	2.8
011209	09:05	15.73	32°07.18'	114°57.83'	10.97	2.5
011209	09:26	31.84	32°06.10'	114°55.56'	15.27	2.6
011209	09:27	17.66	32°06.45'	114°58.21'	8.18	2.7
011209	11:07	13.65	32°05.31'	114°57.39'	12.17	3.3
011209	12:34	05.61	32°04.49'	114°56.06'	9.74	2.1
011209	12:51	07.42	32°05.06'	114°57.25'	18.33	3.1
011209	14:11	04.63	32°04.29'	114°59.23'	16.17	3.3
011209	21:06	30.83	32°05.27'	114°57.90'	15.95	2.5
011210	00:09	03.96	32°02.69'	114°49.68'	21.16	2.3
011210	00:48	52.86	32°04.85'	115°00.15'	20.62	2.4
011210	01:52	14.28	32°05.48'	114°54.90'	11.13	2.2
011210	02:21	20.44	32°05.43'	114°56.01'	3.47	2.4
011210	03:36	31.64	32°05.62'	115°01.32'	19.42	2.4
011210	04:46	45.39	32°05.48'	114°59.88'	15.96	2.5
011211	09:23	44.85	32°05.71'	114°58.20'	12.00*	3.4
011211	23:49	32.53	32°02.65'	114°52.81'	6.84	2.5
011212	00:24	27.68	32°05.04'	114°59.15'	11.00*	2.5
011212	02:09	23.98	32°08.05'	115°00.49'	12.00*	2.8
011212	15:16	41.59	32°07.36'	114°58.20'	14.63	2.7
011212	15:37	40.76	32°10.06'	115°36.04'	13.00*	2.1
011213	16:46	26.37	32°06.34'	114°58.90'	10.24	2.2
011214	09:43	52.83	32°05.42'	114°53.69'	17.12	2.5
011214	10:32	57.66	31°42.83'	115°57.84'	14.62	2.4
011214	21:30	02.25	32°04.71'	114°57.34'	18.08	2.6
011214	22:19	30.28	32°05.51'	114°58.59'	14.08	2.6
011214	23:23	21.99	32°03.41'	114°55.37'	15.38	2.8
011215	00:42	22.59	32°01.63'	114°56.30'	12.10	2.0
011215	00:59	31.35	32°01.96'	114°54.13'	8.18	2.2
011215	07:17	57.61	32°05.19'	114°57.23'	14.48	2.7
011216	15:30	14.46	32°06.19'	115°06.09'	14.91	2.3
011216	18:39	20.79	32°05.34'	114°57.70'	18.19	2.2
011216	22:21	52.16	32°05.02'	114°56.17'	15.60	2.5
011218	15:19	17.34	31°37.28'	115°35.88'	14.71	2.5
011219	10:01	25.21	32°03.09'	114°58.53'	10.25	2.2
011219	11:15	27.81	32°06.33'	114°54.91'	8.32	2.4
011219	18:00	53.09	32°03.05'	114°56.66'	17.74	2.5
011220	10:12	07.92	32°08.19'	115°00.45'	10.93	2.7
011220	16:04	09.12	32°02.76'	117°19.86'	16.28	3.2
011220	23:59	57.88	32°06.03'	114°57.77'	11.00*	2.1
011221	08:33	52.71	31°41.77'	115°57.40'	15.00*	2.4
011221	23:21	25.29	32°01.12'	117°23.77'	13.21	2.6
011221	23:28	31.20	32°01.37'	117°25.26'	15.99	3.6
011222	03:31	20.67	32°01.24'	117°22.48'	16.35	2.2
011222	03:39	39.63	32°05.44'	114°59.95'	17.30	2.3
011222	10:13	32.19	32°07.85'	114°54.25'	13.32	2.2
011222	14:14	21.75	32°04.80'	114°54.77'	17.76	2.0
011223	00:58	57.62	32°00.00'	114°56.74'	13.00*	2.1
011223	08:43	10.99	31°35.98'	115°36.04'	19.09	2.0
011223	09:04	06.61	32°05.83'	114°56.47'	8.52	2.2
011223	09:56	03.87	32°07.93'	114°56.64'	10.22	2.2
011223	15:36	58.20	32°07.10'	114°55.42'	10.91	2.6
011223	18:51	01.63	32°26.25'	115°12.68'	12.39	2.4
011223	21:31	08.96	31°58.22'	115°46.08'	11.06	2.3
011224	05:12	24.73	32°03.90'	117°21.11'	15.93	2.1
011225	16:27	19.50	31°39.42'	116°01.06'	13.14	2.3
011226	00:53	12.33	32°19.48'	114°59.27'	15.00*	2.7
011226	05:30	18.99	32°22.74'	117°42.61'	9.00*	2.5

011226	09:29	54.18	32°04.09'	114°56.52'	13.00*	2.5
011226	23:08	28.25	32°10.91'	114°59.05'	15.83	2.7
011229	07:40	03.62	32°05.81'	114°58.95'	15.00*	3.4
011229	09:00	39.74	32°08.82'	114°59.66'	9.00*	2.4
011229	20:15	56.87	32°33.42'	115°13.88'	17.15	3.1
011229	23:42	00.00	31°53.75'	115°44.66'	17.17	2.0
011230	10:38	50.65	32°32.71'	115°04.50'	15.67	2.7
011230	11:03	17.44	31°53.22'	116°59.27'	12.00*	2.0
011231	02:03	28.14	31°32.55'	115°51.63'	18.50	2.5
011231	02:28	26.33	31°18.35'	115°47.50'	13.00*	2.1
011231	05:06	30.11	31°47.00'	116°10.10'	12.00*	3.5

SISMICIDAD DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO (PERIODO ENERO A MARZO, 2002)

Javier Fco. Pacheco, Casiano Jiménez, Arturo Iglesias, Jesús Pérez Santana, Jorge A. Estrada, José L. Cruz, Arturo Cárdenas, María de los Ángeles Gutiérrez, Bernardino Rubí y José A. Santiago.

Servicio Sismológico Nacional

Instituto de Geofísica, UNAM

Ciudad Universitaria, Deleg. Coyoacán, México, D.F., 04510, México

E-mail: javier@ssn.unam.mx

RESUMEN

Se presenta el reporte preliminar de sismos localizados por el Servicio Sismológico Nacional durante el primer trimestre del año 2002 en el centro y sur de México. Durante el trimestre se reportaron 345 sismos, concentrados principalmente a lo largo de la costa del Pacífico. Se realizó una inversión del momento sísmico utilizando los registros regionales de la red de banda ancha para los 7 sismos mayores.

INTRODUCCIÓN

En esta primera contribución a la revista GEOS se describen, brevemente, los procedimientos utilizados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) para la localización y determinación de los parámetros sísmicos que rutinariamente se reportan en los catálogos del SSN.

El SSN cuenta con tres redes sísmicas que se utilizan en la localización de los temblores que ocurren en la República Mexicana. En la Figura 1 se muestra la distribución de las estaciones. Los cuadros son estaciones de una componente vertical y período corto, denominada la Red Convencional. Se cuenta con 15 estaciones de este tipo distribuidas en el centro y sur de México. Los triángulos muestran las 21 estaciones de la red sísmica de banda ancha, las cuales consisten de un digitizador Quanterra conectado a un sensor de tres componentes Strekeisen STS-2. La Red del Valle de México es una red de 12 estaciones de período corto concentrada alrededor de la ciudad de México (por lo que no aparece en la Figura 1). Como su nombre lo indica, está diseñada para detectar los sismos que ocurren dentro del Valle de México. En la Figura 1 se muestran tres estaciones de banda ancha (triángulos) sin nombre, las cuales serán instaladas durante el año 2002 en Actopan, Hidalgo, Tehuacán, Puebla, e Isla Socorro, Colima.

Los datos procedentes de la Red Convencional se reciben en tiempo real a través de líneas telefónicas privadas. Estos datos se grafican en tambores para una rápida estimación visual del epicentro de un sismo. Luego de la digitalización de los datos, estos pasan a una computadora tipo PC para ser procesados. Un algoritmo tipo STA/LTA determina la presencia de un sismo. Si este sismo se registra en 3 o más estaciones, se almacena el segmento de todas las estaciones en un archivo. Este archivo se convierte a formato Seisan para su posterior procesamiento en una computadora SUN. Un procedi-

miento similar se sigue con los datos de la Red del Valle de México. Una vez detectado un sismo, se interroga a las estaciones de banda ancha por disparos en un intervalo de tiempo cercano tiempo de disparo de las redes de período corto. Estos datos se transmiten a la estación central para su procesamiento. La transmisión de datos de la red de banda ancha se lleva a cabo por medio de comunicación satelital, telefónica, radio-modem o internet.

Para la localización de los sismos se utiliza el programa SEISAN de Haskov y Ottemöller (1999), que a su vez utiliza el algoritmo de HYPOCENTER de Lieneart y Haskov (1995), con el modelo de velocidades de Jeffrey y Bullen (1940). Distintos pesos se asignan a las lecturas de tiempos de llegada para las ondas P y S en las diversas estaciones; estas lecturas son las utilizadas para realizar las localizaciones. Debido a la baja densidad de estaciones, la profundidad de los sismos superficiales está determinada pobremente. En el caso en que la profundidad no se pueda determinar, se restringe a 5 km para sismos dentro del continente y 10 km para los sismos en el océano. Actualmente se está trabajando en un modelo de estructura más adecuado utilizando la base de datos de banda ancha para tener un mejor control sobre las localizaciones.

La determinación de la magnitud se lleva a cabo utilizando la duración de la coda de los registros (Haskov y Macías, 1984). Debido a la saturación de la magnitud de coda para sismos con magnitudes mayores o iguales a 5, la magnitud de estos sismos se determina utilizando los algoritmos para magnitud de amplitud (MA) y de energía (ME) descritos por Singh y Pacheco (1994). En el caso de sismos de importancia, ya sea por haber sido sentidos por una amplia población, por el interés tectónico o simplemente por tener una magnitud mayor a 4.8, se determina el tensor del momento sísmico realizando una inversión de los datos de banda ancha, con los algoritmos descritos por Pacheco y Singh (1998). Estos algoritmos están basados en el trabajo de Randall y otros

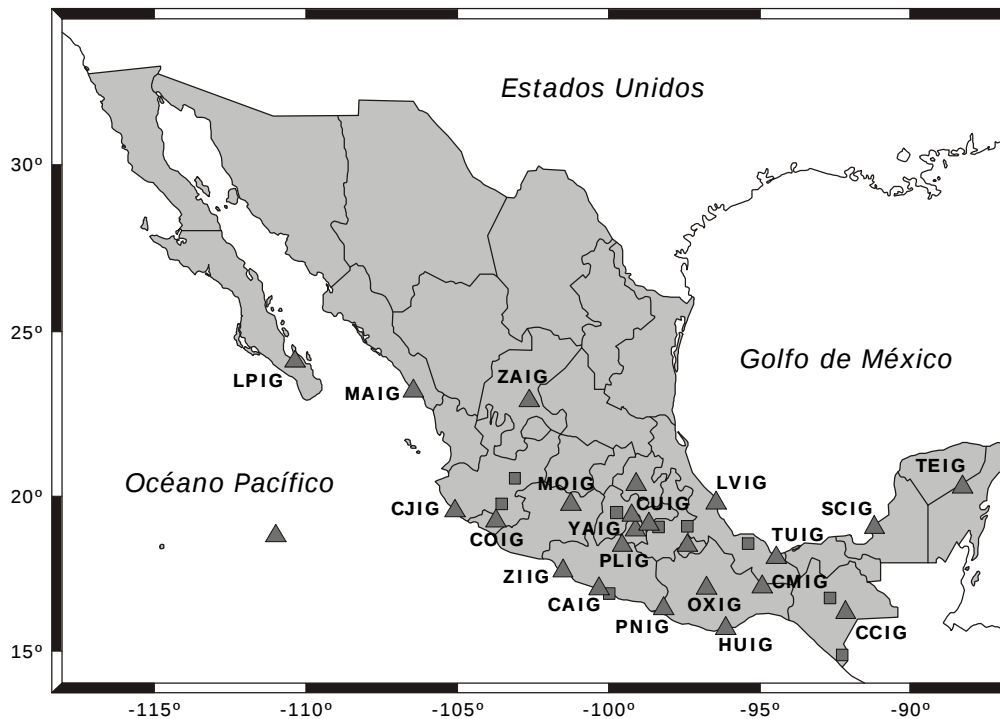


Figura 1. Distribución de las estaciones de la Red Sísmica Nacional. Los cuadros representan las estaciones convencionales de período corto y los triángulos las nuevas estaciones de la red de banda ancha.

(1995). Actualmente se están realizando pruebas con los algoritmos de Fukuyama y Dreger (2000) para determinar de manera automática y rutinaria el tensor de momento sísmico para los sismos moderados a grandes ($M > 4.8$).

SISMICIDAD DE LOS MESES DE ENERO, FEBRERO Y MARZO DEL 2002

La Figura 2 muestra los sismos ocurridos durante el primer trimestre del año 2002. En total se reportaron 345 eventos. Este reporte es preliminar al igual que las localizaciones, por lo que el catálogo final consistirá de más de 345 eventos. Los sismos superficiales (profundidades menores a 40 km) están representados por un círculo, mientras que los sismos intermedios y profundos por un cuadrado. La mayoría de los temblores registrados ocurrieron a lo largo de las costas del estado de Guerrero. Esta alta sismicidad en Guerrero se explica por la secuencia de réplicas del sismo del pasado 8 de Octubre del 2001, con epicentro al norte de la ciudad de Coyuca de Benítez. El sismo de Octubre, de magnitud $M_w = 5.9$, se caracterizó por ser un sismo cortical, de fallamiento normal y con ruptura entre los 2 y los 12 km de profundidad. A este carácter cortical se le atribuye la gran cantidad de réplicas que se registraron principalmente durante los primeros tres meses y que continúa aún después de 7 meses de su ocurrencia.

El resto de la sismicidad se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico, principalmente en las costas de Oaxaca y Chiapas, con baja sismicidad en Colima y Jalisco. Una impor-

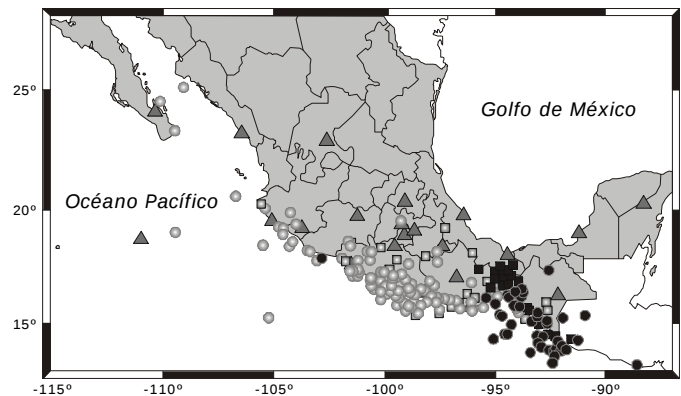


Figura 2. Sismos reportados durante el primer trimestre del 2002. Los círculos representan eventos superficiales y cuadrados eventos con profundidades mayores a 40 km.

tante actividad de sismos profundos se localizó en el Istmo de Tehuantepec. Sismicidad cortical se produjo aisladamente en Jalisco, Estado de México, Puebla y Chiapas.

La tabla 1 presenta los sismos más importantes ocurridos durante el primer trimestre. En esta tabla se puede leer el tiempo de origen (GMT), la localización, la magnitud de momento sísmico (M_w) y su mecanismo focal para el mejor doble par. Los mecanismos focales determinados para los sismos más importantes se muestran en la Figura 3.

El sismo del 16 de Enero (1) en las costas de Chiapas y el del 14 de Febrero (4) presentan un mecanismo similar al sismo del 28 de Noviembre ($M_w 6.3$) en la misma zona. El mecanismo es de fallamiento normal sobre un plano de falla casi vertical. Varias réplicas fueron registradas a profundidades

Tabla 1. Parámetros de fuente.

Num.	Fecha	Hora	Lat.	Lon.	Prof.	M _w	Acim.	Buz.	Desl.
1	020116	23:09:54.9	15.58	-93.60	60	6.3	310	81	-92
2	020120	08:34:35.2	17.02	-100.09	8	4.6	279	46	-85
3	020130	08:42:05.2	18.15	-95.98	110	5.8	334	58	-78
4	020214	23:23:13.2	14.77	-92.76	60	5.8	306	88	-103
5	020226	11:54:28.6	16.40	-94.22	120	5.0	202	48	-15
6	020305	11:16:47.9	16.49	-100.11	8	4.5	292	34	85
7	020331	23:09:52.7	13.95	-93.03	25	5.3	342	79	32

entre 50 y 70 km, y en un área bastante extensa a lo largo de la costa de Chiapas. Desgraciadamente la baja densidad de estaciones sísmicas en la región impide una localización más precisa de los eventos.

El sismo del 20 de Enero (2) es una de las muchas réplicas del sismo del 8 de Octubre (M_w 5.9) en Cuyuca de Benítez y su mecanismo es similar al evento principal, esto es, falla superficial, de mecanismo normal con plano de falla paralelo a la costa y buzamiento hacia el sur. Tanto este sismo como el del 5 de Marzo fueron reportados con magnitudes coda de 4.8, sin embargo, la magnitud de momento sísmico es de 4.6 y 4.5 respectivamente.

El sismo del 30 de Enero (3) fue sentido en los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla. La importancia de este sismo radica en su localización y profundidad. A una profundidad de 110 km, este sismo indica que la zona de Benioff, en esta región, todavía puede seguirse hasta los 110 km de profundidad. Estos sismos no son frecuentes y mucho menos con esta magnitud.

El sismo del 26 de Febrero (5) muestra algo de los complejos esfuerzos que actúan sobre la placa subducida de Cocos a lo largo del Istmo de Tehuantepec. El mecanismo determinado para este sismo muestra un fallamiento normal con un alto corrimiento de rumbo. El fallamiento normal es de esperarse para sismos a estas profundidades (120 km), sin embargo la alta componente de rumbo y la orientación del plano de falla y el auxiliar muestran un desgarramiento de la placa. Este desgarramiento se puede explicar como una respuesta de la placa a un cambio brusco en la geometría, al pasar de una subducción casi horizontal en Oaxaca a una subducción a casi 45° en Chiapas y Centroamérica (Pardo y Suárez, 1995).

El sismo del 5 de Marzo (6) es un sismo superficial a lo largo de la interfase entre las placas Cocos y Norteamérica. Su mecanismo es típico mecanismo de cabalgadura.

Por último, el del 31 de Marzo (7) es un sismo que ocurre frente a las costas de Chiapas, cerca de la frontera con Guatemala. La profundidad reportada por el SSN para este sismo es de 20 km y la profundidad de centroide que mejor ajusta los datos es de 25 km. Por su ubicación y extraño mecanismo, lo más probable es que este evento haya ocurrido dentro de la placa de Cocos muy cerca de la trinchera. Desgraciadamente la baja densidad de estaciones en la región no permite una localización precisa.

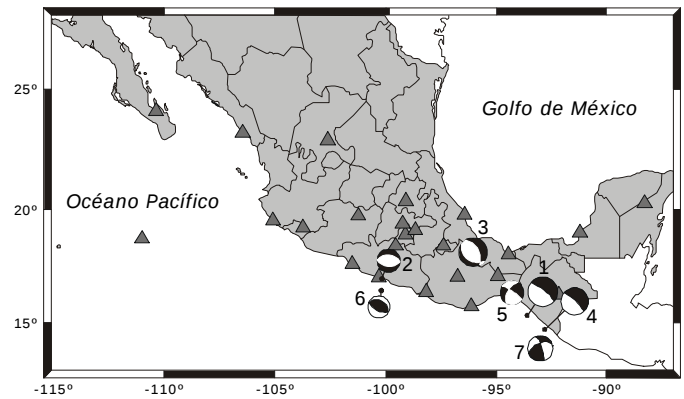


Figura 3. Mecanismos focales de los sismos de mayor magnitud ocurridos durante el primer trimestre.

Además de estos sismos grandes estudiados aquí, se presentaron otros 2 eventos de magnitudes mayores o iguales a 4.8 en la frontera Chiapas-Guatemala (más cerca de Guatemala que de Chiapas), los cuales no pudieron ser estudiados por su lejanía a las estaciones del SSN.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de la secretaria Enedina Martínez en la elaboración de este reporte que es posible gracias al proyecto L001 del Instituto de Geofísica de la UNAM.

REFERENCIAS

- Fukuyama, E., and D.S. Dreger, 2000. Performance test of an automated moment tensor determination system for the future "Tokai" earthquake, *Earth Planets Space*, 52, 383-392.
- Havskov, J., and M. Macías, 1983. A coda-length magnitude scale for some Mexican stations, *Geofísica Internacional*, 22, 205-213.
- Haskov, J., and L. Ottemöller, 1999. Seisan earthquake analysis software, *Seismological Research Letters*, 70, 532-534.
- Jeffreys, H., K.E. Bullen, 1940. Seismological Tables, *British Association Seismological Committee*, London.
- Lienart, B.R., and J. Haskov, 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally, *Seismological Research Letters*, 66, 26-36.
- Pacheco, J.F., and S.K. Singh, 1998. Source parameters of two moderate earthquakes estimated from a single-station, near-source recording, and from MT inversion of regional data: A comparison of results, *Geofísica Internacional*, 37, 95-102.
- Pardo, M., and G. Suárez, 1995. Shape of the Rivera and Cocos plates in Southern Mexico: Seismic and tectonic implications, *Journal of Geophysical Research*, 100, 12,357-12,373.

Randall, G.E., C.J. Ammon, and T.J. Owens, 1995. Moment tensor estimation using regional seismograms from a Tibetan plateau portable network deployment. *Geophysical Research Letters*, 22, 1665-1668.

Singh, S.K. and J.F. Pacheco, 1994. Magnitude of Mexican earthquakes, *Geofísica Internacional*, 33, 189-198.

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof.	Mag.	Región Epicentral
010102	10:05:39	19.17N	104.79W	39	4.2	Costa Jalisco-Colima
010102	03:54:28	17.09N	94.46W	162	3.8	Istmo de Tehuantepec
010102	19:28:47	18.62N	101.58W	48	4.6	Rio Balsas Inferior
010102	15:58:09	17.42N	95.72W	106	4.3	Veracruz-Oaxaca
020102	20:29:17	20.29N	109.20W	10	4.8	Cordillera Pacifico Oriental
020102	09:13:01	17.21N	101.22W	11	4.0	Costa de Guerrero
020102	13:00:51	16.18N	95.84W	66	4.3	Oaxaca
030102	01:05:53	16.87N	100.20W	9	4.2	Costa de Guerrero
030102	08:10:29	17.53N	94.68W	164	4.5	Istmo de Tehuantepec
030102	11:14:25	16.09N	96.99W	16	3.5	Oaxaca
030102	07:16:17	15.24N	105.03W	33	4.5	Océano Pacifico
040102	06:26:11	16.94N	99.79W	23	3.9	Costa de Guerrero
040102	14:32:15	16.17N	98.29W	6	4.1	Costa de Guerrero-Oaxaca
050102	20:04:56	16.94N	100.15W	10	3.5	Costa de Guerrero
060102	15:25:21	18.04N	100.60W	67	4.0	Alto Rio Balsas
060102	02:20:23	16.96N	100.09W	13	3.8	Costa de Guerrero
060102	02:26:29	16.94N	100.09W	10	3.5	Costa de Guerrero
060102	23:42:49	16.73N	99.77W	3	3.8	Costa de Guerrero
070102	08:14:35	17.34N	101.57W	15	4.1	Costa de Guerrero
070102	18:22:02	14.57N	92.33W	54	4.1	Costa México-Guatemala
070102	10:25:48	18.11N	97.61W	16	3.5	Puebla
080102	13:14:22	16.99N	100.17W	3	3.9	Costa de Guerrero
080102	17:46:32	15.70N	96.78W	16	3.5	Costa de Oaxaca
080102	11:20:07	16.28N	98.31W	31	3.8	Costa de Guerrero-Oaxaca
080102	22:12:06	14.23N	91.98W	35	4.2	Guatemala
080102	21:55:23	17.46N	94.58W	166	3.8	Istmo de Tehuantepec
080102	22:07:19	16.20N	97.63W	14	3.9	Oaxaca
090102	12:23:50	15.49N	98.40W	10	4.0	Costa de Oaxaca
090102	14:06:23	15.53N	94.70W	4	4.2	Golfo de Tehuantepec
090102	22:14:18	16.13N	97.68W	15	3.7	Oaxaca
100102	03:31:46	16.94N	100.10W	6	3.9	Costa de Guerrero
100102	00:01:41	15.75N	96.13W	36	3.5	Costa de Oaxaca
100102	06:54:58	15.53N	96.05W	10	4.2	Costa de Oaxaca
110102	22:54:58	16.99N	100.13W	10	3.4	Costa de Guerrero
110102	22:04:45	18.28N	103.26W	10	3.8	Costa de Michoacán
120102	11:15:35	16.86N	98.72W	16	3.8	Costa de Guerrero-Oaxaca
120102	06:10:01	14.42N	92.81W	24	4.4	Costa México-Guatemala
120102	08:45:39	14.23N	92.16W	15	4.0	Costa México-Guatemala
120102	03:01:24	16.64N	94.55W	110	4.2	Istmo de Tehuantepec
120102	23:08:23	17.22N	94.68W	141	3.9	Istmo de Tehuantepec
130102	09:17:55	16.95N	100.16W	6	3.5	Costa de Guerrero
130102	12:45:14	16.90N	100.11W	3	3.4	Costa de Guerrero
130102	22:01:52	16.96N	100.08W	5	3.4	Costa de Guerrero
130102	04:38:47	16.19N	98.27W	10	3.7	Costa de Guerrero-Oaxaca
140102	13:32:33	16.93N	100.19W	5	3.4	Costa de Guerrero
140102	07:06:06	16.39N	98.22W	5	3.8	Costa de Guerrero-Oaxaca
150102	20:08:20	16.97N	100.20W	10	3.4	Costa de Guerrero
150102	20:15:28	16.90N	100.20W	5	3.6	Costa de Guerrero
150102	20:17:58	16.96N	100.23W	5	3.6	Costa de Guerrero
150102	20:43:00	16.96N	100.21W	5	3.4	Costa de Guerrero
150102	20:45:22	16.99N	100.23W	5	3.5	Costa de Guerrero
150102	20:49:31	16.97N	100.20W	10	3.7	Costa de Guerrero
150102	20:59:48	16.97N	100.24W	10	3.9	Costa de Guerrero
150102	19:08:33	15.98N	96.72W	15	4.1	Costa de Oaxaca
150102	20:09:02	17.81N	100.61W	67	3.9	Guerrero
150102	03:23:57	16.01N	95.59W	33	3.8	Oaxaca
160102	04:23:59	15.68N	93.85W	16	4.1	Costa de Chiapas
160102	17:09:56	15.58N	93.60W	36	6.3	Costa de Chiapas
160102	17:51:14	15.44N	93.61W	33	4.2	Costa de Chiapas
160102	21:06:51	15.48N	93.63W	16	4.1	Costa de Chiapas
160102	22:13:46	15.55N	93.52W	39	4.0	Costa de Chiapas
160102	01:59:22	16.93N	100.20W	10	3.2	Costa de Guerrero
160102	02:37:26	16.88N	100.56W	5	3.6	Costa de Guerrero
160102	05:15:19	16.93N	100.28W	9	3.2	Costa de Guerrero
160102	08:35:20	16.79N	100.18W	5	3.1	Costa de Guerrero
160102	13:33:44	16.96N	100.19W	6	2.9	Costa de Guerrero
160102	20:02:16	16.88N	100.18W	10	3.3	Costa de Guerrero
160102	20:25:05	16.30N	99.52W	16	4.2	Costa de Guerrero
160102	13:37:40	16.60N	95.17W	76	4.0	Oaxaca
170102	07:58:55	15.56N	93.66W	99	4.2	Costa de Chiapas
170102	23:32:55	15.47N	93.58W	33	4.3	Costa de Chiapas
170102	05:05:44	17.00N	100.32W	15	3.9	Guerrero
180102	00:15:31	15.69N	93.66W	16	4.1	Costa de Chiapas
180102	08:14:28	15.11N	93.14W	82	4.2	Costa de Chiapas
180102	16:24:02	15.56N	93.50W	105	4.2	Costa de Chiapas
180102	20:05:01	15.58N	93.60W	68	4.3	Costa de Chiapas
180102	09:13:11	16.00N	98.43W	7	3.9	Costa de Guerrero-Oaxaca
180102	02:46:48	17.08N	99.49W	43	3.7	Guerrero
190102	13:57:02	17.95N	102.66W	18	4.1	Costa de Guerrero-Michoacán
200102	14:59:09	15.55N	93.43W	129	4.2	Costa de Chiapas
200102	02:34:34	16.80N	100.29W	13	4.7	Costa de Guerrero
200102	14:50:57	16.92N	100.16W	13	3.6	Costa de Guerrero
200102	15:00:42	16.87N	100.21W	13	3.8	Costa de Guerrero
200102	16:55:11	16.87N	100.14W	8	3.8	Costa de Guerrero
200102	19:24:56	16.03N	98.72W	20	4.1	Costa de Guerrero-Oaxaca
200102	20:01:51	16.00N	98.69W	20	3.9	Costa de Guerrero-Oaxaca
200102	08:31:35	17.00N	100.09W	10	3.7	Guerrero

200102	07:28:03	17.03N	94.81W	131	4.0	Istmo de Tehuantepec
200102	11:16:39	17.14N	94.30W	138	3.9	Istmo de Tehuantepec
210102	12:19:57	16.97N	99.96W	36	3.6	Costa de Guerrero
210102	18:42:42	16.97N	100.24W	10	3.5	Costa de Guerrero
210102	21:12:57	16.93N	100.15W	27	3.5	Costa de Guerrero
210102	12:15:34	19.22N	97.20W	97	4.1	Eje Volcánico Oriental
210102	08:31:40	17.62N	94.18W	48	4.3	Istmo de Tehuantepec
210102	11:36:06	17.10N	95.01W	130	4.3	Veracruz-Oaxaca
220102	02:25:23	23.21N	109.38W	5	4.4	Cabo San Lucas, B.C.S.
220102	05:30:54	15.55N	93.46W	101	4.2	Costa de Chiapas
220102	04:52:54	16.84N	100.16W	20	3.5	Costa de Guerrero
220102	04:57:25	16.91N	100.15W	20	3.5	Costa de Guerrero
220102	12:10:17	16.78N	100.21W	10	3.8	Costa de Guerrero
220102	14:36:49	16.94N	100.12W	20	3.9	Costa de Guerrero
220102	20:42:02	16.94N	100.10W	10	4.1	Costa de Guerrero
230102	19:54:19	15.56N	93.92W	48	4.1	Costa de Chiapas
230102	03:24:00	16.90N	100.10W	10	4.6	Costa de Guerrero
230102	03:35:14	16.99N	100.06W	9	4.2	Costa de Guerrero
230102	05:49:03	16.94N	100.07W	10	4.4	Costa de Guerrero
230102	20:39:46	16.93N	100.10W	20	3.6	Costa de Guerrero
230102	21:01:44	16.89N	100.13W	11	3.6	Costa de Guerrero
230102	00:56:46	15.89N	96.87W	7	4.0	Costa de Oaxaca
230102	21:15:25	17.10N	100.03W	18	3.5	Guerrero
230102	22:57:04	17.42N	99.72W	63	3.7	Guerrero
240102	13:12:41	15.64N	93.43W	98	4.2	Costa de Chiapas
240102	14:26:21	16.98N	100.09W	4	3.7	Costa de Guerrero
250102	11:00:01	15.69N	92.54W	164	4.0	Costa de Chiapas
250102	12:17:17	16.96N	100.21W	3	3.5	Costa de Guerrero
250102	18:27:55	16.95N	100.08W	5	3.3	Costa de Guerrero
260102	01:59:41	15.24N	92.99W	95	3.9	Costa de Chiapas
260102	00:00:45	16.94N	100.17W	3	3.5	Costa de Guerrero
260102	23:59:55	13.80N	93.27W	58	4.0	Costa México-Guatemala
260102	06:54:32	17.33N	94.34W	170	4.0	Istmo de Tehuantepec
260102	17:25:43	16.49N	94.12W	113	4.2	Istmo de Tehuantepec
260102	13:54:40	16.20N	97.27W	10	3.8	Oaxaca
260102	21:24:50	16.18N	95.60W	40	4.2	Oaxaca
270102	12:01:26	15.44N	93.40W	94	4.1	Costa de Chiapas
270102	08:26:46	15.91N	96.50W	85	4.1	Costa de Oaxaca
290102	01:48:53	16.96N	100.13W	6	4.0	Costa de Guerrero
290102	00:11:25	16.18N	98.28W	10	3.9	Costa de Guerrero-Oaxaca
300102	00:03:26	15.85N	97.01W	13	3.6	Costa de Oaxaca
300102	02:42:03	18.12N	96.03W	116	5.1	Veracruz-Oaxaca
310102	03:19:58	18.24N	100.75W	44	3.9	Alto Río Balsas
010202	19:35:21	16.52N	93.96W	84	4.0	Chiapas
010202	17:58:05	15.79N	93.57W	20	4.0	Costa de Chiapas
010202	20:20:26	16.21N	99.65W	12	3.7	Costa de Guerrero
010202	13:29:10	19.51N	99.25W	1	2.4	Eje Volcánico Central
020202	11:51:13	24.22N	109.09W	10	4.5	Golfo de California Sur
030202	03:04:44	16.28N	98.21W	5	4.0	Costa de Guerrero-Oaxaca
030202	10:39:10	16.27N	98.36W	5	3.7	Costa de Guerrero-Oaxaca
030202	10:56:27	17.12N	94.48W	20	3.7	Istmo de Tehuantepec
040202	22:13:59	15.15N	92.92W	105	3.7	Costa de Chiapas
040202	08:06:08	16.24N	98.32W	5	3.8	Costa de Guerrero-Oaxaca
040202	15:59:38	16.07N	95.28W	15	3.8	Oaxaca
050202	09:51:45	17.08N	99.35W	9	4.2	Guerrero
060202	04:06:51	15.92N	98.38W	20	4.1	Costa de Oaxaca
060202	04:11:11	15.96N	98.45W	4	4.0	Costa de Oaxaca
060202	17:28:00	14.89N	92.65W	84	4.4	Costa México-Guatemala
070202	21:43:37	16.49N	100.06W	10	4.2	Costa de Guerrero
070202	03:57:21	14.38N	95.00W	12	4.1	Golfo de Tehuantepec
080202	00:34:44	15.96N	92.77W	210	4.6	Costa de Chiapas
080202	07:31:04	16.51N	100.16W	3	3.6	Costa de Guerrero
080202	13:08:22	17.22N	99.93W	20	3.4	Guerrero
080202	14:09:53	17.00N	99.63W	46	3.5	Guerrero
090202	01:09:11	16.95N	100.15W	24	3.3	Costa de Guerrero
090202	21:19:26	16.95N	100.27W	8	3.3	Costa de Guerrero
090202	04:13:37	14.73N	92.30W	92	4.2	Costa México-Guatemala
090202	01:38:26	14.68N	94.38W	16	4.2	Golfo de Tehuantepec
090202	10:59:58	16.00N	97.15W	9	3.7	Oaxaca
100202	15:50:21	16.93N	100.23W	10	4.3	Costa de Guerrero
100202	18:26:35	15.86N	99.56W	16	4.2	Costa de Guerrero
100202	18:35:49	16.34N	99.38W	17	4.2	Costa de Guerrero
100202	19:13:52	16.98N	100.12W	6	3.6	Costa de Guerrero
100202	07:05:56	13.99N	91.83W	28	4.8	Costa Guatemala
100202	00:26:55	16.38N	98.16W	1	4.2	Costa de Guerrero-Oaxaca
100202	07:17:53	13.72N	92.35W	16	4.2	Costa México-Guatemala
100202	19:38:41	13.68N	92.22W	10	4.6	Costa México-Guatemala
100202	18:41:36	14.00N	91.84W	92	4.4	Guatemala
100202	05:01:11	17.00N	99.70W	29	3.5	Guerrero
100202	06:30:22	17.41N	94.70W	150	3.9	Istmo de Tehuantepec
110202	18:18:31	16.96N	100.10W	25	3.4	Costa de Guerrero
110202	04:45:26	16.26N	98.51W	10	3.9	Costa de Guerrero-Oaxaca
110202	00:08:39	17.10N	100.07W	4	3.4	Guerrero
110202	12:52:20	16.03N	97.15W	31	4.0	Oaxaca
120202	13:53:17	16.95N	99.80W	49	4.1	Costa de Guerrero
120202	21:29:11	16.68N	99.77W	8	3.9	Costa de Guerrero
120202	21:35:51	16.78N	99.72W	4	4.0	Costa de Guerrero
120202	01:14:27	16.01N	98.61W	15	4.3	Costa de Guerrero-Oaxaca
120202	02:55:30	13.27N	92.46W	5	4.5	Costa México-Guatemala
130202	18:05:18	16.86N	100.15W	14	3.5	Costa de Guerrero
130202	22:45:24	16.98N	100.15W	9	4.1	Costa de Guerrero
130202	23:05:22	16.97N	100.17W	10	4.6	Costa de Guerrero
130202	23:18:25	16.93N	100.22W	12	3.8	Costa de Guerrero
130202	12:12:49	15.89N	97.91W	10	4.1	Costa de Oaxaca
140202	08:47:51	16.88N	100.12W	10	3.9	Costa de Guerrero
140202	09:30:23	16.98N	100.14W	5	4.7	Costa de Guerrero
140202	11:17:13	16.92N	100.26W	9	4.1	Costa de Guerrero
140202	22:50:20	16.94N	100.17W	7	4.4	Costa de Guerrero
140202	07:07:49	13.89N	92.87W	16	4.4	Costa México-Guatemala
140202	17:23:13	14.78N	92.71W	101	5.7	Costa México-Guatemala
140202	11:06:33	17.02N	100.17W	5	4.1	Guerrero
140202	11:14:55	17.14N	100.15W	14	3.4	Guerrero
140202	00:39:28	16.67N	97.96W	76	3.7	Oaxaca
140202	04:52:06	16.74N	95.02W	139	4.0	Oaxaca
150202	13:09:36	15.07N	93.04W	8	3.8	Costa de Chiapas
150202	10:24:21	16.98N	100.14W	6	3.5	Costa de Guerrero
150202	16:16:15	16.96N	100.18W	7	3.4	Costa de Guerrero
150202	21:01:45	16.96N	100.17W	7	3.4	Costa de Guerrero
150202	22:21:20	16.97N	100.17W	7	3.5	Costa de Guerrero
150202	08:58:06	14.55N	92.62W	96	4.4	Costa México-Guatemala
160202	13:03:58	16.93N	100.12W	6	3.8	Costa de Guerrero
160202	22:10:19	16.94N	99.93W	37	4.7	Costa de Guerrero
160202	04:10:24	16.36N	98.46W	18	3.6	Costa de Guerrero-Oaxaca
160202	12:58:24	17.67N	98.87W	57	4.3	Guerrero-Oaxaca
160202	18:18:15	16.03N	97.59W	33	3.9	Oaxaca
170202	15:14:37	17.77N	101.69W	41	4.0	Costa de Guerrero
170202	21:39:05	16.92N	100.20W	10	3.5	Costa de Guerrero
170202	13:45:43	16.21N	98.38W	6	3.9	Costa de Guerrero-Oaxaca
180202	18:52:32	24.57N	110.05W	20	3.8	Bahía de la Paz, B.C.S.
180202	03:23:47	16.94N	100.20W	6	3.6	Costa de Guerrero
180202	09:28:43	16.95N	100.26W	4	3.5	Costa de Guerrero
180202	16:39:34	16.03N	98.10W	9	3.6	Costa de Guerrero-Oaxaca
190202	00:07:28	16.97N	100.08W	9	4.7	Costa de Guerrero
190202	00:11:15	16.89N	100.10W	12	3.5	Costa de Guerrero
190202	13:35:57	16.98N	100.17W	8	4.0	Costa de Guerrero
190202	09:36:35	17.05N	100.03W	3	3.4	Guerrero
190202	09:50:58	17.08N	100.03W	3	3.5	Guerrero
190202	19:33:22	16.73N	95.03W	102	4.1	Oaxaca
200202	00:32:57	17.46N	101.14W	4	3.8	Costa de Guerrero
200202	15:01:26	16.90N	100.21W	11	3.5	Costa de Guerrero
200202	19:11:20	16.97N	100.08W	6	3.6	Costa de Guerrero
210202	04:01:05	16.93N	100.19W	9	3.6	Costa de Guerrero
210202	13:21:51	16.98N	99.64W	34	4.5	Costa de Guerrero
210202	23:30:20	17.91N	101.87W	31	4.1	Costa de Guerrero
210202	17:25:11	16.44N	94.32W	98	3.6	Istmo de Tehuantepec
220202	16:57:45	16.91N	100.24W	10	4.0	Costa de Guerrero
230202	22:06:20	16.99N	100.16W	5	3.7	Costa de Guerrero
240202	05:53:23	16.34N	96.24W	69	4.1	Oaxaca
250202	12:12:30	18.20N	100.53W	46	4.0	Alto Río Balsas
250202	13:02:58	15.92N	98.91W	22	4.2	Costa de Oaxaca
250202	08:42:33	16.76N	94.38W	71	4.0	Istmo de Tehuantepec
250202	02:25:32	16.90N	95.30W	106	4.2	Oaxaca
260202	15:08:08	16.97N	100.06W	5	3.4	Costa de Guerrero
260202	17:44:50	16.91N	99.38W	53	3.7	Costa de Guerrero
260202	19:54:01	16.07N	100.07W	9	3.7	Costa de Guerrero
260202	22:59:32	17.46N	101.35W	28	3.7	Costa de Guerrero
260202	05:31:24	15.95N	98.13W	25	4.1	Costa de Oaxaca
260202	05:54:30	16.35N	94.20W	100	5.0	Istmo de Tehuantepec
270202	21:48:50	16.92N	100.26W	3	3.9	Costa de Guerrero
270202	00:34:11	18.11N	103.63W	19	3.9	Costa de Michoacán
270202	10:18:47	17.87N	102.99W	22	4.1	Costa de Guerrero-Michoacán
270202	17:20:16	18.76N	101.43W	71	4.0	Río Balsas Inferior
280202	20:53:15	16.84N	93.93W	162	3.9	Chiapas
280202	08:22:56	15.38N	98.55W	33	4.1	Costa de Oaxaca
280202	03:09:50	13.40N	92.28W	18	4.8	Costa México-Guatemala
280202	20:48:54	17.27N	94.89W	141	4.0	Istmo de Tehuantepec
010302	14:14:11	16.91N	100.05W	25	3.8	Costa de Guerrero
010302	17:09:49	17.18N	101.51W	20	4.3	Costa de Guerrero
010302	22:15:44	20.36N	105.47W	20	3.7	Costa Jalisco-Nayarit
010302	16:56:03	15.79N	95.62W	51	4.0	Golfo de Tehuantepec
020302	15:15:54	18.36N	100.12W	51	4.1	Alto Río Balsas
020302	15:36:33	15.32N	93.25W	19	4.1	Costa de Chiapas
020302						

060302	23:07:17	14.46N	91.62W	116	5.1	Guatemala
060302	22:06:57	17.04N	100.13W	9	3.6	Guerrero
060302	04:24:49	16.72N	94.25W	126	3.8	Istmo de Tehuantepec
070302	01:33:52	16.96N	100.20W	7	3.7	Costa de Guerrero
070302	16:08:10	16.89N	100.26W	10	4.5	Costa de Guerrero
070302	21:42:24	15.78N	99.08W	13	4.6	Costa de Guerrero
070302	16:14:10	17.00N	100.17W	12	4.0	Guerrero
070302	16:22:44	17.01N	100.17W	9	3.6	Guerrero
080302	03:50:45	15.90N	99.14W	16	4.3	Costa de Guerrero
080302	03:52:23	16.13N	100.80W	31	4.3	Costa de Guerrero
080302	09:31:04	17.83N	101.16W	20	3.8	Costa de Guerrero
080302	14:21:32	16.14N	97.25W	16	3.6	Oaxaca
090302	07:04:57	16.78N	99.70W	12	3.8	Costa de Guerrero
090302	04:29:26	15.60N	98.95W	10	4.1	Costa de Oaxaca
090302	04:32:00	19.87N	104.18W	33	3.7	Costa Jalisco-Colima
090302	03:31:10	16.18N	97.18W	13	3.7	Oaxaca
100302	14:39:07	16.49N	93.61W	164	4.1	Chiapas
100302	07:39:35	15.88N	99.07W	15	3.9	Costa de Guerrero
100302	18:25:10	16.97N	100.16W	9	3.6	Costa de Guerrero
100302	22:02:00	16.94N	100.18W	10	3.5	Costa de Guerrero
100302	06:16:22	17.26N	94.96W	137	4.1	Istmo de Tehuantepec
110302	08:28:47	16.56N	93.90W	143	4.0	Chiapas
110302	12:19:17	16.44N	99.31W	16	3.7	Costa de Guerrero
110302	15:06:03	17.74N	97.56W	65	3.7	Oaxaca
120302	14:28:40	16.96N	100.22W	5	3.6	Costa de Guerrero
120302	14:11:28	20.60N	106.57W	16	3.9	Costa Jalisco-Nayarit
130302	02:55:29	16.97N	100.23W	5	3.8	Costa de Guerrero
140302	18:15:00	16.19N	99.29W	16	3.8	Costa de Guerrero
140302	02:02:22	15.66N	95.48W	20	4.0	Golfo de Tehuantepec
150302	04:54:14	15.85N	93.45W	92	3.9	Costa de Chiapas
150302	12:57:25	16.94N	100.10W	5	4.1	Costa de Guerrero
150302	05:30:35	15.86N	94.13W	37	4.2	Golfo de Tehuantepec
150302	01:24:55	17.00N	100.13W	6	3.5	Guerrero
150302	07:34:13	16.92N	96.11W	70	3.6	Oaxaca
160302	13:02:55	18.60N	104.08W	16	4.6	Costa Colima
160302	18:15:16	15.24N	93.18W	15	3.9	Costa de Chiapas
160302	02:54:06	16.95N	100.19W	4	3.0	Costa de Guerrero
160302	00:32:12	17.99N	98.08W	70	3.5	Guerrero-Oaxaca
170302	01:56:36	14.69N	92.85W	49	4.4	Costa México-Guatemala
180302	02:49:42	16.99N	100.07W	9	3.9	Costa de Guerrero
180302	08:08:39	17.38N	101.52W	5	4.1	Costa de Guerrero
180302	18:04:37	16.44N	99.74W	5	4.1	Costa de Guerrero
180302	21:36:21	16.87N	100.15W	18	3.8	Costa de Guerrero
180302	12:56:16	17.88N	99.42W	78	3.7	Guerrero
180302	23:42:21	17.02N	100.58W	1	3.3	Guerrero
180302	20:03:16	16.13N	94.64W	16	4.0	Istmo de Tehuantepec
190302	01:51:59	15.85N	98.76W	20	3.9	Costa de Oaxaca
190302	22:55:48	17.02N	100.21W	5	3.1	Guerrero
190302	07:15:02	17.03N	94.03W	147	4.2	Istmo de Tehuantepec
200302	13:36:43	15.47N	93.65W	36	4.3	Costa de Chiapas
200302	12:41:44	16.85N	100.52W	5	4.1	Costa de Guerrero
200302	14:30:08	16.74N	99.67W	5	3.7	Costa de Guerrero
200302	11:36:39	17.17N	94.87W	136	3.8	Istmo de Tehuantepec
210302	12:33:30	15.98N	96.61W	61	4.2	Costa de Oaxaca
210302	04:19:50	18.44N	101.48W	53	4.1	Río Balsas Inferior
220302	12:56:50	18.39N	105.64W	10	4.2	Costa Colima
220302	14:33:51	18.34N	105.64W	16	4.3	Costa Colima
230302	19:31:42	15.49N	93.31W	114	4.0	Costa de Chiapas
230302	02:32:56	17.06N	100.01W	12	3.4	Guerrero
240302	18:54:12	15.94N	96.88W	41	4.1	Costa de Oaxaca
250302	07:39:54	17.08N	101.23W	28	4.3	Costa de Guerrero
250302	20:58:49	15.54N	97.44W	16	3.8	Costa de Oaxaca
250302	22:44:26	17.23N	99.14W	13	4.3	Guerrero
250302	03:31:24	17.01N	98.98W	13	4.1	Guerrero-Oaxaca
260302	07:08:46	16.54N	94.10W	126	4.2	Istmo de Tehuantepec
260302	07:59:23	16.21N	97.89W	3	4.2	Oaxaca
270302	10:06:38	17.11N	100.48W	42	3.6	Guerrero
280302	10:38:40	14.55N	91.03W	180	4.6	Guatemala
280302	07:28:55	17.17N	94.17W	165	4.1	Istmo de Tehuantepec
290302	21:45:50	15.50N	92.80W	120	3.9	Costa de Chiapas
290302	23:40:46	16.91N	100.14W	10	3.9	Costa de Guerrero
290302	00:45:20	15.70N	94.03W	16	4.1	Golfo de Tehuantepec
290302	09:56:49	15.06N	94.23W	38	4.1	Golfo de Tehuantepec
290302	14:57:14	16.75N	94.40W	120	4.0	Istmo de Tehuantepec
290302	15:32:54	16.12N	97.52W	16	3.9	Oaxaca
300302	23:50:42	20.03N	105.33W	5	4.0	Costa Jalisco-Nayarit
300302	10:34:50	14.46N	93.08W	24	4.6	Golfo de Tehuantepec
310302	17:09:53	14.04N	93.00W	20	5.5	Costa de Chiapas
310302	14:13:23	17.34N	101.46W	5	3.8	Costa de Guerrero
310302	18:55:28	15.77N	98.72W	10	4.0	Costa de Oaxaca
310302	19:44:55	15.83N	98.85W	10	3.9	Costa de Oaxaca
310302	16:10:59	16.72N	98.90W	4	4.1	Costa de Guerrero-Oaxaca

LA SEXTA OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA: ¿AL CEREBRO LE DA HAMBRE?

Enrique Gómez Treviño

Correo electrónico: egomez@cicese.mx.

CICESE, Ensenada, Baja California, 22860, México

Trasladémonos a los terrenos de la especulación y la analogía, en donde todo se resuelve satisfactoriamente o termina por contradecirse hasta en los aspectos más elementales. ¿Al cerebro le da hambre? Indudablemente el cerebro se alimenta. Diariamente recibe su dosis de moléculas grandes y pequeñas a través del torrente sanguíneo como todos los demás órganos de nuestro cuerpo. También recibe incesantemente estímulos e impresiones del mundo exterior, de nuestro propio cuerpo e incluso de sí mismo, que vienen a ser los alimentos que necesita para su buen funcionamiento. Ideas, sueños, deseos, frustraciones, problemas, dudas, preguntas, etc. serían parte del menú de nuestro cerebro, entes todos tan necesarios como las sustancias que a diario le llegan por la vía sanguínea.

Si las preguntas son alimento, alimentémonos preguntando si el cerebro realmente necesita hacerse preguntas para subsistir. De ser así las cosas, tendría que existir una facultad que garantizara el abastecimiento de preguntas; si éstas no se presentan por sí solas, habría que buscarlas, y para buscarlas habría que sentir primero la necesidad de buscarlas. Para subsistir se requeriría entonces de una facultad análoga a la de sentir hambre, de tal forma que uno se sintiera impulsado a buscar alimentos aunque no se tuviera conciencia de su importancia. Esta facultad provocaría en el cerebro la necesidad de buscarse su alimento: preguntas y más preguntas, y todo esto sin tener que estar consciente de que lo que busca es su propio alimento. ¿Tendrá en realidad el cerebro esta facultad? Sin riesgo alguno de equivocarnos, ya que estamos simplemente especulando, podemos afirmar categóricamente que sí la tiene, y que no se trata de otra cosa sino de lo que llamamos curiosidad. Curiosidad consciente o inconsciente, para el caso da lo mismo.

Indudablemente la facultad de sentir hambre es innata en nosotros, de donde se deduce según nuestra brillante analogía que el sentir curiosidad también lo es. Ahora bien, existen muchas formas de estimular el hambre, o para decirlo con propiedad, de abrir el apetito. De aquí se deduce que deberían también de existir muchas formas de estimular la curiosidad. Tal vez exista, incluso, un paralelo entre todas y cada una de las formas de abrir el apetito y las de estimular la curiosidad. Sería muy provechoso explorar la analogía sobre este último aspecto, pues podría muy bien llevarnos a conceptos pedagógicos más efectivos que los que se utilizan actualmente en el sistema educativo. No haremos nada de esto en la presente nota por temor a provocar una revolución educativa de incalculables consecuencias.

Nos limitaremos aquí a señalar que existen estimulantes que, como el *hemostyl*, están formulados para hacer comer al niño más chiqueado y remilgoso de la casa. También está la *emulsión scott* y otros brebajes parecidos que las mamás adoran y que los niños aborrecen. Lo interesante de señalar aquí es que los recuerdos que se guardan sobre los mencionados estimulantes son por lo general desagradables. Siguiendo con nuestra analogía y aplicándola a las olimpiadas estudiantiles: ¿Estaremos estimulando artificialmente la curiosidad sobre las Ciencias de la Tierra? Es obvio que se trata de un estímulo y, aunque no es tan obvio, se trata en realidad de uno bastante artificial. Y sobre los recuerdos, ¿Quedarán recuerdos agradables? Esperamos que así sea. “*Este es el programa de olimpiadas que más nos gusta de todos a los que hemos asistido*”, nos expresó uno de los participantes en el último evento. ¿Será que las Ciencias de la Tierra tienen mejor sabor?

PORMENORES DE LA SEXTA OLIMPIADA

Los alumnos Natalie Millán Aguiñaga, Ángel Castro Castro, ambos del plantel Ensenada del Colegio de Bachilleres (COBACH), así como Santiago Adán Cota Vargas, alumno del plantel Rosarito del COBACH, resultaron ganadores del primero, segundo y tercer lugar, respectivamente, en la sexta edición de la Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra, organizada el sábado 25 de noviembre del 2000 por la Unión Geofísica Mexicana (UGM) y el CICESE.

Esta vez se recibieron un total de 72 participantes, 40 mujeres y 32 hombres, provenientes de diversas escuelas preparatorias de Mexicali, San Felipe, Tijuana, Rosarito y Ensenada. Se contó con la participación de alumnos de diferentes planteles del COBACH, Cet del Mar, Centro de Estudios Universitarios Xochicalco y Colegio Ensenada, entre otras preparatorias.

La participación de alumnos se ha venido estabilizando a alrededor de 70 concursantes, un número que resulta muy manejable respecto a la comida que se les ofrece y al recorrido por las instalaciones del CICESE.

Como en años anteriores, el objetivo primordial del certamen, más que motivar a los jóvenes participantes a estudiar una carrera relacionada con las Ciencias de la Tierra, se ha extendido y es más ambicioso.

Se pretende que las Ciencias de la Tierra formen parte de la cultura general de cada uno de los habitantes de nuestro país. Por lo pronto tenemos que por alrededor de dos semanas al año, muchos jóvenes de Baja California están de cierta manera en contacto con materias básicas como física, química, matemáticas y biología, enfocadas directamente a entender mejor el funcionamiento de nuestro planeta. De hecho todas estas ciencias nacieron así, no en forma aislada y como disciplinas abstractas, sino en forma sintética como filosofía natural, cuyo fin último era comprender nuestro entorno en todos sus aspectos. Incluso la geo-metría nació así.

Seguimos pensando que en pocos años podríamos estar organizando olimpiadas nacionales en esta área, pues relativamente no se requiere de muchos recursos para su realización y sí, en cambio, se puede avanzar mucho en lograr que los jóvenes se relacionen con estos temas. Tenemos a la fecha alrededor de 500 preguntas que podrían usarse como base para los cuestionarios de año con año. Sin embargo, nos parece que nos faltan preguntas sobre cuestiones regionales de los diferentes estados del país.

30 DE LAS 150 PREGUNTAS DEL EXAMEN DE LA SEXTA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

UGM – CICESE. ENSENADA, B.C. A 25 DE
NOVIEMBRE DEL 2000

EXAMEN

- 1.- Todos *sabemos*, aunque a casi nadie le consta, que la Tierra es redonda. La Tierra es simplemente demasiado grande para poder apreciar su curvatura. No es por nada que a la humanidad le tomó muchos miles de años de observaciones y viajes para darse cuenta que el lugar en que vivimos se parece bastante a una esfera. El pleno convencimiento en los círculos educados europeos no vino sino hasta el siglo
 - a) VIII
 - b) XIII
 - c) XV
 - d) XVIII
- 2.- Muchos de los métodos que utiliza actualmente la ciencia fueron ideados por los antiguos griegos. Entre otras cosas, utilizaban modelos geométricos y todo lo que sabían sobre ellos para profundizar sus conocimientos de la naturaleza. Por ejemplo, si por alguna razón sospechaban que la Tierra era una enorme esfera cuyo radio era imposible de medir directamente, se ponían a revisar lo que sabían sobre la esfera, particularmente las fórmulas para calcular su radio a partir de otras cantidades. Seleccionaban la fórmula que tuviese cantidades susceptibles de ser medidas sobre la superficie y procedían entonces a realizar las mediciones re-

queridas. Esto es, utilizaban modelos matemáticos para guiarse en sus observaciones. De esta manera Eratóstenes estimó el radio de la Tierra, la inclinación de la Eclíptica y las distancias al Sol y a la Luna. ¿Cómo le hizo y qué fórmulas utilizó?. Por diferentes razones históricas sus trabajos no trascendieron. Eratóstenes realizó sus trabajos antes de Cristo en el siglo

- a) I
 - b) II
 - c) III
 - d) IV
- 3.- El modelo funcional más simple que tenemos actualmente para la Tierra es el de una esfera que gira uniformemente alrededor de un eje que pasa por su centro. Si la esfera es rígida, como de hecho lo es la Tierra exceptuando la atmósfera y los océanos, todas sus partes giran con la misma velocidad angular. Esto es, todos sus puntos recorren el mismo ángulo por unidad de tiempo. La velocidad angular de la Tierra es de
 - a) 45 grados/h
 - b) 360 grados/h
 - c) 36 grados/h
 - d) 15 grados/h
- 4.- Si bien todos los puntos de la Tierra describen el mismo ángulo por unidad de tiempo, no recorren en cambio la misma distancia lineal. Por ejemplo, los puntos en el ecuador recorren en 24 horas una circunferencia mayor que los puntos que se encuentran en el interior de la Tierra, en el mismo plano del ecuador pero a una distancia menor al eje de giro. Lo mismo pasa con otros puntos sobre la superficie. A medida que nos acercamos a los polos, las circunferencias que se describen son cada vez más pequeñas. Y sin embargo todas se completan en 24 horas. La velocidad lineal o tangencial tiene su máximo en el ecuador y disminuye a cero en los polos. La regla, receta o fórmula para la velocidad lineal v en función de la latitud θ la puedes derivar fácilmente tú mismo sin consultar libro alguno (la latitud del ecuador es cero y la de los polos es 90 grados). La velocidad $v(\theta)$ en km/h es igual a
 - a) $1700 \cos \theta$
 - b) $360 \cos \theta$
 - c) $6370 \sin \theta$
 - d) $24 \sin \theta$
- 5.- Determinar experimentalmente cuánto mide la circunferencia de una rueda de bicicleta tomando su radio como unidad de medida. Hacer lo mismo con un plato, un vaso y una moneda. No utilicen reglas ni cintas de medir. Utilicen un hilo delgado como los de coser para darle vuelta al círculo, luego determinen cuantas veces cabe el radio del círculo en el hilo que necesitaron para cubrir la circunferencia. En caso de que requieran fracciones doblen cuantas veces necesiten un hilo de la longitud del radio. Antes de realizar las

mediciones hagan mentalmente una estimación para cada circunferencia (si ya saben la respuesta, pretendan que no la saben). Haciendo las mediciones con suficiente cuidado, encontrarán que en todos los casos las circunferencias miden aproximadamente lo mismo cuando se utilizan sus respectivos radios como unidad de medida. Reflexionando un poco, o más bien después de mucho pensarlo, verán como evidente una de las verdades más simples, útiles y profundas que ha descubierto la humanidad: Que las circunferencias de todos los círculos miden lo mismo cuando se miden con sus respectivos radios. Además, pasarán a la historia por haber resuelto a su manera uno de problemas más fascinantes de la historia, al que se han dedicado incontables matemáticos en los últimos 4,000 años. Si hicieron sus mediciones con suficiente cuidado su resultado se acercará a

- a) 3.1
- b) 5.0
- c) 6.3
- d) 4.0

6.- En ciudades calurosas como Mexicali, Hermosillo, Monclova o Monterrey, los rayos del Sol inciden verticalmente en los meses de verano.

- a) cierto
- b) solo en años de El Niño
- c) falso
- d) solo en verano

7.- Si vives en Mexicali y deseas que por tu ventana no entren directamente los rayos del Sol, independientemente de la estación, la ventana deberá estar orientada hacia

- a) el Norte
- b) el Sur
- c) el Este
- d) es imposible escaparse del Sol

8.- Si vives en la Ciudad de México y deseas que por tu ventana no entren directamente los rayos del Sol, independientemente de la estación, la ventana deberá estar orientada hacia

- a) el Norte
- b) el Sur
- c) el Este
- d) es imposible escaparse del Sol

9.- Tienes la opción de escoger entre dos terrenos, uno con el frente hacia el Norte y otro con el frente hacia el Sur. Deseas que el frente de tu casa reciba la mayor cantidad de luz solar directa durante todo el año, pues el terreno está en la ciudad de Ensenada y no te gustaría que el frente de tu casa fuera demasiado húmedo. Escoges el que tiene frente hacia el

- a) Norte
- b) Sur
- c) no importa
- d) es imposible

10.- El aire contiene aerosoles, pequeñas partículas de polvo, humo, polen y sal que sirven como núcleos para que se formen pequeños gotas de agua a su alrededor, ayudando de esta forma a la formación de las nubes. Las partículas son lo suficientemente pequeñas para flotar continuamente en el aire. Su número es de alrededor de un millón de partículas por litro de aire sobre los océanos y sobre la tierra su densidad es cinco o seis veces mayor. La mayor parte de las partículas es de origen natural y siempre han formado parte en la formación de las nubes. Sin su ayuda se requeriría de 700 % de humedad relativa para dar inicio al proceso de condensación. El papel que juegan los aerosoles es por lo tanto de extrema importancia. Una de las técnicas de sembrado de lluvia consiste en estimular la formación de gotas grandes mediante el rociado con partículas higroscópicas un poco más grandes que los naturales. La técnica está siendo probada en Sudáfrica y Francia, así como en México en donde se ha realizado un estudio de 4 años con resultados bastante alentadores en el área de Monclova. En esta técnica se rocía principalmente

- a) yoduro de plata
- b) agua pesada
- c) sal común
- d) polvo de arcilla

11.- En los últimos años se han construido para usos meteorológicos sistemas de radar que utilizan el efecto Doppler. Con ellos no solo se puede localizar una tormenta, sino que además se puede saber la dirección en que se mueve, e incluso la dirección en que se mueven sus diferentes partes. Con estos radares es posible inspeccionar el interior de las nubes y detectar movimientos verticales como los que sostienen y crean el granizo. En realidad el efecto Doppler se conoce desde hace mucho tiempo, pero su aplicación a radares meteorológicos es muy reciente. El efecto se manifiesta en todo tipo de fenómenos ondulatorios como el sonido y la luz, por lo que sus aplicaciones son muy variadas, siendo una de las más espectaculares el reconocimiento de que el universo está en expansión. El efecto Doppler se manifiesta como un cambio en las características de las ondas cuando la fuente o el reflector están en movimiento. Lo que cambia es la/el

- a) velocidad
- b) tiempo de viaje
- c) longitud de onda
- d) intensidad

12.- Para ubicar un objeto con respecto a nosotros mismos es necesario determinar su dirección y la distancia a la que se encuentra. Estimar la dirección es relativamente fácil, basta con girar la cabeza en la dirección del objeto. Por otro

lado, estimar la distancia es un proceso más complicado. Traten de tocar con el dedo índice el pico de una botella colocada sobre una mesa, primero cerrando el ojo derecho, luego inténtelo cerrando el ojo izquierdo, o viceversa. Luego hagan lo mismo con los dos ojos abiertos. Coloquen la botella a una distancia de su cabeza de alrededor de medio metro. Si no disponen de una botella utilicen una pluma o un lápiz colocados verticalmente. Con este experimento se darán cuenta que para medir distancias nuestro cerebro utiliza

- a) un triángulo
- b) el tamaño aparente de los objetos
- c) el efecto Doppler
- d) los objetos aledaños

13.- Calcular el ángulo que forman dos líneas imaginarias que salen de un sólo punto y que llegan cada una a uno de los ojos, suponiendo que el punto se encuentra a 50 cm de la cabeza. El ángulo en grados tiene un valor de

- a) 4
- b) 8
- c) 12
- d) 16

14.- Calcular el ángulo que forman dos líneas imaginarias que salen de un sólo punto y que llegan cada una a uno de los ojos, suponiendo que el punto se encuentra a 130 m de la cabeza. El ángulo en grados tiene un valor de

- a) 0.015
- b) 0.03
- c) 0.045
- d) 0.060

15.- La Luna se encuentra a una distancia muy considerable de la Tierra. Esta distancia es tal que el ángulo que forman dos rectas desde un punto de la Luna a cada uno de nuestros ojos es extremadamente pequeño, de tal manera que estimar su distancia a simple vista es prácticamente imposible. Sin embargo, los antiguos griegos se las ingeniaron para medir esta distancia mucho antes de la invención del telescopio. Por un lado diseñaron procedimientos sencillos para medir ángulos muy pequeños y, por el otro, se les ocurrió lo equivalente a aumentar la separación entre los ojos, mediante la observación desde dos puntos lo suficientemente separados para que el ángulo de paralaje fuera lo suficientemente grande para ser medido. Para que este ángulo sea igual al que se obtiene a simple vista con objetos a 135 m de distancia, la separación entre dos observadores tendría que ser de

- a) 200 km
- b) 300 km
- c) 400 km
- d) 800 km

16.- Imagínate que vives en los tiempos del renacimiento y que sabes de los últimos descubrimientos científicos. Y no sólo estás bien informado, eres vecino y amigo de Galileo, quien te tiene al tanto de todo lo que hace e incluso te ha invitado a presenciar sus experimentos y a compartir sus observaciones a través del telescopio, su invento más reciente. Tal vez no lo recuerdes, pero fuiste tú quien le sugirió a Galileo que los puntos luminosos a cada lado de Júpiter no podía ser otra cosa que lunas o satélites. Lo que tú y Galileo realmente observaron eran puntos luminosos a cada lado de Júpiter. En ese tiempo nadie había visto satélites lejanos a través de un telescopio. Al igual que ahora era necesario descifrar o interpretar las imágenes. Recuerda esa noche en que se asombraron porque uno de los puntos luminosos a la derecha de Júpiter había desaparecido. La noche anterior habían contado los puntos muy bien y definitivamente faltaba uno. Recuerda también que la noche siguiente apareció un punto nuevo a la izquierda. Galileo estaba muy preocupado porque eso significaba que en el cielo las cosas aparecían y desaparecían espontáneamente. Al día siguiente mientras observabas a un grupo de niños correr alrededor de tu casa de campo, se te ocurrió que la aparición y desaparición de los puntos luminosos se debía a que eran objetos girando alrededor de Júpiter, y que aparecían y desaparecían al igual que los niños al correr alrededor de tu casa. Se lo dijiste a Galileo y él lo anotó en su diario. ¿Cuántos satélites de Júpiter descubrió Galileo?

- a) 4
- b) 5
- c) 6
- d) 7

17.- A Aristóteles no le interesaba conocer la forma en que los objetos caen en el vacío, tal vez porque a través de observaciones de otra índole había determinado que la naturaleza aborrece el vacío. Lo que le interesaba era conocer cómo caen en las condiciones naturales. En el caso de objetos de poco peso Aristóteles experimentaba directamente en el aire. Sin embargo, debido a que el aire era demasiado fino para afectar a objetos pesados, realizaba experimentos en medios más densos como el agua. Su conclusión general fue que después de un corto periodo de aceleración, la velocidad no aumenta más por lo que caen a velocidad constante. Esta velocidad depende de la forma y peso de los objetos. Aristóteles encontró que objetos de igual forma y tamaño pero de diferente peso el que cae a mayor velocidad es el más pesado. Ahora se sabe que esto es

- a) cierto
- b) falso
- c) cierto con correcciones
- d) falso con correcciones

- 18.- Lo que Aristóteles determinó hace casi dos mil años se conoce ahora como velocidad terminal. La velocidad terminal de una persona de peso promedio que se lanza desde un avión a gran altura es de
- 30 km/h
 - 60 km/h
 - 90 km/h
 - 180 km/h
- 19.- Explicar todo lo que se sabe sobre algún aspecto de la realidad no se considera suficiente para demostrar la validez de un modelo o una teoría. Los científicos son muy rigurosos sobre este aspecto; exigen que un modelo o teoría, además de explicar todo lo que ya se conoce, prediga algún efecto desconocido que pueda ser corroborado en la práctica mediante mediciones. Se trata de una actitud un tanto macabra, pues le exige a la teoría que prediga su propia muerte si las cosas no salen bien. Sin embargo, si las cosas salen bien la teoría se fortalece y puede con mayor confianza seguir realizando predicciones, hasta que un día se equivoca y debe ser reemplazada por otra. De esta manera los científicos ponen a prueba sus propias teorías y las de otros por puro deporte, propiciando que se genere conocimiento que sería muy difícil de conseguir de otra manera. La ley de la gravitación universal superó con elegancia innumerables pruebas de este tipo. Una de ellas era la predicción de que la Tierra debería estar achatada por los polos, según se deducía del efecto combinado de la gravedad y la rotación. La teoría rival, la de los remolinos, predecía lo contrario. Había por lo tanto mucho interés en las mediciones que realizarían expediciones enviadas al ecuador y a los polos. A su retorno compararon sus mediciones y resultó que el radio ecuatorial era mayor al polar en un porcentaje de
- 0.34
 - 0.43
 - 1.3
 - 3.1
- 20.- El valor que generalmente se utiliza para la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra es de 9.8 m/s^2 . Este número con dos cifras significativas es lo suficientemente exacto para muchos propósitos prácticos. Sin embargo, el valor real de la gravedad varía de punto a punto sobre la superficie de la Tierra. Actualmente se cuenta con instrumentos llamados gravímetros que pueden medir diferencias de la gravedad hasta la octava cifra después del punto decimal. Con uno de estos instrumentos se puede fácilmente medir la diferencia de la gravedad entre dos puntos que difieren en un metro de altura. ¿En qué cifra después del punto decimal se muestra esta diferencia?
- quinta
 - sexta
 - séptima
 - octava
- 21.- Alrededor del mundo se han realizado millones de mediciones de la gravedad, exactas por lo menos hasta la sexta cifra decimal. Estas mediciones, realizadas la mayor parte de ellas en las últimas décadas, cubren tanto los continentes como el mar con separaciones de unos pocos kilómetros. Estas mediciones generalmente se presentan en la forma de mapas en los que se puede apreciar máximos y mínimos. Estos máximos y mínimos se deben a deficiencias o excesos de masa que ocurren bajo la superficie de la Tierra. Las deficiencias generalmente se deben a la presencia de rocas que son menos densas que el promedio, y los excesos a la presencia de rocas que son más densas que el promedio. El mapa gravimétrico de México se puede consultar en internet. En este mapa se pueden apreciar muchos rasgos que pueden dar información sobre la densidad de las rocas que se encuentran ocultas a profundidad. Por ejemplo, el ya famoso cráter de Chicxulub ocasionado por un gigantesco meteorito que cayó a la Tierra hace 65 millones de años, está totalmente cubierto por sedimentos, por lo que no puede ser apreciado ni desde un avión ni por medio de fotografías de satélite. El cráter está completamente oculto. Sin embargo, el efecto del cráter se puede apreciar muy bien en el mapa gravimétrico de México alrededor de la Cd. de Mérida, Yucatán. En esta área la gravedad muestra un
- máximo
 - mínimo
 - no muestra nada
 - cero
- 22.- En la mañana del 8 de octubre de 1909, cerca del pueblo de Zagreb, en Croacia, tuvo lugar uno de los terremotos más importantes para la sismología. La importancia de este sismo no radica en los daños que causó, ya que su magnitud fue relativamente pequeña, sino en que todos los sismólogos, menos uno, lo confundieron por dos sismos. Los sismogramas que se registraron en diversas ciudades de Europa mostraban dos paquetes de ondas, cada una característico de un temblor individual, por lo que todos los sismólogos, menos uno, interpretaron los sismogramas como debidos a dos sismos ocurridos uno inmediatamente después del otro. Ese uno era precisamente el director del observatorio meteorológico de Zagreb, quien se dio a la tarea de estudiar los registros del temblor obtenidos en diversas ciudades, cercanas y lejanas. La historia de los dos sismos casi simultáneos no explicaba la forma en que se separaban los paquetes de ondas al alejarse del lugar del sismo. Esta persona propuso que se trataba de un solo sismo, y que el otro paquete de ondas se debía a que parte de la energía se estaba desviando hacia alguna zona de alta velocidad, llegando primero a algunos sismógrafos que la onda directa a la que todos estaban acostumbrados. Realizó algunos cálculos y determinó que la velocidad de las ondas directas era de 6 km/s , algo que ya todos sabían. Realizó unos cálculos más y obtuvo una velocidad de 8 km/s para las ondas más rápidas. El modelo físico que uti-

lizó corresponde a una corteza de 50 km de espesor que descansa sobre el manto donde la velocidad de las ondas sísmicas es mayor. Aunque el valor de 50 km para el espesor de la corteza es un poco mayor que el actualmente aceptado, su descubrimiento de la discontinuidad que separa la corteza del manto, marcó el inicio del estudio del interior de la Tierra mediante las ondas generadas por los terremotos. ¿Cuál era el apellido de esta persona?

- a) Conrad
- b) Gutenberg
- c) Richter
- d) Mohorovici

23.- El estado de Baja California es, en promedio, 1000 m más alto que el de Baja California Sur. Sabemos también que la densidad promedio de las rocas en ambos estados es más o menos la misma. Esto implica que definitivamente la parte norte pesa más por cada km cuadrado de superficie que la parte sur. Esto a su vez implica que Baja California se hunde más en el manto que Baja California Sur. Suponiendo que la densidad de la península es uniforme (2.8 gr/cm³) y que la densidad del manto es de 3.3 gr/cm³, calcular el exceso de hundimiento de la parte norte con respecto a la parte sur. La fórmula para calcular el hundimiento se puede obtener en la misma forma que la referente al hundimiento del hielo en el agua. El exceso de hundimiento es de

- a) 1.6 km
- b) 2.6 km
- c) 4.6 km
- d) 5.6 km

24.- Si una montaña de 1000 m de altura se erosiona completamente la montaña no desaparece. Esto se debe al mismo fenómeno de flotación que hace que el hielo vuelva a aparecer sobre la superficie del agua. En el caso de la montaña la recuperación es posible debido a la reserva de material que existe como raíz de la montaña misma. Si se ha erosionado la montaña de 1000 m de altura la nueva montaña tendrá una altura de

- a) 1000 m
- b) 850 m
- c) 600 m
- d) 500 m

25.- Si la erosión prosigue con su trabajo la montaña terminará por desaparecer, no en el tiempo que toma en erosionar a la montaña misma sino mucho tiempo después. Si la montaña tiene una altura de 1000 m y la erosión es de 1 mm por año, no habrá montaña después de varios millones de años. ¿Cuántos?

- a) uno
- b) 3.6
- c) 5.6
- d) 6.6

26.- Suponiendo una velocidad promedio de 10 km/h, los vientos prevalecientes en las regiones ecuatoriales tarde o temprano regresan al mismo lugar después de darle la vuelta a la Tierra. El tiempo que les toma en darle una vuelta a la tierra a esa latitud es de

- a) un año y medio
- b) un mes y medio
- c) seis años
- d) seis meses

27.- La velocidad de las ondas sísmicas de compresión en la corteza terrestre es de alrededor de 7 km/s. Estas ondas se pueden propagar por la superficie desde un sismo en un lado de la Tierra hasta un punto diametralmente opuesto, a miles de km de distancia. ¿Cuál es este tiempo?

- a) 28 min
- b) 11 min
- c) 15 min
- d) 48 min

28.- Calcular el volumen de los continentes en kilómetros cúbicos. Considerar que los continentes ocupan el 30 % de la superficie de nuestro planeta y que los continentes tienen un grosor promedio de 40 km. El volumen es de

- a) 6×10^6
- b) 6×10^7
- c) 6×10^8
- d) 6×10^9

29.- Cuando utilizamos una brújula para orientarnos hay que tener en cuenta que el Norte que indica la brújula no es el Norte geográfico sino el Norte magnético. En los mapas y en los planos se acostumbra utilizar una flecha para indicar la dirección del Norte geográfico. Si se te pide que le pongas la flecha a un plano y solamente tienes una brújula para orientarte, tendrás que tomar en cuenta esta diferencia, la cual en el lenguaje técnico de los geofísicos se le conoce como *declinación magnética*. En Baja California la diferencia es de alrededor de 12 grados mientras que en Yucatán es de sólo 4 grados. En general, en todo México la *declinación magnética* tiene el mismo signo aunque varíe de magnitud de una región a otra. Esto significa que no importa en que parte de la República nos encontremos, siempre deberemos de corregir en el mismo sentido la dirección del Norte magnético para que corresponda al Norte geográfico. Una vez que sabemos la dirección del Norte magnético, el Norte geográfico estará a su

- a) izquierda
- b) derecha
- c) proa
- d) oriente

30.- En los últimos 100 años la intensidad del campo magnético de la Tierra ha estado disminuyendo continuamente, de tal manera que actualmente el campo promedio es un 5 % menor de lo que era hace un siglo. De continuar esta tendencia, suponiendo una disminución lineal, el campo desaparecería en

- a) 20 años
- b) 200 años
- c) 2000 años
- d) 20,000 años.

¿Cuántas y/o cuáles preguntas cree haber podido contestar? ¿Le parecieron interesantes? ¿Alimentaron su curiosidad?

Si le interesa saber cuántos aciertos tuvo, o si tiene algún comentario, siéntase libre de enviarme un correo electrónico a egomez@cicese.mx.

LA SÉPTIMA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA: EL PLACER DE DESCUBRIR

Enrique Gómez Treviño

Correo electrónico: egomez@cicese.mx

CICESE, Ensenada, Baja California, 22860, México

Si el cerebro humano posee la facultad de sentir curiosidad como el estómago la de sentir hambre: ¿Cuál vendría a ser el alimento del cerebro? Mencionábamos en la introducción al informe de la sexta olimpiada que según esta analogía, el alimento del cerebro tomaría la forma de preguntas, preguntas y más preguntas. Sin embargo, para respetar la analogía es necesario hacer algunas precisiones al respecto. Los alimentos que van al estómago hay que prepararlos, cocinarlos, masticarlos, tragarlos y digerirlos. Lo mismo las preguntas: hay que formularlas, reformularlas, separarlas en sus varias componentes, resolver las partes y asimilar la respuesta como nuevo conocimiento. De nada sirve comer si del alimento no se extrae el contenido energético o proteínico que requiere el organismo. Y de nada sirve preguntar si de la pregunta no se extrae conocimiento nuevo mediante el proceso correspondiente. ¿A qué se debe la prácticamente constante neblina de la costa noroeste de Baja California? ¿Y los vientos Santana, a qué se deben? ¿Y porqué la costa occidental de Baja California es fría y húmeda, y la oriental cálida y seca?

La pregunta es el principio de todo. Pero hay que respetar el proceso para llegar a obtener lo que realmente queremos: la respuesta. Mejor dicho: hay que disfrutar el proceso para obtener lo que realmente queremos. Y aquí la analogía vuelve a ayudarnos. No solamente comemos porque necesitemos proteínas y energía; también comemos para calmar el hambre: ¿Resolvemos problemas para calmar la curiosidad? También comemos por el puro placer de hacerlo: ¿Resolvemos problemas por el puro placer de hacerlo? Es indudable que sí. ¿Es este placer producto de un reflejo condicionado, o se trata de un reflejo innato? Tal vez sea innato y se refuerza condicionándolo, al igual que con la comida. De cualquier forma que sea, lo interesante de señalar aquí es que es muy difícil, con un programa como el de las presente olimpiadas, llegar a transmitir el proceso completo de obtener nuevos conocimientos. Pero no hay que desanimarse. Esto no lo ha logrado ni el sistema educativo a través de años y años de escolaridad. Y es que no es fácil. Pero parece fácil: tomen la primera de las tres preguntas anotadas más arriba sobre el clima de Baja California. Supongan que no saben la respuesta; si no la saben, mejor. ¿Han observado la formación de neblina en situaciones cotidianas? Al abrir un congelador, por ejemplo, o simplemente lo que le pasa al aliento cuando hace mucho frío. ¿Podemos separar los diferentes factores que se requieren para que se produzca el fenómeno? ¿Conocemos lo suficiente de termodinámica para proponer una hipótesis bien sustentada? Una vez armados con la hipótesis comprobamos las condiciones atmosféricas y oceanográficas de la

región. ¿Se dan las mismas condiciones que en nuestra neblina doméstica? Si todo sale bien, acabamos de dar una explicación científica a un fenómeno natural de nuestro entorno. Pasar por todo el proceso de responder a la pregunta indudablemente causa placer, a condición de que la pregunta provenga o haya sido aceptada por la curiosidad. La curiosidad provoca expectación a cada paso. Si no hay curiosidad por lo que se busca no habrá asombro por lo encontrado, no se disfrutará el camino y mucho menos la llegada. Podemos concluir diciendo que nuestro problema sigue siendo el mismo de siempre: despertar la curiosidad. ¿Existe algún método seguro, efectivo, garantizado para estimular la curiosidad? La serpiente en la historia bíblica algo le dijo a Eva, y Eva sintió curiosidad. ¿Qué le dijo?

PORMENORES DE LA SÉPTIMA OLIMPIADA

Con un número de participantes sin precedente, 110 en total, provenientes de Mexicali, Tijuana, Tecate, San Felipe, Rosarito y Ensenada, el sábado 24 de noviembre de 2001 se realizó la Séptima Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra, el concurso celebrado anualmente de manera conjunta por el CICESE y la Unión Geofísica Mexicana (UGM).

El auditorio del edificio de Oceanología fue ocupado casi en su totalidad por estos jóvenes que arribaron desde temprano al CICESE a bordo de varios camiones y unidades de sus planteles.

El total de inscripciones previas a la olimpiada no tuvo precedente: 186 en total. Sin embargo, no todos los inscritos pudieron venir.

Cerca de 30 alumnos del CET del Mar de Ensenada que realizaban un viaje de estudio en Bahía de los Ángeles no pudieron regresar a tiempo, pues su camión se descomposó en su viaje de regreso. Otros simplemente no acudieron a la cita. Sin embargo, los 110 que finalmente presentaron el examen constituyen todo un récord en estas olimpiadas.

Al final, los ganadores del primero, segundo y tercer lugar fueron Francisco Ignacio Amezcua Robles, del CETYS Ensenada, Alberto Aguiar Medina, del COBACH La Mesa, de Tijuana, y Edgar Rodrigo Romero Ayón, del COBACH plantel Rosarito; se hicieron acreedores a diplomas, constancias y a premios en efectivo por mil, 750 y 500 pesos, respectivamente.

Sus maestros también ganaron: María Julia Robles Quintero, Manuel Armando Gómez Piñón y Juan Cosme Alonso, quienes se llevaron, respectivamente, 500, 325 y 250 pesos.

La mayor participación fue de los planteles del Colegio de Bachilleres, ya que vinieron de Tijuana (La Mesa y Primer Ayuntamiento), de Tecate, Ensenada, San Felipe, Rosarito y Mexicali (planteles Nuevo León, Baja California, José M. Vasconcelos, Guadalupe Victoria, Miguel Hidalgo y Rubén Vizcaíno). Sin embargo, también participaron estudiantes del CETYS Ensenada, del CET del Mar No. 11 de Ensenada, del CBTIS 41 de Ensenada, del Colegio Ensenada y de la preparatoria de la Universidad Iberoamericana de Tijuana.

Cerca de las 12:00 horas, cuando finalizaron las dos etapas del certamen, todos los asistentes se dividieron en grupos y realizaron el tradicional recorrido por las instalaciones del CICESE. Primero visitaron el laboratorio de mecánica de fluidos del Departamento de Oceanografía Física, en donde el Dr. Oscar Velasco Fuentes mostró el funcionamiento y las aplicaciones de la mesa rotatoria donde se simula el comportamiento del océano bajo diferentes condiciones.

Posteriormente se trasladaron a la División de Ciencias de la Tierra. Investigadores y técnicos de los departamentos de Geología, Geofísica Aplicada y Sismología recibieron a grupos en sus laboratorios o bien, montaron mesas con muestras de rocas, minerales, equipos y experimentos para explicar su trabajo.

Muchos de los asistentes comentaron que el recorrido por las instalaciones fue lo más interesante de la jornada, ya que pudieron conocer de primera mano y en un lenguaje accesible, parte del trabajo que se realiza en este centro de investigación.

Antes de proceder con la premiación, cerca de las 14:00 horas, se organizó una comida en el estacionamiento de Oceanología que resultó muy amena. De nueva cuenta se rompió la marca establecida el año anterior del número de tacos consumidos por participante.

25 DE LAS 100 PREGUNTAS DEL EXAMEN DE LA SÉPTIMA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

UGM – CICESE. ENSENADA, B.C. A 24 DE NOVIEMBRE DE 2001

EXAMEN

1.- Las constantes neblinas en la costa oeste del estado de Baja California se deben a que

- a) El aire húmedo y frío del Océano Pacífico se calienta al entrar a tierra.

- b) El aire seco de las altas capas de la atmósfera llega al mar, se humedece y en el proceso se forma la neblina.
- c) El aire húmedo y cálido del Océano Pacífico Central se enfría al acercarse a la costa.
- d) El aire seco y cálido de la Península se humedece al llegar a las costas del Océano Pacífico.

2.- Dirección de donde proceden generalmente las lluvias de invierno en Baja California

- a) noreste
- b) noroeste
- c) sudeste
- d) sudoeste

3.- Dirección de donde proceden generalmente las lluvias de verano en Baja California

- a) noreste
- b) noroeste
- c) sudeste
- d) sudoeste

4.- El aire seco y caliente que invade al estado de Baja California varias veces al año y que se conoce como condición Santana se debe a

- a) aire que se calienta en algún desierto.
- b) aire que desciende de las montañas y que al descender se calienta.
- c) aire de las altas capas de la atmósfera que se calienta por estar mas cerca del Sol.
- d) Vientos que trasladan el aire de Mexicali hacia la costa.

5.- Estación del año en que se recibe la mayor cantidad de lluvia en Baja California

- a) primavera
- b) verano
- c) otoño
- d) invierno

6.- Nombre con el que se conoce en el sistema de clasificación de climas al clima de la parte occidental del estado de Baja California

- a) Desértico
- b) Costeño
- c) Mediterráneo
- d) Californiano

7.- Cuando las corrientes de marea entran al Mar de Cortés en su recorrido son afectadas por la fuerza de Coriolis, la cual hace que se desvíen hacia

- a) Sonora y Sinaloa
- b) La Península
- c) Afuera
- d) Adentro

- 8.- Cuando las corrientes de marea salen al Mar de Cortés en su recorrido son afectadas por la fuerza de Coriolis, la cual hace que se desvíen hacia
- Sonora y Sinaloa
 - La Península
 - Afuera
 - Adentro
- 9.- Calcular la cantidad total de sal que hay en el océano. Considere que el océano cubre el 70 % de la superficie de la Tierra, que tiene una profundidad media de 3.8 km, que el radio de la Tierra mide 6370 km y que el 3.5 % de la masa del océano corresponde a la sal. La cantidad de sal en el mar es de
- 5×10^{19} kg
 - 5×10^{18} kg
 - 5×10^{17} kg
 - 5×10^{16} kg
- 10.- A pesar de que el océano recibe tres mil millones de toneladas de sal anualmente, esta cantidad es pequeña comparada con la cantidad total acumulada que tienen actualmente los mares de la Tierra. Con la tasa actual de entrada de sal al mar: ¿Cuántos años se requerirían para que adquiriera la cantidad de sal que actualmente tiene?
- 16 millones de años
 - 1.6 millones de años
 - 160 mil años
 - 16 mil años
- 11.- La costa oriental del Estado de Baja California es más caliente y desértica que la costa occidental. En la primera llueve menos y el aire es más caliente que en la segunda. La causa principal de que esto sea así es
- que los vientos predominantes son de oeste a este
 - que no hay árboles en el desierto
 - que hay una sierra entre las dos regiones
 - que hay una sierra entre las dos regiones y que los vientos predominantes son de oeste a este
- 12.- Si bien los rayos por lo general duran menos de un segundo, el estruendo que hacen dura varios segundos. Esto se debe a que
- el aire expande el sonido, si en la fuente un sonido se produce en determinado tiempo, el aire por su naturaleza lo expandirá según el Efecto Doppler.
 - el sonido viaja a 330 m/s y la luz a 300,000 km/s. Necesariamente la duración de un sonido se expande dependiendo de la lejanía de su fuente.
 - el sonido no viene de un solo punto, sino de todo lo largo del rayo. Se oye primero la parte más cercana y después las más alejadas
 - la tierra retarda la transmisión del sonido porque las ondas acústicas se retrasan por fricción con el suelo.
- 13.- La temperatura mínima del mar para que se generen huracanes.
- 25°C
 - 27°C
 - 29°C
 - 31°C
- 14.- ¿Según los paleontólogos, cuál de los siguientes animales es el pariente más cercano de los dinosaurios?
- un pollo
 - un tiburón
 - un elefante
 - una ballena
- 15.- ¿En dónde sale primero el Sol, en Matamoros o en Tijuana?
- en Matamoros
 - sale al mismo tiempo
 - en Tijuana
 - depende de la estación
- 16.- En verano: ¿En dónde dura más la luz del día, en Tijuana o en Tapachula?
- en Tapachula
 - dura igual en las dos
 - depende del día
 - en Tijuana
- 17.- En invierno: ¿En dónde dura más la luz del día, en Tijuana o en Tapachula?
- en Tapachula
 - dura igual en las dos
 - depende del día
 - en Tijuana
- 18.- Consideren las dos siguientes situaciones: 1) un cuarto donde el aire está a una temperatura de 20 grados C y 2) la parte de afuera del cuarto donde la temperatura es de 30 grados C. La cantidad de vapor de agua contenida en el aire es la misma en ambos casos. ¿En qué parte, afuera o adentro, es mayor la humedad relativa?
- adentro
 - afuera
 - no tiene sentido la pregunta
 - es igual
- 19.- Muchas personas acostumbran limpiar sus lentes humedeciéndolos primero con el aliento. ¿Se puede hacer esto en el verano en Mexicali, a temperaturas mayores de 40 grados centígrados?
- sí
 - no
 - en realidad la humedad no se pone en los lentes
 - en realidad la temperatura del aire no importa

20.- Cuando hay Luna llena:

- a) la Luna sale al ponerse el Sol
- b) la Luna sale con el Sol
- c) la Luna está alta cuando se mete el Sol
- d) no hay relación con el Sol

21.- ¿En qué mes, al mediodía, proyectamos en Baja California la sombra más larga?

- a) marzo
- b) junio
- c) octubre
- d) diciembre

22.- Se requiere seleccionar el mejor sitio para un basurero. Una de las características que se buscan es que se infiltre en el subsuelo la menor cantidad de agua de lluvia posible, ya que esta agua al contaminarse con la basura se infiltraría en el subsuelo y podría contaminar a su vez el agua subterránea. Los materiales que se observan en la superficie de los cuatro sitios disponibles se indican a continuación. ¿Cuál de los cuatro es el más recomendable?

- a) arcillas
- b) arenas
- c) gravas
- d) roca fracturada

23.- ¿Cuál es la temperatura promedio de la Tierra?

- a) 0°C
- b) 5°C
- c) 10°C
- d) 15°C

24.- ¿Qué se calienta más rápido con los rayos del Sol, el suelo o el agua?

- a) iguales
- b) el suelo
- c) el agua
- d) depende de la presión

25.- ¿Qué se enfría más rápido en la noche, el suelo o el agua?

- a) iguales
- b) el agua
- c) el suelo
- d) depende de la hora

LA INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL SOBRE PALEOPEDOLOGÍA: UNA VISIÓN DESDE MÉXICO DURANTE EL “VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND FIELD WORKSHOP ON PALEOPEDOLOGY”

Jaime Urrutia-Fucugauchi¹, Elizabeth Solleiro-Rebolledo², Sergey Sedov² y Jorge Gama-Castro²

¹ Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM
Delegación Coyoacán, 04510, D.F., México

² Departamento de Edafología, Instituto de Geología, UNAM
Delegación Coyoacán, 04510, D.F., México

El VI Simposio Internacional sobre Paleopedología (VI International Symposium and Field Workshop on Paleopedology) se realizó en nuestro país entre el 6 y el 13 de octubre. El simposio forma parte de los eventos académicos regulares, de la Comisión de Paleopedología de la Asociación Internacional del Cuaternario (International Quaternary Association, INQUA). Durante los últimos 4 años, el Simposio de Paleosuelos se ha llevado a cabo ininterrumpidamente en Rauischholzhausen/Alemania (1997), Lanzhou/China (1998), Suzdal/Rusia (2000) y Texcoco/México (2001). En este último, el simposio fue apoyado por la Universidad Nacional Autónoma de México, la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS), el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, el Gobierno del Estado de Tlaxcala, el Programa Internacional de la Geosfera y Biosfera (International Geosphere and Biosphere Program, IGBP) a través del programa sobre Cambios Globales del Pasado (Past Global Changes, PAGES) e INQUA. Los líderes del evento fueron el Prof. Arnt Bronger, presidente de la Comisión de Paleopedología (INQUA), el Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi y la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, quienes fungieron como presidente y secretaria del Simposio, respectivamente.

Los estudios sobre los paleosuelos constituyen una de las componentes mayores de las investigaciones sobre los cambios tanto ambientales como climáticos, y sobre el desarrollo sustentable de la sociedad en un amplio intervalo de escalas espaciales y temporales.

El simposio fue inaugurado por el Gobernador del Estado de Tlaxcala Dr. Alfonso Sánchez Anaya. La ceremonia fue también presidida por funcionarios del Colegio de Postgraduados y de la UNAM, así como por el comité organizador del evento. El Simposio formó parte de los eventos académicos de la conmemoración del 450 aniversario de la Universidad Nacional.

Las sesiones técnicas se realizaron del 8 al 11 de octubre en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, y las sesiones de campo se realizaron antes, durante y después del simposio. En su intervención el Dr. Sánchez Anaya enfatizó la importancia de continuar e incrementar los estudios sobre los suelos en nuestro país y comentó sobre los numerosos problemas

relacionados al uso intensivo, erosión, desertificación, etc., que amenazan este recurso natural, indispensable para el desarrollo del país.

Los estudios sobre paleopedología son de carácter multi- e interdisciplinario, lo cual se reflejó en las ponencias y en la organización de las sesiones técnicas. Las sesiones abarcaron una variedad de temas, tales como:

Sesión 1. Secuencias de paleosuelos y sedimentarias (loess, aluviales, lacustres, volcánicas, etc.) como registros de cambios ambientales en el Pleistoceno y Holoceno. En esta sesión se presentaron trabajos sobre el uso de paleosuelos como herramientas de interpretación paleoambiental. En este campo destacan las contribuciones al entendimiento del cambio climático en las secuencias loess-paleosuelos del centro y este de Europa, así como de la región sudamericana. Recientemente, se han incorporado al estudio paleoambiental, las secuencias volcánicas y de paleosuelos. En este contexto destaca la participación de México, que cuenta con amplio registro de paleosuelos en las zonas volcánicas de la Faja Volcánica Transmexicana.

Sesión 2. Propiedades magnéticas de paleosuelos y sedimentos Cuaternarios y pre-Cuaternarios como indicadores paleoclimáticos. Este tema, aunque controvertido, ha derivado en estudios serios de las secuencias de paleosuelos. Los resultados analizados son interesantes en el sentido de que aportan información adicional que permiten una correlación de las secuencias, sobre todo en las zonas de paleosuelos derivados de materiales volcánicos.

Sesión 3. Paleopedología, arqueología y fechamiento de paleosuelos. Evidencias paleopedológicas de cambios ambientales inducidos por actividad humana. Paleopedología aplicada. En estas sesiones se presentaron interesantes trabajos sobre las evidencias de la actividad humana en tiempos pasados. Asimismo, se contó con interesantes contribuciones sobre la paleopedología aplicada en el campo de construcción de carreteras, movimientos de masa e inestabilidad de taludes.

Sesión 4. Biomorfos (polen, fitolitos, macro-restos) en paleosuelos. Investigaciones y problemas de interpretación. Apoyando a las investigaciones de paleosuelos, se encuentra el estudio de los macro-restos, el cual permite obtener información sobre la vegetación y, en consecuencia, sobre el clima de una región.

Sesión 5. Modelos poligenéticos de pedogénesis para el Cuaternario y pre-Cuaternario. Durante esta sesión se discutieron nuevos métodos de evaluación del intemperismo de los minerales primarios y modelos sobre procesos pedogenéticos en diferentes regiones.

Todas estas sesiones tuvieron un alto nivel académico y la discusión que se generó sobre los diferentes tópicos fue nutrida y propició a llegar a conclusiones importantes sobre las futuras líneas de investigación en paleosuelos. La interpretación paleoambiental es, sin duda, una de las principales aplicaciones, sin embargo, debe comprender cuestiones como la variabilidad espacial y temporal de los suelos, las limitaciones y posibilidades de las herramientas de interpretación (propiedades magnéticas, macro-restos, propiedades físicas y químicas, etc.), el uso de nuevas tecnologías, entre otras.

Durante las excursiones de campo, se tuvo una discusión amplia con los participantes, sobre la interpretación paleoclimática de las secuencias tefra-paleosuelos del centro de México. La primera excursión, llevada a cabo los días 6 y 7 de octubre, incluyó visitas a las secuencias de paleosuelos y depósitos volcanoclasticos en la región del Nevado de Toluca, iniciando con un recorrido desde el cráter del volcán (4632 m s.n.m) hacia las laderas del flanco norte. Durante este recorrido se observaron los suelos que actualmente se están desarrollando sobre los depósitos de pómez de la Pómez Toluca Superior (edad de 1,600 años A.P.) a altitudes entre 3800 y 4100 m. Los paleosuelos fueron observados, en dos secciones. Una localizada en el Arroyo la Cieruita, flanco norte y la segunda hacia el noreste, cerca del Zoológico de Zacango. En estas dos localidades se presenta una secuencia de 7 paleosuelos sepultados por material volcánico (PT1-PT7). El primer paleosuelo (PT1) fue originado durante el Pleistoceno Superior, en el periodo comprendido entre 24,000 y 11,000 años. Este paleosuelo difiere del resto de la secuencia, porque no presenta horizontes orgánicos de color negro, muy característico de los paleosuelos subyacentes. Los siguientes tres paleosuelos (PT2, PT3, PT4) poseen tales horizontes orgánicos, negros, propiedad que permite distinguirlos con mucha claridad en el campo, y trazarlos lateralmente sin mucha dificultad. Cada paleosuelo se encuentra separado, uno de otro, por materiales volcánicos, flujos de pómez, bloques y cenizas. PT2, PT3 y PT4 se formaron hace aproximadamente 29,000, 37,000 y 45,000 años (Sedov *et al.*, 2001). Los paleosuelos más antiguos, PT5-PT7, tienen características diferentes a la de los anteriores, son de color pardo y no cuentan con horizontes orgánicos, siendo muy ricos en arcilla. Entre cada paleosuelo, no es posible distinguir el material volcánico que les dio origen, con tanta facilidad como en los paleosuelos más jóvenes. La interpretación paleoambiental de

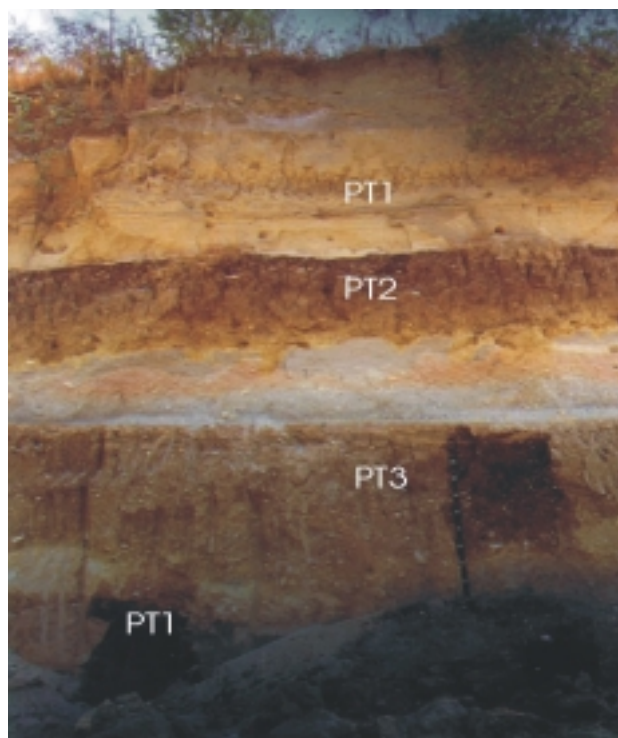


Foto 1. Paleosuelos del Nevado de Toluca en Zacango, en donde se aprecia la secuencia PT1-PT4 entre capas de materiales volcánicos.

la secuencia es que los suelos PT2-PT7 reflejan condiciones de climas húmedos, bajo ecosistemas forestales, principalmente, mientras que PT1 fue formado en condiciones ligeramente más secas, sin llegar a evidenciar climas áridos.

La excursión durante el simposio se concentró en la zona del ex-lago de Texcoco, dentro de la cuenca de México. En primer lugar se observó un perfil de suelo, desarrollado sobre sedimentos lacustres, los cuales se han mezclado con cenizas volcánicas que, al alterarse, han formado minerales muy especiales, de tal forma que el suelo posee también características particulares. La que más destaca es su extraordinaria capacidad de retención de agua de hasta 3.5 veces su peso (Oleschko *et al.*, 2000), a tal punto que el material adquiere una consistencia similar al jabón, de ahí el nombre que se le ha dado «jaboncillo». Después de ver este interesante perfil, la excursión concluyó con la visita a la zona arqueológica de Teotihuacan, en donde los participantes tuvieron la oportunidad de deleitarse con las muestras de esta cultura.

La excursión del 12 y 13 de octubre se concentró en los suelos modernos de la Sierra Nevada y las secuencias de paleosuelos de Tlaxcala. La región tiene una larga historia de asentamientos agrícolas, que se extiende a la fase Tzompantepec entre el 1600 y 1200 antes de Cristo y que incluye periodos de gran desarrollo con sistemas de irrigación y producción agrícola, como los ocurridos en las fases Texoloc (800 y 400/300 años antes de Cristo) y Tezoquipan (400/300 años antes de Cristo y 100 después de Cristo). Los suelos que se observaron en la Sierra Nevada, son producto de los procesos que actualmente inciden

en la zona, por lo que se denominan como suelos modernos. Por otro lado, también se visitaron dos secuencias de paleosuelos, expuestas en dos barrancas: la Barranca de Tlalpan y la Barranca del Mamut (San Tadeo Huiloapan). La primera de ellas comprende siete paleosuelos con un espesor total de más de 15 m, sepultados por un suelo moderno, del Holoceno, el cual posee restos de cerámica y artefactos prehispánicos. Los paleosuelos se han agrupado en tres unidades morfológicamente diferentes: la unidad gris, localizada debajo del suelo moderno, constituida por dos paleosuelos TX1 y TX2; la unidad parda, compuesta por tres paleosuelos TX3-TX5; y la unidad roja, con dos paleosuelos más, TX6 y TX7. Estas unidades comprenden un intervalo de edad de casi 100,000 años. Todos estos suelos se encuentran separados por materiales volcánicos parcialmente cementados, a los que se les ha denominado como tepetates. En la Barranca del Mamut, la secuencia no se encuentra tan desarrollada, comprendiendo solamente el suelo moderno y la unidad gris. Sin embargo, en esta unidad TX1 es más profunda. Al igual que en el caso del Nevado de Toluca, la interpretación paleoambiental de la secuencia es que los suelos reflejan condiciones de climas húmedos, bajo ecosistemas forestales, principalmente.

Esta última excursión culminó con una cena de despedida a los participantes, en donde pudieron disfrutar de la gastronomía tlaxcalteca y música mexicana.

En el Simposio participaron investigadores y estudiantes graduados de varios países y se presentaron y discutieron estudios de paleosuelos de Alemania, Argentina, Austria, Chile, Estados Unidos, Italia, Nicaragua, Reino Unido, Rusia, Suiza, Uruguay, Yugoslavia y México. Los resúmenes de las ponencias y las descripciones de las tres excursiones pueden ser consultadas en dos publicaciones del Simposio. Algunos de los estudios se publicaran posteriormente en un volumen especial editado como parte de las actividades del comité internacional de paleopedología.

REFERENCIAS

- Oleschko, K, Figueroa, S.B., Miranda, M.E. Vuelvas, M.A. and Solleiro-Rebolledo, E., 2000. Mass fractal dimensions and some selected physical properties of contrasting soils and sediments of Mexico. *Soil & Tillage Research*, 55: 43-61.
- Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E., Gama-Castro, J.E., Vallejo-Gómez, E. and González-Velázquez, A., 2001. Buried paleosols of Nevado de Toluca: an alternative record of Late Quaternary environmental change in central Mexico. *Journal of Quaternary Science* 16(4): 375-389.



Foto 2. Foto del grupo participante de la excursión a Tlaxcala (Barranca del Mamut), durante el último día del simposio.

ACTA DE LA ASAMBLEA GENERAL DE LA REUNIÓN ANUAL 2001 DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

El día 7 de noviembre, 2001, siendo las 16:30 horas, dio inicio la Asamblea General de la Unión Geofísica Mexicana (UGM) ante un foro inicial de 57 personas que aumentó a 72. El presidium estuvo formado por el Fernando García García, presidente, Juan García Abdeslem, vicepresidente, Jaime Urrutia Fucugauchi, secretario general, Luca Ferrari Pedraglio, tesorero, Luis A. Delgado Argote, secretario de difusión, Enrique Gómez Treviño, secretario de investigación, Gustavo Tolson Jones, secretario de educación y los delegados regionales, presentando el siguiente

ORDEN DEL DÍA

Bienvenida.

- I. Informe sobre la organización de la reunión anual 2001
- II. Informe del secretario de difusión
- III. Informe sobre olimpiadas de Ciencias de la Tierra.
- IV. Informe financiero parcial.
- V. Informe del secretario general
- VI. Mensaje del presidente
- VII. Premiaciones
 - a. Entrega de la Medalla Mariano Bárcena
 - b. Entrega del Premio Francisco Medina
- VIII. Elección de vicepresidente
- IX. Presentación de la nueva Mesa Directiva
- X. Asuntos generales.

I. ORGANIZACIÓN DE LA REUNIÓN ANUAL 2001

Luis A. Delgado A. presentó la forma en que se organizó la reunión en conjunto con la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial

(SELPER). La UGM fue responsable de la organización, mientras que SELPER apoyó contactando expositores comerciales. Por primera vez, el Hotel Sede dio facilidades para efectuar pagos con tarjeta de crédito a favor de la UGM. Este año, el costo para los expositores comerciales fue de aproximadamente 50% menos con respecto al de la II Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra del año anterior. La reunión anual 2001 registró la cifra récord de 519 participaciones sin contar a los participantes al taller Canadá-México sobre Aplicaciones de la Física de Medios Porosos.

II. INFORME DEL SECRETARIO DE DIFUSIÓN SOBRE GEOS

La aportación del CICESE para gastos de impresión y envío de ejemplares ascendió a \$240,000, con lo que la distribución gratuita de la revista, además de enviarse a las instituciones de educación superior (IES) nacionales, se extendió a bibliotecas de universidades extranjeras donde existen carreras relacionadas con las Ciencias de la Tierra. Hasta este momento GEOS llega a E.U.A., Alemania, Guatemala, Venezuela y a partir del 2002, llegará a Costa Rica, Colombia, Chile, Argentina, Uruguay y Cuba, en donde ya estamos en contacto con responsables de bibliotecas.

Por la falta de contribuciones a la revista, el comité editorial de GEOS y la mesa directiva de la UGM, decidieron editar 3 números por volumen anual de GEOS, de los que el último corresponderá a Resúmenes y Programa de la reunión anual.

Se informa que ha aumentado el número de artículos rechazados por los árbitros y que varios de los trabajos que son condicionados a que se les hagan correcciones no regresan para su publicación.

Con respecto a los envíos de GEOS, se informa que cada vez se regresan entre 5 y 10, presumiblemente por tener direcciones erróneas.

III. INFORME SOBRE OLIMPIADAS DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez informó sobre el desarrollo de las olimpiadas de Ciencias de la Tierra que se efectúan en Ensenada y la forma en que el cuestionario continúa ampliándose. Se hace una invitación a otras instituciones para que organicen olimpiadas en sus ciudades. Un informe sobre estas actividades se presenta en este número.

IV. INFORME FINANCIERO PARCIAL

Luca Ferrari P. presentó un informe parcial actualizado hasta el momento de la Asamblea, indicando movimientos durante el año; el informe financiero anual se presenta al final de esta sección.

Durante esta presentación se sugiere poner una copia de ficha de depósito en la página de la UGM.

V. INFORME DEL SECRETARIO GENERAL

Jaime Urrutia informa que a) se consiguió un espacio para la UGM en el área de El Ajusco; b) que ante la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) y el CONACyT se ha señalado la necesidad de que haya mayor representación de Ciencias de la Tierra (CT) en el SNI y que en la AMC hay 60 miembros de CT; c) sobre la pertenencia de la UGM en la FESOCIME y su relación con la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración; d) que Geofísica Internacional se donó a la Asociación de Estudiantes de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM; e) que a nombre de la Mesa Directiva de la UGM y su Consejo Ejecutivo se lamenta la pérdida del Dr. Pedro Ripa, miembro del comité editorial de Geofísica Internacional.

Se sugiere a) la creación de una secretaría que se encargue de las relaciones con otras sociedades y b) que los egresados de licenciatura de las distintas áreas de CT en México se hagan acreedores de un año de membresía en la UGM.

VI. INFORME DEL PRESIDENTE

Fernando García informa que la Reunión Anual 2002 de la UGM se hará en el marco de la III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra durante la primera semana de noviembre en esta misma sede.

VII. PREMIACIONES

Medalla Mariano Bárcena. Se otorgó la Medalla Mariano Bárcena al Dr. Ismael Herrera Revilla, investigador ampliamente reconocido dentro y fuera de nuestro país por sus contribuciones científicas, gran promotor de la ciencia en México y en particular de la geofísica y sus áreas afines. El Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi hizo la presentación de la trayectoria profesional del Dr. Herrera Revilla, de sus méritos y de la influencia que su trabajo y entusiasmo por la ciencia han tenido en el desarrollo de las Ciencias de la Tierra de México.

Premios Francisco Medina. Se otorgaron los Premios Francisco Medina a las mejores tesis de doctorado a: Josefina Olascoaga del CICESE por su trabajo «Inestabilidad Varoclínica de la Capa Superior del Océano» y a Martín Cárdenas Soto de

la UNAM por su trabajo «El movimiento sísmico en el Valle de México. Efectos de la heterogeneidad lateral al campo incidente y contribución del parque inmobiliario al movimiento observado». El premio para tesis de maestría se declaró desierto.

VIII. ELECCIÓN DE VICEPRESIDENTE 2002-2003 Y NUEVA MESA DIRECTIVA

Se propusieron como candidatos a ocupar la vicepresidencia de la UGM a:

Luis Alva, propuesto por Ana María Soler,

Luca Ferrari, propuesto por Roberto Molina y a

Javier Pacheco, propuesto por Francisco Nuñez, quien no aceptó su postulación.

Los dos primeros hicieron una reseña de su trayectoria académica y se procedió a votar en forma secreta, se depositaron los votos en una urna y se hizo el conteo por parte de cuatro escrutadores frente a los participantes a la Asamblea.

El resultado de la votación fue de 29 votos para Luis Alva y 36 para Luca Ferrari.

Fernando García agradeció el apoyo dado durante dos años a la Mesa Directiva saliente y el nuevo presidente, Juan García, dio a conocer la Mesa Directiva 2002-2003, que quedó conformada de la siguiente forma:

- Presidente, Juan García Abdeslem, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
- Vicepresidente, Luca Ferrari, Instituto de Geología, UNAM
- Secretario General, Saul Alvarez Borrego, División de Oceanología, CICESE
- Tesorero, José Manuel Romo Jones, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
- Secretario de Difusión, Luis A. Delgado Argote, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
- Secretario de Enseñanza, Roberto Molina, UNICT, UNAM
- Secretario de Investigación, Javier Pacheco, Instituto de Geofísica, UNAM.

Además, el Presidente nombró de entre los miembros que se propusieron para organizar olimpiadas en sus regiones, a los siguientes delegados regionales:

Juan Gaviño, Manzanillo
Salvador Belmonte, Oaxaca
Roberto Molina, Querétaro

José Luis Rodríguez, Hermosillo
Oscar Alvarez Gazca, Xalapa
Victorino García, Culiacán
Enrique Gómez, Ensenada.

IX. ASUNTOS GENERALES

1. Se hicieron comentarios sobre la organización y requerimientos de equipo audiovisual en la reunión. Cada vez hay más usuarios de cañones por lo que hay que prever que existan suficientes en la próxima reunión.

2. Un estudiante en Bélgica propone la permanencia de sesiones Océano-Atmósfera.

No habiendo más temas que tratar, se dio por terminada la Asamblea General de la Reunión Anual 2001 de la Unión Geofísica Mexicana a las 19:10.

ANEXO 1. TESORERÍA

INFORME FINANCIERO DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C., 2001

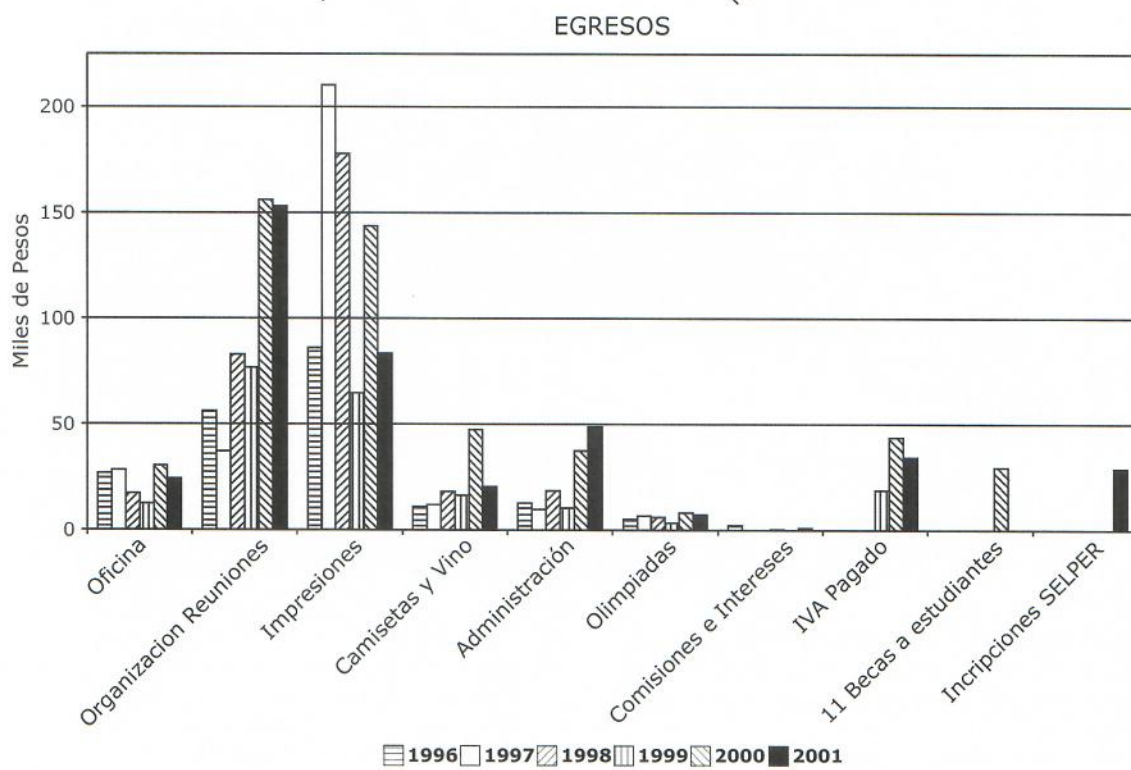
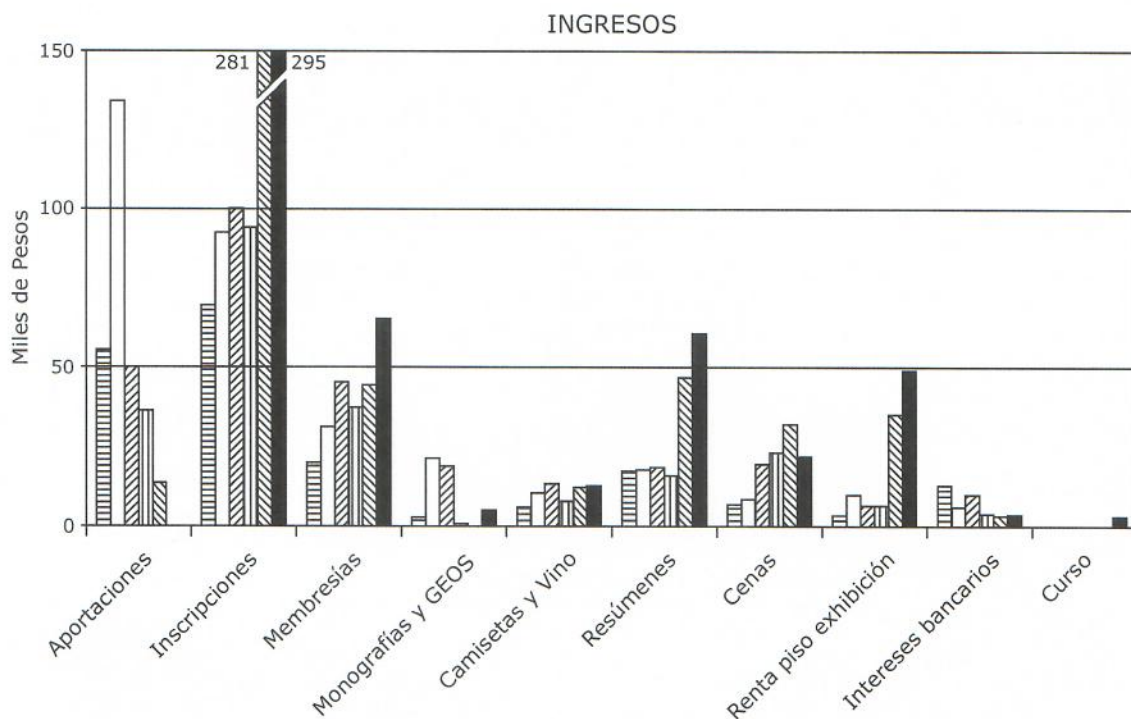
Saldo del ejercicio anterior en banco Ensenada	\$ 71,948.34
INGRESOS:	\$ 517,605.83
Inscripciones Reunión Anual 2001	\$ 295,840.00
Membresías	\$ 65,375.00
Resúmenes	\$ 60,800.00
Curso	\$ 3,100.00
Renta pisos de exhibición	\$ 49,000.00
Cenas	\$ 22,005.00
Venta varios (camisetas, gorras, vinos)	\$ 17,761.62
Intereses bancarios	\$ 3,724.21
EGRESOS:	\$ 401,306.50
Reunión Anual 2001	\$ 153,031.40
Gastos de oficina	\$ 24,336.42
Administración	\$ 48,821.81
Impresión (GEOS, publicidad)	\$ 83,238.32
Camisetas y vino	\$ 20,353.75
VII Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra	\$ 7,305.55
Impuestos, comisiones e intereses	\$ 1,184.50
I.V.A. pagado en gastos	\$ 34,226.75
Inscripciones SELPER	\$ 28,808.00
Suma al 31 de diciembre, 2001	\$ 188,247.67

En la gráfica de ingresos observamos que éstos se incrementaron ligeramente en el rubro de inscripciones con respecto al año anterior debido a que en esta reunión tuvimos mayor participación, mientras que los egresos debidos a la organización se incrementaron en la misma proporción. Cabe resaltar que otra de las razones por las que los ingresos en la mesa de registro se incrementaron se debió a la facilidad que el hotel sede nos dio para que se efectuaran pagos con tarjetas de crédito.

Otros rubros en los que se notan incrementos notables son los de membresías, resúmenes y renta de piso para expositores. Los dos primeros representan ingresos netos, mientras que los de renta de piso e inscripciones se compartieron con SELPER, según se ve en la última columna de egresos.

Es importante resaltar que las aportaciones del CICESE y del Instituto de Geofísica de la UNAM para la edición de GEOS y Geofísica Internacional, respectivamente, no se reflejan en el estado de cuenta de la Unión en vista de que esos apoyos se contabilizan en esas instituciones. Otro rubro que no se refleja es el de pago de hotel para la reunión del 2002, cuyo anticipo total de \$50,000.00 se pagó en su totalidad al finalizar la reunión 2001 con los ingresos de inscripciones.

Aprovechamos este espacio para agradecer a todos los colegas que han colaborado con la Mesa Directiva para que nuestras actividades se desarrollaran con éxito.



1996
 1997
 1998
 1999
 2000
 2001

III REUNIÓN NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Puerto Vallarta, Jalisco

4 - 8 de Noviembre

Sociedad Geológica Mexicana (SGM)
<http://www.unicit.unam.mx/SGM.html>

Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas
y Geólogos de México (AIMMGM)
<http://www.geomin.com.mx/Index.html>

Asociación Geohidrológica Mexicana (AGHM)

Asociación Geotérmica Mexicana (AGM)
<http://www.ugm.org.mx/agm>

Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros (AMGP)
<http://www.cnps.com.mx/amgp/>

Unión Geofísica Mexicana (UGM)
<http://www.ugm.org.mx>

Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y
Sistemas de Información Espacial (SELPER)

Sociedad Mexicana de Geomorfología (SMG)
http://www.igeograf.unam.mx/instituto/soc_geom.html

Sociedad Mexicana de Mineralogía (SMM)
<http://smm.iim.umich.mx/>

Unión Mexicana para Estudios del Cuaternario (UMEC)

Instituto Nacional de Geoquímica (INAGEQ)
<http://geologia.igeolcu.unam.mx/academia/inageq/inageq.html>



Sesiones Orales y de Carteles sobre temas de Tierra Sólida, Atmósfera, Oceanografía, Espacio Exterior
(ver sesiones en el formato de resumen en www.ugm.org.mx/formato.html)

FECHA LÍMITE PARA RECIBIR RESÚMENES 15 DE AGOSTO DE 2002

SESIONES ESPECIALES:

Interesados en coordinar una de éstas, deberán someter su propuesta al comité organizador antes del 30 de junio. Los temas de estas sesiones aparecerán en la página de Internet a partir del 15 de julio.

Enviar solicitud a Luis A. Delgado Argote: ldelgado@cicese.mx

COSTOS (Moneda Nacional)

Inscripción a la Reunión:

Miembros cualquier sociedad participante: \$ 1,000.00

No miembros: \$ 1,500.00

Estudiantes: \$ 550.00

Costo por resumen: \$ 200.00

Las ponencias tendrán una duración de 15 minutos, incluyendo discusión. Tanto para los trabajos orales, como para los carteles, deberá presentarse un resumen por escrito utilizando el formato que se encuentra en la página

<http://www.ugm.org.mx/formato.html>, ya sea por esa vía, o enviándolo a ugm@cicese.mx, utilizando el formato en Word (No se aceptarán resúmenes en disquete o por fax).

Información adicional, para expositores de instrumentos, equipos y servicios geocientíficos en:

<http://www.ugm.org.mx/expositores.html>, o con:

Araceli Chamán, IGFUNAM: achaman@igeofcu.unam.mx

Tel.: (55)5622-4130,

Ivonne Pedrín, CICESE: ipedrin@cicese.mx

Tel.: (646)175-5050, Ext. 26004

HOTEL SEDE: Camino Real Puerto Vallarta, **RESERVACIONES:** Tel.: (322) 221-5000, Fax: (322) 221-6000, Correo Electrónico: pvr@caminoreal.com
Registro al evento en el Hotel Sede desde el 3 de Noviembre

DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 2002

La base de datos de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., contiene información general de los miembros así como la información de la antigüedad de sus membresías. En ella, se ha asignado a cada miembro un número de afiliación que permitirá efectuar búsquedas más eficientes acerca de su estatus. La base de datos permite tener, también, un historial por miembro de la asistencia a las reuniones.

Con base en este directorio se efectuarán los envíos de los números de las revistas **GEOS** y **GEOFÍSICA INTERNACIONAL**. Por lo anterior, lo invitamos a que verifique si sus datos están correctos y completos y, en caso de que exista algún error u omisión, nos lo haga saber vía correo electrónico (ugm@cicese.mx) o por medio de nuestra página (<http://www.ugm.org.mx>). Junto con el primer número de **GEOS** de cada año estaremos enviando una credencial de afiliación, la cual le permitirá identificarse para recibir precios especiales en la adquisición de los libros y revistas que la UGM edita, así como obtener precios especiales en la Reunión Anual.

Finalmente, agradeceremos que divulgue la existencia de este directorio entre sus compañeros de institución, con el fin de que aquellas personas que por algún error no hayan recibido las revistas puedan conocer su situación.



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Nombre	Institución	Correo Electrónico
1	298	X						Aceves Quesada Fernando	UNAM	
2	405						X	Aguayo Ríos Alejandra	UNAM	ale@tonatiuh.igeofcu.unam.m
3	16	X	X	X			X	Aguirre Díaz Gerardo J.	UNAM	gjad@servidor.unam.mx
4	360			X	X			Aguirre González Jorge	UNAM	jag@culer.iingen.unam.mx
5	13	X	X		X	X	X	Alaniz Álvarez Susana A.	UNAM	alaniz@servidor.unam.mx
6	153		X		X			Alatorre Zamora Miguel Á.	UDG	alatorre@quantum.ucting.udg.mx
7	15	X	X		X	X	X	Alatriste Vilchis David Rey	UNAM	david_alatriste@yahoo.com
8	288	X	X	X	X	X		Alva Valdivia Luis Manuel	UNAM	lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
9	379					X	X	Alvarado Cano Rodney R.	UAZ	elcano@elfoco.com
10	403						X	Álvarez Béjar Román	UNAM	rab@eibniz.iimas.unam.mx
11	3	X	X	X	X	X		Álvarez Borrego Saúl	CICESE	saul@cicese.mx
12	4	X	X	X	X			Álvarez Borrego Josué	CICESE	josue@cicese.mx
13	296	X						Álvarez Manilla Alfonso		
14	152	X			X			Álvarez Sánchez Luis G.	CICESE	lalvarez@cicese.mx
15	154				X	X		Amador Buenrostro Alberto	CICESE	aamador@cicese.mx
16	8	X	X	X	X	X		Aragón Arreola Manuel de J.	CICESE	maragon@pangea.cicese.mx
17	157			X	X		X	Aranda Gómez Jorge J.	UNAM	jjag@servidor.unam.mx
18	14	X		X	X	X		Arellano Gómez Víctor M.	IIE	vag@axp2.iie.org.mx
19	156		X					Arellano Guadarrama José F.	CFE	
20	18				X			Argote Espinoza María L.	CICESE	argote@cicese.mx
21	17		X			X		Armienta Hernández María A.	UNAM	victoria@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
22	12			X				Arredondo Frago José	CFE	cfeinf@mail.giga.com
23	372				X	X	X	Arreygue Rocha Eleazar	UMICH	arrocha@zeus.umich.mx
24	384					X		Arteaga Flores Lorenzo	INEGI	
25	10			X				Arzate Flores Jorge Arturo	UNAM	arzatej@unicit.unam.mx
26	351				X			Ávila Serrano Guillermo E.	UABC	gavila@bahia.ens.uabc.mx
27	160	X	X	X	X	X		Axen Gary	UCLA	gaxen@ess.ucla.edu
28	390					X		Backstrom Lars	UNAM	backstrom_lars@hotmail.com
29	161	X	X	X	X	X	X	Bandy William L.	UNAM	bandy@tonatiuh.igeofcu.unam.m
30	22	X	X	X	X	X		Barajas Díaz Pablo	ITESO	
31	23					X	X	Barradas Miranda Víctor L.	UNAM	vbarrada@miranda.ecologia.unam.mx
32	24	X		X	X	X		Barragán Reyes Rosa M.	IIE	rmb@iie.org.mx
33	361				X			Bautista Belmonte Aarón	IPN	sjimenez@vmredipn.ipn.mx
34	317			X		X		Bautista Romero José J.	CIBNOR	jbauro@cibnor.mx
35	162		X					Beier Martín Emilio José	CICESE	ebeier@cicese.mx
36	25					X	X	Belmonte Jiménez Salvador	IPN	sbelmont@prodigy.net.mx
37	20	X	X					Bermúdez Angulo María L.	UNAM	maria@gea.iingen.unam.mx
38	208			X				Bermúdez Juárez María B.	BUAP	bbj@xanum.uam.m
39	324		X					Bernal Franco Gladys	UABC	gbernal@bahia.ens.uabc.mx
40	29			X		X		Birkle Peter	IIE	birkle@iie.org.mx
41	28	X	X	X	X	X		Böhnel Norbert Harald	UNAM	harald@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
42	426						X	Bote Cab Gilmer Eduardo		eduardobotec@hotmail.com
43	27		X					Brasseea Ochoa Jesús	CICESE	jbrasseea@geofisica.cicese.mx
44	21	X		X	X		X	Bravo Cabrera José Luis	UNAM	jibravo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
45	19	X		X	X			Brito Castillo Luis	CIBNOR	lbrito@cibnor.mx
46	26	X	X					Buendía Carrera Enrique	UNAM	
47	275	X	X	X	X	X		Bulgakov Sergey N.	UDG	sbulgano@udgserv.cencar.udg.mx
48	232	X	X					Burrola Sánchez María S.	CIBNOR	sburrola@cibnor.mx
49	166		X	X				Caballero Miranda Cecilia	UNAM	maga@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
50	318			X				Cabral Cano Enrique	UNAM	ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
51	396						X	Calderón Macías Carlos	IMP	ccalderon@imp.mx
52	33		X	X	X	X		Calmus Thierry	UNAM	tcalmus@servidor.unam.mx
53	399						X	Camarillo Barranco Lucio	CIRSAC	
54	143		X	X	X	X		Campa Uganda María F.	UAEG	mfernanda@data.net.mx
55	347					X		Campos Emilano	UNAM	campossm@servidor.unam.mx
56	167	X	X		X	X		Campos Enríquez Osca	UNAM	ocampos@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
57	214			X				Candela Pérez Julio	CICESE	jcandela@cicese.mx
58	258	X	X	X	X	X		Cañón Tapia Edgardo	CICESE	ecanon@pangea.cicese.mx
59	34	X	X	X	X	X		Carbajal Pérez Noel	IPICYT	noelc@ipicyt.edu.mx
60	243	X						Carbonell Ramón	CSIC	rcarbonell@ija.csic.es
61	36		X					Carcione José M.		
62	165	X				X		Cárdenas Soto Martín	UNAM	martinc@servidor.unam.mx
63	395						X	Carranza Castañeda Osca	UNAM	oscar@servidor.unam.m
64	169	X			X			Carrasco Núñez Gerard	UNAM	gerardoc@unicit.unam.mx
65	168	X	X		X			Carreño Ana Luisa	UNAM	anacar@servidor.unam.mx
66	310			X				Carrillo García Verónica K.	CENAM	vcarrill@cenam.mx
67	412						X	Castillo Romano Cervando	IMTA	cervando@tlaloc.imta.mx
68	284	X	X	X				Castrejón González Israel	UAEG	
69	235	X		X	X			Castrejón Pineda Héctor R.	UNAM	castrejo@sacbe.fi-a.unam.mx
70	31	X	X	X	X	X	X	Castro Escamilla Raúl	CICESE	raul@sismo.cicese.mx
71	30	X		X				Castro Gorea Renato	UNAM	
72	32		X					Castro Leyva Teresa	IMP	tcastro@agi-cdc.com.mx
73	6					X		Centeno García Elena	UNAM	
74	35		X		X	X		Cerca Martínez Luis M.	UNAM	mcerca@unicit.unam.m
75	37						X	Cervantes Duarte Rafael	IPN	rcervan@ipn.mx
76	391					X		Cervantes Sánchez Alfredo	UAT	alcervan@uamac.uat.mx
77	272	X						Cifuentes Nava Gerardo	UNAM	gercifue@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
78	336		X	X	X	X		Cisneros Stoianowski Gerardo	SILICON GRAPHICS	gerardo@cray.com
79	364				X	X		Concha Dimas Aline	University of Nevada	aline@scs.unr.edu
80	341			X				Contreras Pérez Juan	CICESE	juanc@pangea.cicese.mx
81	394						X	Cordero Angeles Edgar	UNAM	once25@yahoo.com
82	244	X	X	X		X		Córdoba Barba Diego	UCM	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
83	303		X	X				Corona Chávez Pedro	UMICH	pcorona@zeus.umich.mx
84	38	X						Corona Ruiz Martín	CFE	
85	248	X						Correa Mora Francisco	UNAM	pancho@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002 Continuación						
No.	Miembro	Dirección	Ciudad	Estado	C.P.	País
1	298	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
2	405	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
3	16	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
4	360	Nardo #2, Col. Xaltocán	México	D.F.	16090	México
5	13	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
6	153	Prol. El Mediero #517, Mod. F-201, Col. San Gilberto	Zapopan	Jal.	45150	México
7	15	Temaca #6241, Col. Aragón Inguarán	México	D.F.	07820	México
8	288	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
9	379	Hda. El Cuidado #11, Fracc. Nuevo Bernárdez	Guadalupe	Zac.	98600	México
10	403	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
11	3	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
12	4	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
13	296	Circuito Jardín #356-3, Col. Álamos 3ª Sección	Querétaro	Qro.	76160	México
14	152	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
15	154	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
16	8	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
17	157	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
18	14	Av. Reforma #113, Col. Palmira	Temixco	Mor.	62490	México
19	156	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	21100	México
20	18	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
21	17	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
22	12	Alejandro Volta #655, Col. Electricistas	Morelia	Mich.	58290	México
23	372	Pino Humboldtzi #392, Fracc. Los Pinos	Morelia	Mich.	58080	México
24	384	Salto de los Salados #409, Fracc. Ojo Caliente	Aguascalientes	Ag.	20190	México
25	10	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
26	351	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
27	160	UCLA - Box 951567	Los Ángeles	CA.	90095-1567	USA
28	390	Verdi #412, Col. León Modern	León	Gto.	37480	México
29	161	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
30	22	Periférico Sur #8585	Tlaquepaque	Jal.	45090	México
31	23	Apdo. Postal No. 70-275, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
32	24	Av. Reforma #113, Col. Palmira	Temixco	Mor.	62490	México
33	361	Meza de Anahuac #17-A, Col. Volcanes	Oaxaca	Oax.		México
34	317	Lic. Primo Verdad #206, Depto. 7, Zona Centr	La Paz	B.C.S.		México
35	162	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
36	25	Mesa de Anahuac #207-A, Col. Volcanes	Oaxaca	Oax.	68020	México
37	20	Calle 128A #29-15, Depto. 403	Santa Fé de Bogotá	Bogotá	70472	Colombia
38	208	Priv. 29 Ote. #1816, Col. Mirador	Puebla	Pue.	72540	México
39	324	Villa de San Miguel #36, San Miguel	Ensenada	B.C.	22760	México
40	29	Apdo. Postal No. 1-475	Cuernavaca	Mor.	62001	México
41	28	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
42	426	Bahía San Hipólito #99, FOVISSSTE, Depto. 4	La Paz	B.C.S.	23080	México
43	27	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
44	21	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
45	19	Laureles #5-A, Col. Loma Dorada	Guaymas	Son.	85465	México
46	26	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
47	275	Av. Vallarta #2602, Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	44100	México
48	232	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	85465	México
49	166	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
50	318	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
51	396	Pino #8, San Jerónimo, Col. Lomas Quebradas	México	D.F.	10000	México
52	33	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centr	Hermosillo	Son.	83000	México
53	399	Anaxágoras #814, Col. Narvarte	México	D.F.	03020	México
54	143	Hda. Xajay #426, Fracc. Hda. Echegaray	Naucalpan	EdoMéx.	53300	México
55	347	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
56	167	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
57	214	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
58	258	Km 107, carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
59	34	Apdo. Postal No. 3-74	Tangamanga	S.L.P.	78231	México
60	243	Lluís Solé i Sabarís s/n	Barcelona	Barcelona	08028	España
61	36	P.O. Box 2011	Opicina	Trieste	34016	Italy
62	165	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
63	395	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
64	169	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	Querétaro	Qro.	76001	México
65	168	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
66	310	Cerrada Heriberto Jara #18, Fracc. V. Querétar	Querétaro	Qro.	76000	México
67	412	Paseo Cuauhnahuac #8532, Col. Progres	Jiutepec	Mor.	62550	México
68	284	Ex-Hacienda de San Juan Bautista, Taxco El Viejo	Taxco	Gro.	40200	México
69	235	10 Oeste, Manzana 33, Lote 6, Col. Isidro Fabela	México	D.F.	14030	México
70	31	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
71	30	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
72	32	Apdo. Postal No. 224, Oficina de Corre	Cd. Del Carmen	Camp.	24101	México
73	6	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
74	35	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	Querétaro	Qro.	76001	México
75	37	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	La Paz	B.C.S.	23096	México
76	391	Matamoros entre 8 y 9, Zona Centro	Ciudad Victoria	Tamp.	87000	México
77	272	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
78	336	Av. Vasco de Quiroga #3000, Col. Santa Fé	México	D.F.	01210	México
79	364	Macklay School of Mines/172	Reno	Nevada	89557-0138	USA
80	341	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
81	394	24 de Febrero #6, Col. Polvora, Primera Sección	México	D.F.	01100	México
82	244	Av. Complutense s/n	Madrid	Madrid	28040	España
83	303	Edificio "U", Cd. Universitaria	Morelia	Mich.	58070	México
84	38	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	21100	México
85	248	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Nombre	Institución	Correo Electrónico
86	333		X	X		X		Cortés Cortés Abel	UCOL	cortes@cgic.ucol.mx
87	427						X	Cosío Castro Héctor G.		kraftwer@yahoo.com
88	315			X	X			Cruz Atienza Víctor Manuel	FJBS	victor@ollin.igeofcu.unam.mx
89	39	X	X	X	X	X		Cruz Castillo Manuel	IMP	mcrucz@imp.mx
90	371				X			Cruz Orozco Rodolfo	UABCS	rroca@balandra.uabcs.mx
91	163		X					Cuenca Julio César	UNAM	julio@gea.lingen.unam.mx
92	304		X					Cupul Magaña Amílcar Levi	UDG	amilcarc@pv.udg.mx
93	285	X	X					Charre Meza Adolfo S.	IMP	acharre@yahoo.com
94	41				X			Chávez Cabello Gabriel	UANL	gachavez@ccr.dsi.uanl.mx
95	409						X	Chávez González Mario	UNAM	chavez@servidor.unam.mx
96	43		X	X	X	X	X	Chávez Pérez Sergio		
97	158			X	X	X		Choumiline Evguine	IPN	eshumili@vmredipn.ipn.m
98	245	X	X	X				Dañobeitia Juan José	CSIC	jjdanobeitia@ija.csic.es
99	172	X				X		Davydova Belifskaya Valentina	UDG	vdavidov@udgserv.cencar.udg.mx
100	44	X	X	X	X	X		De Cserna Gómbos Zoltan	UNAM	
101	45		X	X				De la Cruz Reyna Servando	UNAM	sdelacrr@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
102	46				X			De León Gómez Héctor	UANL	hdeleon@ccr.dsi.uanl.mx
103	418					X		De Mets Charles Dennis	University of Wisconsin	chuck@geology.wisc.edu
104	357			X	X			Del Río Jesús Antonio	UNAM	Antonio@servidor.unam.mx
105	49	X	X	X	X	X	X	Delgado Argote Luis A.	CICESE	ldelgado@pangea.cicese.mx
106	47	X		X				Delgado Contreras Juan A.	CICESE	jdelgado@cicese.mx
107	170		X	X	X		X	Delgado Granados Hugo	UNAM	hugo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
108	305		X	X	X			Díaz Navarro Ricardo	IMP	rdiazn@imp.mx
109	205	X	X	X	X			Diego Orozco Arturo	IMP	adieago@imp.mx
110	50			X		X	X	Dominguez Reyes Tonatiuh	UCOL	tonatiuh@ucol.mx
111	48						X	Durazo Arvizu Reginaldo	UABC	rdurazo@faro.ens.uabc.mx
112	171	X	X	X	X	X	X	Dworak Robinson Juan A.	SEP	jdworak@cicese.mx
113	252	X						Elías Herrera Mariano	UNAM	elias@servidor.unam.mx
114	257				X	X		Escalona Alcázar Felipe de J.	IEMAZ	fescalona@hotmail.com
115	173			X				Escobar Sánchez Alejandra	UANL	
116	51	X	X	X	X			Esparza Hernández Francisco J.	CICESE	fesparz@geofisica.cicese.mx
117	52	X	X	X	X	X	X	Espindola Castro Juan M.	UNAM	jme@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
118	53	X	X	X	X			Espinosa Cardeña Juan M.	CICESE	jespinos@geofisica.cicese.mx
119	55	X			X			Fabrial Beauville Hubert	BRGM	h.fabrial@brgm.fr
120	174	X	X	X	X	X	X	Farreras Sanz Salvador	CICESE	sfarrera@cicese.mx
121	54	X	X		X	X		Ferrari Luca Pedraglio	UNAM	luca@unicit.unam.mx
122	85	X	X	X	X	X		Filonov Anatoly E.	UDG	afilonov@udgserv.cencar.udg.mx
123	59	X	X					Fletcher John Mackrain	CICESE	jfletcher@pangea.cicese.mx
124	299	X						Flores Cruz Fernando		
125	362				X			Flores Estrella Hortencia	UNAM	flori@data.net.mx
126	175	X	X	X	X	X		Flores Luna Carlos Fco.	CICESE	cflores@geofisica.cicese.mx
127	375					X	X	Flores Maciel Roberto	UDG	romaciel@cucba.udg.mx
128	130		X			X		Flores Saldaña Ricardo	IIE	rsf@p.iie.org.mx
129	58	X	X	X	X	X		Frez Cárdenas José	CICESE	jofrez@cicese.mx
130	300	X	X	X	X	X		Fuentes Vargaz Carlos	UNAM	carlos@ollin.igeofcu.unam.m
131	64	X	X	X	X	X		Galicia Pérez Marco A.	UCOL	galicia@volcan.ucol.mx
132	255	X	X					Gallegos Cruz Apolonio	IPN	
133	350				X	X		Garatuza Payan Jaime	ITSON	garatuza@yaqui.itson.mx
134	378					X		García Daniel	UANL	
135	62	X	X	X	X	X	X	García Abdeslem Juan	CICESE	lgarcia@geofisica.cicese.mx
136	63	X	X	X	X	X	X	García Arthur Rosalía E.	CICESE	arthur@cicese.mx
137	183				X			García Córdoba Joaquín A.	CICESE	joaquin@cicese.mx
138	377					X	X	García Cueto Rafael	UABC	rcueto@iing.mx.uabc.mx
139	181	X	X	X	X	X	X	García García Fernando	UNAM	ffgg@atmosfera.unam.mx
140	233			X		X		García Gutiérrez Alfonso	IIE	aggarcia@iie.org.mx
141	5					X		García López Ramón V.	UAS	rgarcia@uas.uasnet.mx
142	423						X	García Puga José L.	UDG	puga@pv.udg.mx
143	184				X	X	X	García y Barragán Juan C.	UNAM	jcarlosg@servidor.unam.mx
144	178		X	X	X	X		Garduño López René	UNAM	rene@atmosfera.unam.mx
145	61	X	X		X			Garduño Monroy Víctor H.	UMICH	vgmonroy@zeus.umich.mx
146	182	X	X		X			Garf Ziehl Federico	CICESE	fgrae@icese.mx
147	280			X				Garza Rocha Daniel	UANL	dagarza@ccr.dsi.uanl.mx
148	334		X	X	X			Gavilanes Ruíz Juan C.	UCOL	gavilan@cgic.ucol.mx
149	72	X	X	X	X	X		Gaviño Rodríguez Juan H.	UCOL	gavino@volcan.ucol.mx
150	180		X	X	X	X	X	Gay García Carlos	UNAM	cgay@servidor.unam.mx
151	74	X	X	X	X	X	X	Glowacka Ewa	CICESE	glowacka@cicese.mx
152	176				X		X	Gómez González Juan M.	UNAM	Gomez@conin.unicit.unam.mx
153	369				X	X		Gómez López David R.	UV	dgomez@xal.megared.net.mx
154	73	X	X	X	X	X	X	Gómez Treviño Enrique	CICESE	egomez@geofisica.cicese.mx
155	67	X	X	X	X	X	X	Gómez Valdés José	CICESE	jgomez@cicese.mx
156	292	X	X	X	X	X	X	González Fernández A.	CICESE	mindundi@pangea.cicese.mx
157	68	X	X		X			González García José Javier	CICESE	javier@cicese.mx
158	354				X	X	X	González Ibarra Alfonso	IMP	agibarra@imp.mx
159	69					X		González León Carlos M.	UNAM	cmgleon@servidor.unam.mx
160	71		X					González Morales Carlos A.	CICESE	cgonzale@cicese.mx
161	60		X		X			González Morán Tomás	UNAM	tglez@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
162	400						X	González Navarro Juan I.	CICESE	ignaci@cicese.mx
163	70						X	González Pomposo Guillermo	BUAP	gugonzal@siu.buap.mx
164	366				X			González Yajimovich Oscar	UABC	
165	307		X					Gorsline Donn S.	University of Southern California	gorsline@earth.usc.edu
166	189	X	X					Grajales Nishimura Manuel	IMP	grajales@geologia.unam.mx
167	250	X	X				X	Green Ruiz María de J.	Old Dominion University	mxgreen@odu.edu
168	415						X	Grijalva Noriega Francisco J.	USON	grijalva@marina.geologia.uson.mx
169	66	X	X					Guerrero García José C.	UNAM	josec@servidor.unam.mx
170	65			X				Guerrero Guadarrama José L.	CFE	geoexplo@mich1.telnet.net.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002 Continuación

No.	Miembro	Dirección	Ciudad	Estado	C.P.	País
86	333	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastián	Colima	Col.	28045	México
87	427	Tuparan, U. Misioneros, A. Bahía Las Palmas, E. #621, D. #301	La Paz	B.C.S.		México
88	315	5 de Mayo #117, Col. Tepepan	México	D.F.	16020	México
89	39	Av. Volcán Fernandina #92, Col. El Mirado	México	D.F.	14449	México
90	371	Carret. Al Sur, Km 5.5	La Paz	B.C.S.	23080	México
91	163	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
92	304	Av. Universidad de Guadalajara #203, Delegación Ixtapa	Puerto Vallarta	Jal.	48280	México
93	285	Av. Universidad #12, Col. Petrolera	Ciudad del Carmen	Camp.	24180	México
94	41	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. De Guadalupe	Linares	N.L.	67700	México
95	409	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
96	43	Shetland #348, Col. Cosmopolita	México	D.F.	02670	México
97	158	Apdo. Postal No. 592	La Paz	B.C.S.	23000	México
98	245	Lluis Solé i Sabaris s/n	Barcelona	Barcelona	08028	España
99	172	Av. Vallarta #2602, Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	44100	México
100	44	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
101	45	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
102	46	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. De Guadalupe	Linares	N.L.	67700	México
103	418	1215 W. Dayton St.	Madison	WI.	53706	USA
104	357	Apdo. Postal No. 34	Temixco	Mor.	62580	México
105	49	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
106	47	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
107	170	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
108	305	Hda. Ajuluapan #107, Hda. Echegara	Naucalpan	EdoMéx.	53310	México
109	205	Eje Central Lázaro Cárdenas #152, Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	07730	México
110	50	Av. Universidad #333	Colima	Col.		México
111	48	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
112	171	Km 4, Carret. A Varadero Nacional, Sector Playitas	Guaymas	Son.	85425	México
113	252	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
114	257	Blvd. López Portillo #30, Interior "C", Zona Centr	Guadalupe	Zac.	98600	México
115	173	Blvd. Fundadores, Manzana 1, C-4, Col. Fundadores	Saltillo	Coah.	25015	México
116	51	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
117	52	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
118	53	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
119	55	117, Avenue de Luminy, B.P. 167		Marseille cedex 9	13276	France
120	174	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
121	54	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
122	85	Río Autlan #2180-34, Sector Atlas	Guadalajara	Jal.	44421	México
123	59	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
124	299	Antonia Nava s/n, Esc. Pri. Makarenko, Col. Carmen Serdán	México	D.F.	04910	México
125	362	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
126	175	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
127	375	Juárez #975, Sector Juárez	Guadalajara	Jal.		México
128	130	Av. Reforma #113, Col. Palmira	Temixco	Mor.	62490	México
129	58	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
130	300	Plaza del Carmen #69, Col. Plazas del Sol, 2a. Sección	Querétaro	Qro.	76090	México
131	64	Apdo. Postal No. 275, Zona Centr	Manzanillo	Col.	28200	México
132	255	Te #950, Col. Iztacalco	México	D.F.	08400	México
133	350	5 de Febrero #818 Sur, Zona Centr	Ciudad Obregón	Son.		México
134	378	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. De Guadalupe	Linares	N.L.	67700	México
135	62	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
136	63	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
137	183	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
138	377	Blvd. Benito Juárez s/n, Col. Insurgentes Este	Mexicali	B.C.	21280	México
139	181	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
140	233	Av. Reforma #113, Col. Palmira	Temixco	Mor.	62490	México
141	5	Ángel Flores y Riva Palacio	Culiacán	Sin.		México
142	423	Apdo. Postal No. 96-B	Puerto Vallarta	Jal.	48280	México
143	184	Luis D. Colosio y Madrid s/n, Campus UNISON	Hermosillo	Son.	83000	México
144	178	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
145	61	Av. Rey Tariacuri #374-D, Col. Villabella	Morelia	Mich.	58090	México
146	182	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
147	280	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. De Guadalupe	Linares	N.L.	67700	México
148	334	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastián	Colima	Col.	28045	México
149	72	Apdo. Postal No. 275, Zona Centr	Manzanillo	Col.	28200	México
150	180	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
151	74	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
152	176	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	Querétaro	Qro.	76001	México
153	369	Mendez Alcalde #3, Col. Salud	Xalapa	Ver.	91070	México
154	73	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
155	67	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
156	292	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
157	68	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
158	354	Magdalena #410, Depto. 303, Col. Del Valle	México	D.F.	03100	México
159	69	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centr	Hermosillo	Son.	83000	México
160	71	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
161	60	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
162	400	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
163	70	Blvd. Valsequillo y Circuito CU, Cd. Universitaria	Puebla	Pue.		México
164	366	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
165	307	3620 S. Vermont Ave. KAP-246	Los Angeles	CA.	90089-2538	USA
166	189	Tokio #921-202B, Col. Portales	México	D.F.	03300	México
167	250	4600, Elkhorn Ave.	Norfolk	VA.	23529	USA
168	415	Alejandro García #522, Col. Jardines	Hermosillo	Son.	83113	México
169	66	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
170	65	Alejandro Volta #655, Col. Electricistas	Morelia	Mich.	58290	México

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Nombre	Institución	Correo Electrónico
171	407						X	Guevara O. Enrique	CENAPRED	ego@cenapred.unam.mx
172	177					X		Gutiérrez de Velasco Guillermo	CICESE	ggutierr@cicese.mx
173	179				X			Guzmán Speziale Marco	UNAM	marco@ollin.igeofcu.unam.mx
174	76	X						Helene Escamilla Javie	CICESE	jhelene@pangea.cicese.mx
175	75		X	X	X	X		Herguera García Juan Carlos	CICESE	herguera@cicese.mx
176	251	X	X	X	X	X		Hernández Bernal María del S.	UNAM	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
177	259	X						Hernández Guerrero Joel	PEMEX	zyanya@hotmail.com
178	247	X						Hernández Treviño Teodoro	UNAM	tht@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
179	343					X		Herrera Aztegui Luis E.	UNAM	electron@altavista.com
180	306		X					Herrera Charles Roberto	IPN	charles@citedi.mx
181	186					X		Herrera Revilla Ismael	UNAM	iherrera@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
182	188		X	X	X			Hinojosa Corona Alejandro	CICESE	alhinc@pangea.cicese.mx
183	187			X	X	X		Huerta López Carlos I.	CICESE	huerta@cicese.mx
184	289	X						Hughes Simon	UNAM	shuhs@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
185	77	X	X	X	X	X		Huidobro González Adolfo	UNAM	lermo@inti.iingen.unam.mx
186	78		X					Huizar Álvarez Rafael	UNAM	huizar@servidor.unam.mx
187	331		X	X	X	X	X	Hutton Wallis	UNAM	wallis@geology.wisc.edu
188	316			X				Iglesias Mendoza Arturo	FJBS	amg@tornado.com.mx
189	332		X					Israde Alcántara Isabel	UMICH	alsrade@zeus.umich.mx
190	80		X	X				Jacques Ayala César	UNAM	jacques@servidor.unam.m
191	79		X					Jáuregui Ostos Ernesto	UNAM	ejos@ccaunam.atmoscu.unam.m
192	340			X				Jiménez Sergio	UABC	
193	82	X						Jiménez Illescas Ángel R.	IPN	ajimenez@ipn9021.ipn.mx
194	81	X						Jiménez Jiménez Zenón	UNAM	zenon@igeofcu.unam.mx
195	349				X	X		Jödicke Hartmut	University Munster	jodike@earth.uni.munster.de
196	411					X		Juárez Aguilar Luis	IMP	ljuarez@imp.mx
197	190		X	X				Juárez Sánchez Faustino	UNAM	tino@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
198	90			X				Keller Torres Jaime	UNAM	keller@servidor.unam.mx
199	387					X		Kepiie Jhon Duncan	UNAM	duncan@servidor.unam.mx
200	138			X		X		Koshevaya Svetlana S.	INAOE	svetlana@tonali.inaoep.mx
201	83	X	X	X	X	X		Kostoglodov Vladimir	UNAM	vladimir@ollin.igeofcu.unam.mx
202	84	X						Kouzoub Nikolai	UANL	nkouzoub@ccr.dsi.uanl.mx
203	283	X		X	X	X		Kuraica Ogle	KINEMATRICS	sales@kmi.com
204	40			X				Lara Lara José Rubén	CICESE	rlara@cicese.mx
205	261	X						Lares Reyes María Lucila	CICESE	lrares@cicese.mx
206	87	X	X	X		X		Lavín Peregrina Miguel F.	CICESE	mlavin@cicese.mx
207	192	X	X					Lázaro Mancilla Octavio	CICESE	olazaro@geofisica.cicese.mx
208	216	X	X	X	X	X		Ledesma Vázquez Jorge	UABC	ledesma@bahia.ens.uabc.mx
209	193	X		X	X		X	Lermo Samaniego Javier Fco.	UNAM	lermo@inti.iingen.unam.mx
210	385					X	X	Lesser Luis E.	Arizona State University	lesser@asu.edu
211	262	X	X	X				Lira Herrera Héctor	CFE	
212	376					X		Lizarraga Celaya Carlos	USON	carlos@fisica.uson.mx
213	155		X					Lobato Sánchez René	IMTA	rlobato@tialoc.imta.mx
214	414						X	López Dorcel Rubén	UASLP	rlopez@uaslp.mx
215	301			X				López Loera Héctor	UNAM	lopezdes@col1.telmex.net.mx
216	89	X			X			López Mariscal Juan Manuel	CICESE	malopez@cicese.mx
217	88	X	X	X	X	X		López Martínez Margarita	CICESE	marlopez@pangea.cicese.mx
218	308			X				López Martínez Juana	CIBNOR	jlopez@cibnor.mx
219	380					X	X	López Pineda Leobardo	CESUES	odranoel@yahoo.com
220	191	X						Lozada Zumaeta Manuel	IMP	mlozada@imp.mx
221	338		X	X				Lluch Cota Daniel Bernardo	CIBNOR	dblluch@cibnor.mx
222	339		X					Lluch Cota Salvador Emilio	CIBNOR	sluch@cibnor.mx
223	91					X		Macías Vázquez José Luis	UNAM	macias@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
224	269	X	X				X	Machain Castillo María Luisa	UNAM	machain@ola.icml.unam.mx
225	282	X						Magaña Rueda Víctor Orlando	UNAM	victormr@servidor.unam.mx
226	236			X	X	X		Makarov Vyacheslav G.	IPN	smakarov@redipn.ipn.mx
227	428						X	Malagón Montalvo Arturo	UDG	malagon_arturo@hotmail.com
228	368				X			Malishewsky Peter G.	Universita Et Jena	maili@geo.uni.jena.de
229	102	X					X	Marinone Moschetto Silvio G.L.	CICESE	marinone@cicese.mx
230	93	X	X	X	X	X	X	Márquez Azúa Bertha	UDG	bm Marquez@udgserv.cencar.udg.mx
231	381					X		Márquez García Antonio Z.	UAM	azmg@xanum.uam.mx
232	297	X	X					Márquez González Álvaro	UCM	alvaromg@eucmax.sim.ucm.es
233	164			X				Marshall Kyle Jeffrey	Franklin Marshall College	k_marshall@fandm.edu
234	293	X	X	X	X	X		Martín Atienza Beatriz	CICESE	batienza@geofisica.cicese.mx
235	2	X	X	X	X		X	Martín Barajas Arturo	CICESE	amartin@pangea.cicese.mx
236	348				X			Martínez Díaz de León A.	UABC	asdrubal@faro.ens.uabc.mx
237	194	X	X	X	X	X	X	Martínez García Mario	CIBNOR	mmartine@cibnor.m
238	9					X		Martínez Gutiérrez Genaro	UABCS	martinggg@uabcs.mx
239	373					X		Martínez Hernández Enrique	UNAM	emar@servidor.unam.mx
240	408						X	Martínez Noriega César	UABCS	martinez@uabcs.mx
241	422						X	Martínez Retana Silvia	USON	
242	404						X	Martínez Reyes Juvenito	UNAM	
243	92	X						Martínez Serrano Raymundo G.	UNAM	rms@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
244	273	X				X		Martínez Zatarain Alejandro	UDG	amartine@udgserv.cencar.udg.m
245	96					X		Martiny Kramer Bárbara	UNAM	martiny@servidor.unam.mx
246	367				X			Mascareño Gastelum Ramón A.	UAS	alejandro_trami@hotmail.com
247	287	X	X	X	X	X		Matthes Miguel	APASC	
248	313			X				Mazariegos Alfaro Rubén A.	University Texas Pan American	rubenm@panam.edu
249	200	X						Mejía Trejo Adán	UABC	amejia@bahia.ens.uabc.mx
250	97	X	X	X	X			Méndez Delgado Sóstenes	UANL	smendez@ccr.dsi.uanl.m
251	198			X		X		Mendieta Jiménez Francisco J.	CICESE	jmendiet@cicese.mx
252	11					X		Mengelle López Jorge J.	IPN	se_vinculacion@hotmail.com
253	274		X					Meulenert Peña Ángel R.	UDG	ameulene@udgserv.cencar.udg.mx
254	57	X						Michaud Francois	U. Pierre Et M. Curie	imicho@ccrv.obs-vlfr.f
255	94						X	Mikumo Takeshi	UNAM	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002 Continuación

No.	Miembro	Dirección	Ciudad	Estado	C.P.	País
171	407	Av. Delfín Madrigal #655, Col. Pedregal de Santo Domingo	México	D.F.	04360	México
172	177	Miraflores #334, entre Muleg y La Paz, Fracc. BellaVista	La Paz	B.C.S.	23050	México
173	179	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
174	76	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
175	75	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
176	251	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
177	259	Av. Sitio Grande #2000, Edif. 3, Piso 1, Fracc. Carrizal	Villahermosa	Tab.	86035	México
178	247	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
179	343	Cerro Chinaco #121, Col. Campestre Churubusco	México	D.F.	04200	México
180	306	Av. Del Parque #1310, Mesa de Otay	Tijuana	B.C.	25510	México
181	186	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
182	188	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
183	187	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
184	289	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
185	77	Av. México #120, Col. Del Carmen	México	D.F.	04100	México
186	78	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
187	331	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
188	316	Siracusa #130, Edif. 5-B-22, Col. Lomas Estrella	México	D.F.	09890	México
189	332	Edificio "U", Cd. Universitaria	Morelia	Mich.	58070	México
190	80	De la Rivera #21	Hermosillo	Son.	83288	México
191	79	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
192	340	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
193	82	Colegio Militar #192, Col. Esterito	La Paz	B.C.S.	23020	México
194	81	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
195	349	Corrensstr 24 D-48149	Munster		48149	Germany
196	411	Edificio 17, Depto. 12, Fracc. Las Brisas, Talcolutla	Ciudad del Carmen	Camp.	24178	México
197	190	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
198	90	Fuente de la Juventud #64, Fracc. Tecamachalco	Naucalpan	EdoMéx	53950	México
199	387	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
200	138	Apdo. Postal #51	Puebla	Pue.	72000	México
201	83	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
202	84	Pedro Noriega #569 Sur	Linares	N.L.	67700	México
203	283	222 Vista Avenue	Pasadena	CA.	91107	USA
204	40	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
205	261	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
206	87	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
207	192	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
208	216	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
209	193	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
210	385	Arizona State University, PO Box 875306	Tempe	Arizona	85287-5306	USA
211	262	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	21100	México
212	376	José M. Salvatierra #33, Col. Los Arcos	Hermosillo	Son.	83250	México
213	155	Paseo Cuauhnahuac #8532, Col. Progres	Jiutepec	Mor.	62550	México
214	414	Av. Dr. Manuel Nava #5, Zona Universitaria	San Luis Potosí	S.L.P.	78240	México
215	301	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
216	89	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
217	88	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
218	308	Retorno Mondorica #2056, Col. Infonavit	La Paz	B.C.S.	23070	México
219	380	Ley Federal del Trabajo s/n y Perimetral, Col. Apolo	Hermosillo	Son.	83100	México
220	191	Eje Central Lázaro Cárdenas #152, Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	07730	México
221	338	Apdo. Postal #128	La Paz	B.C.S.	23000	México
222	339	Km 0.5, Carret. Al Conchalito	La Paz	B.C.S.	23000	México
223	91	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
224	269	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
225	282	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
226	236	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	La Paz	B.C.S.	23096	México
227	428	La Paz #63, Casa #51, Atemajac del Valle	Zapopan	Jal.		México
228	368	Burgweg 11	Jena		07749	Germany
229	102	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
230	93	Av. De los Maestros y Mariano Bárcena,	Guadalajara	Jal.	44260	México
231	381	Av. Purísima y Michoacán, Col. Vicentina	México	D.F.	09340	México
232	297	Av. Complutense s/n	Madrid	Madrid	28040	España
233	164	625 W. Chestnut St.	Lancaster	PA.	17604	USA
234	293	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
235	2	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
236	348	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
237	194	Km 1, Carret. San Juan de la Costa, Col. El Comitán	La Paz	B.C.S.	23000	México
238	9	Carret. Al Sur Km 5.5	La Paz	B.C.S.	23080	México
239	373	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
240	408	Km 5.5, Carret. Al Sur, Zona Universitaria	La Paz	B.C.S.	23080	México
241	422	Blvd. Transversal y Rosales s/n, Zona Centro	Hermosillo	Son.	83000	México
242	404	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
243	92	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
244	273	Av. Vallarta #2602, Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	44100	México
245	96	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
246	367	Las Lichis #1839, Fracc. La Campiña	Culiacán	Sin.	80060	México
247	287	Campos Eliseos #345, Piso 16, Col. Polanc	México	D.F.	11550	México
248	313	810 Pacific Ave.	Edinburg	TX.	78539	USA
249	200	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
250	97	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. De Guadalupe	Linares	N.L.	67700	México
251	198	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
252	11	Av. Ticomán #600, Col. San José Ticomán	México	D.F.	07340	México
253	274	Av. Las Praderas #320, Prados Vallarta	Zapopan	Jal.	45020	México
254	57	La Darse B-P #48	Villefranche sur Mer	Paris	06230	France
255	94	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Nombre	Institución	Correo Electrónico
256	323			X				Milan Valdés Marcos	IPN	milan@mexico.com
257	202						X	Miranda Miranda Ubaldo	IIE	umiranda@iie.org.mx
258	98					X		Mitre Salazar Luis M.	UNAM	lmitre@servidor.unam.mx
259	388					X		Molina Garza Roberto	UNAM	rmolina@unicit.unam.mx
260	99	X	X		X			Montesinos Silva Genaro	UGTO	genaros@dulcinea.ugto.mx
261	419						X	Montijo González Alejandra	USON	amontijo@geologia.uson.mx
262	196		X	X		X	X	Monzón César Octavio	UDG	monzon@cucei.udg.mx
263	195						X	Moraila V. Carlos R.	UAS	cmoraila@uas.uasnet.mx
264	203			X				Morales Blake Alejandro	UCOL	mblake@volcan.ucol.mx
265	197	X	X			X		Moran Zenteno Dante J.	UNAM	dante@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
266	101	X	X	X	X	X		Morandi Soana María T.	Universidad de Los Andes	maria@ciens.ula.ve
267	270	X	X		X	X		Mortera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	carlosm@ollin.igeofcu.unam.mx
268	406						X	Mouloud Bennami	UNAM	
269	265	X						Moya Juan Carlos	University of Colorado	moya@creep.colorado.edu
270	95	X	X	X				Munguía Orozco Luis	CICESE	lmunguia@cicese.mx
271	302			X	X	X		Muñoz Diosdado Alejandro	IPN	amunoz@acei.upibi.ipn.m
272	328					X		Murillo Nava Janette	IPN	
273	199	X	X		X	X		Murrieta Hernández José L.	UV	josel@dino.coacade.uv.mx
274	374					X		Nájera Garza Jesús		jng1207@hotmail.com
275	103		X		X		X	Natividad Baizabal Miguel Á.	UV	navidad@dino.coacade.uv.mx
276	410						X	Nava de la Riva Julio C.	Gob. Edo. Zacatecas	
277	104	X	X	X	X	X	X	Nava Pichardo Alejandro F.	CICESE	fnava@cicese.mx
278	290	X	X		X			Nava Sánchez Enrique H.	IPN	enava@redipn.ipn.mx
279	266			X				Nevárez Martínez Manuel O.	INP	nevarez@altavista.net
280	416					X		Nieto Obregón Jorge	UNAM	nieto@servidor.unam.mx
281	105	X	X		X	X	X	Nieto Samaniego Ángel Fco.	UNAM	afns@unicit.unam.mx
282	312		X	X		X		Norzagaray Campos Mariano	IPN	nmunoz@debte.com.mx
283	106	X	X	X	X	X	X	Núñez Cornú Francisco J.	UDG	fcornu@vallarta.cuc.udg.mx
284	370				X	X		Núñez Peralta Marco A.	UAM	manp@xanum.uam.mx
285	108					X	X	Obeso Nieblas Maclovio	IPN	mniebla@redipn.ipn.mx
286	107	X	X	X		X		Ocampo Torres Francisco J.	CICESE	ocampo@cicese.mx
287	204	X		X	X	X		Ochoa De la Torre José L.	CICESE	jchoa@cicese.mx
288	206	X	X			X		Oda Noda Bertha	UNAM	
289	356				X	X		Oesterreich Masuch Dirk	UANL	dmasuch@ccr.dsi.uanl.mx
290	327		X	X				Olenshko Lutkova Klaudia	UNAM	olechko@servidor.unam.mx
291	420						X	Olivos Ortiz Aramis	UCOL	
292	353					X		Oropeza Villalobos Beatriz	UNAM	
293	249	X	X	X	X		X	Orozco Esquivel María T.	UNAM	torozco@unicit.unam.mx
294	286	X	X	X				Orta Francisco	APASC	
295	281			X				Ortega Guerrero Marcos A.	UNAM	maog@servidor.unam.mx
296	417						X	Ortega Guerrero Beatriz	UNAM	
297	210			X		X		Ortega Rivera María A.	UNAM	amabel@servidor.unam.mx
298	326		X	X		X		Ortiz Alemán Carlos	FJBS	carlosa@servidor.unam.mx
299	126						X	Oskin Michael	CALTECH	
300	359				X	X		Ostroumov Mikhail	UMICH	ostroum@zeus.umich.mx
301	111	X	X	X	X	X	X	Pacheco Alvarado Francisco J.	UNAM	javier@ollin.igeofcu.unam.mx
302	242	X						Padilla Arredondo Gustavo	CIBNOR	gpadilla@cibnor.mx
303	237	X		X		X		Pal Verma Jaiswal Mahendra	IIE	mahendra@iie.org.mx
304	109		X					Palma Guzmán Sergio H.	CFE	
305	110		X					Palma Pérez Oswaldo	CFE	
306	398						X	Paniagua Quiroga Jesús D.	UV	
307	115	X	X	X	X			Pavía López Edgar G.	CICESE	epavia@cicese.mx
308	118		X					Payero De Jesús Juan S.	U. Autónoma de Sto. Domingo	jpayero@tricom.net
309	116	X	X	X	X			Paz Moreno Francisco A.	USON	paz@marina.geologia.uson.mx
310	42	X			X			Pedrin Aviles Sergio	CIBNOR	spedrin@cibnor.mx
311	159			X	X	X		Peláez Salvador Roberto	PEMEX	pelaez_fi_unam@yahoo.com
312	320		X					Peraza Vizcarra Ramón	UAS	
313	114	X			X	X		Pereyra Díaz Domitilo	UV	dpereyra@speedy.coacade.uv.mx
314	207		X	X	X	X	X	Pérez de Tejada Héctor	UNAM	hector@ifunam.ifisicaen.unam.m
315	209		X		X	X		Pérez Enríquez Román	UNAM	roman@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
316	425						X	Pérez Flores Marco Antonio	CICESE	mperez@geofisica.cicese.mx
317	254			X				Pérez García Ismael	UNAM	ismael@servidor.unam.mx
318	112		X	X				Pérez Rocha Luis Eduardo	FJBS	
319	352				X	X		Pérez Sesma José Antonio A.	UV	pereyra@dino.coacade.uv.mx
320	113	X	X	X	X	X		Pérez Venzor José Antonio	UABCS	japerez@calafia.uabcs.mx
321	421						X	Pervago Evgueni	IMP	
322	146	X	X		X			Peterson Villalobos Héctor	LIBRA	libra@telnor.net
323	117				X			Pola Simuta Cosme	UANL	cpola@ccr.dsi.uanl.m
324	402						X	Posada Sánchez A.E.	BUAP	
325	291	X						Prieto Mendoza Jesús José	UABCS	jprieto@calafia.uabcs.m
326	397					X	X	Quintero Núñez Margarito	UABC	
327	358	X	X		X			Ramírez Aguilar Isabel	CICESE	iramirez@cicese.mx
328	294	X	X	X	X			Ramírez Hernández Jorge	UABC	iramirez@iing.mx1.uabc.mx
329	277		X	X	X			Ramírez Herrera María T.	California State University	ramirez@csulb.edu
330	220	X	X	X	X	X		Ramírez Ruiz Juan José	UCOL	ramirez@cgic.ucol.mx
331	121	X	X	X	X			Ramírez Trejo Ana Rosa		
332	122	X						Ramírez Vázquez Carlos A.	UCOL	carlosr@cgic.ucol.mx
333	120			X				Ramos Jiménez Esteban	CENAPRED	erj@cenapred.unam.mx
334	309		X					Ramos Leal José Alfredo	IPN	
335	7					X		Ramos Martínez Jaime	IMP	jrmartin@imp.mx
336	119	X	X	X	X	X	X	Randall Roberts John	UGTO	randall@redes.imt.com.mx
337	123	X		X	X	X		Rebollar Bustamante Cecilio J.	CICESE	rebollar@cicese.mx
338	124	X	X	X	X	X	X	Reyes Dávila Gabriel Ángel	UCOL	gabrielr@cgic.ucol.mx
339	344				X			Reyes Rodríguez de la Gala J.	CICESE	jreyes@cicese.mx
340	346				X			Reyes Trujequé Javier	UACAMP	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002 Continuación

No.	Miembro	Dirección	Ciudad	Estado	C.P.	País
256	323	Acueducto #63, Col. Acueducto de Guadalupe	México	D.F.	01120	México
257	202	Av. Reforma #113, Col. Palmira	Temixco	Mor.	62490	México
258	98	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
259	388	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
260	99	Apdo. Postal #311, Zona Centro	Irapuato	Gto.	36500	México
261	419	Blvd. Transversal y Rosales s/n, Zona Centro	Hermosillo	Son.	83000	México
262	196	Blvd. M. García Barragán y Corregidora	Guadalajara	Jal.	44421	México
263	195	Mutualismo #1277, Fracc. Los Pinos	Culiacán	Sin.	80120	México
264	203	Villa Florencia #54, Fracc. Soleares	Manzanillo	Col.	28869	México
265	197	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
266	101	La Hechicera	Mérida	Mérida	05101	Venezuela
267	270	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
268	406	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
269	265	1300, 30th, A1-24	Boulder	CO.	80303	USA
270	95	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
271	302	Valle del Po #16, Valle de Aragón	Ecatepec	EdoMex.	55280	México
272	328	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	La Paz	B.C.S.	23096	México
273	199	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	Xalapa	Ver.	91090	México
274	374	Ventura Salazar #334-2, Zona Centro	Zacatecas	Zac.	98000	México
275	103	Apdo. Postal #178, Zona Centro	Xalapa	Ver.	91000	México
276	410	Rebote de Barbosa #605, Zona Centr	Zacatecas	Zac.	98000	México
277	104	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
278	290	Apdo. Postal No. 592	La Paz	B.C.S.	23000	México
279	266	Blvd. Las Plazas #75, Fracc. Las Plazas	Guaymas	Son.	85430	México
280	416	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
281	105	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
282	312	Av. Ticoman #600, Col. San José Ticoman	México	D.F.		México
283	106	Apdo. Postal No. 96-B	Puerto Vallarta	Jal.	48280	México
284	370	Apdo. Postal No. 55-534	México	D.F.	09340	México
285	108	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	La Paz	B.C.S.	23096	México
286	107	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
287	204	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
288	206	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
289	356	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. De Guadalupe	Linares	N.L.	67700	México
290	327	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
291	420	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastián	Colima	Col.	28045	México
292	353	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
293	249	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
294	286	Campus Eliseos #345, Piso 16, Col. Polanc	México	D.F.	11550	México
295	281	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
296	417	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
297	210	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	Querétaro	Qro.	76001	México
298	326	Carret. Al Ajusco #203, Col. Héroes de Padierna	México	D.F.	14200	México
299	126	11507 N. Poema Place 201	Chatsworth	CA	91311	USA
300	359	Edificio "U", Cd. Universitaria	Morelia	Mich.	58070	México
301	111	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
302	242	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	85465	México
303	237	Av. Reforma #113, Col. Palmira	Temixco	Mor.	62490	México
304	109	Lic. Ángel Compers #65, Col. Dr. Miguel Silva	Morelia	Mich.	58120	México
305	110	El Greco #5181, Col. Real Vallarta	Zapopan	Jal.	45020	México
306	398	Loma del Estadio s/n, Cd. Universitaria	Xalapa	Ver.	91090	México
307	115	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
308	118	Ciudad Universitaria	Santo Domingo	Santo Domingo		República Dominicana
309	116	Apdo. Postal No. 847, Zona Centr	Hermosillo	Son.	83000	México
310	42	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	85465	México
311	159	Manzana No. 72, Lote 1, Fracc. José M. Morelos, 5a. Sección	Ecatepec	EdoMex.	55070	México
312	320	No tiene	Mazatlán	Sin.		México
313	114	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	Xalapa	Ver.	91090	México
314	207	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
315	209	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
316	425	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
317	254	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
318	112	Santa María #214, Col. Malinalco	Azcapotzalco	EdoMex.		México
319	352	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	Xalapa	Ver.	91090	México
320	113	Km 5.5, Carret. Al Sur, Zona Universitaria	La Paz	B.C.S.	23000	México
321	421	Eje Central Lázaro Cárdenas #152, Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	07730	México
322	146	Priv. Ixtlachiutl #100, Col. La Sierra	Tijuana	B.C.	22170	México
323	117	16 de Septiembre #606 Poniente	Linares	N.L.	67770	México
324	402	Blvd. Valsequillo y Circuito CU, Cd. Universitaria	Puebla	Pue.		México
325	291	Retorno Mango #1855, Col. Infonavit	La Paz	B.C.S.	23070	México
326	397	Av. Gran Lago de los Osos #964, Jardines del Lago, 1ª Sección	Mexicali	B.C.	21330	México
327	358	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
328	294	P.O. Box 3439	Calexico	CA.	92232	USA
329	277	1250 Bellflower Boulevard	Long Beach	CA.	90840	USA
330	220	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastián	Colima	Col.	28045	México
331	121	Apdo. Postal No. 343	Ajijic	Jal.	45920	México
332	122	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastián	Colima	Col.	28045	México
333	120	Av. Delfín Madrigal #665, Col. Pedregal de Santo Domingo	México	D.F.	04360	México
334	309	Av. Hornos #1003, Col. Ampliación Indeco	Xoxocotlan	Oax.	71230	México
335	7	Eje Central Lázaro Cárdenas #152, Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	07730	México
336	119	Mineral de la Valenciana #2, Col. Marfil	Guanajuato	Gto.	36250	México
337	123	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
338	124	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastián	Colima	Col.	28045	México
339	344	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
340	346	Agustín Melgar s/n	Campeche	Camp.		México

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Nombre	Institución	Correo Electrónico
341	260		X					Reyes Zamora César Alfonso	CICESE	reyesz@cicese.mx
342	219					X		Rivera Rodríguez Jesús	UNAM	jrivera@servidor.unam.mx
343	329		X					Rocha Fernández José Luis	UV	abraxas@speedy.coacadu.uv.mx
344	217				X	X	X	Rodríguez Castañeda José L.	UNAM	jlrod@servidor.unam.mx
345	215	X						Rodríguez Castillo Ramiro	UNAM	rrdz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
346	256		X	X			X	Rodríguez González Miguel	UNAM	mrrod@gea.iingen.unam.mx
347	127		X	X				Rodríguez Ramírez Joel	CICESE	joel@geofisica.cicese.mx
348	314		X					Rodríguez Zuñiga José Luis	FJBS	sanz@mpsnet.com.mx
349	218					X	X	Roldán Quintana Jaime	UNAM	jaimer@servidor.unam.mx
350	413						X	Romero de la Cruz Oscar M.	UNAM	oromero@geologia.unam.mx
351	221	X	X			X		Romero Espejel Héctor	CICESE	hromero@pangea.cicese.mx
352	246	X						Romero Pascual Mercedes	UCM	romero@eucmos.sim.ucm.es
353	125	X	X	X	X	X	X	Romo Jones José Manuel	CICESE	jromo@geofisica.cicese.mx
354	213	X		X			X	Ronquillo Jarrillo Gerardo	IMP	gerardo@orion.expl.imp.mx
355	268	X						Rosales Álvarez Julio	CFE	
356	267	X						Rosales Grano Pedro	SEP	
357	253	X		X	X	X	X	Rosas Helguera José	UDG	jrosas@quantum.ucting.udg.mx
358	322			X	X		X	Royo Ochoa Miguel	UACH	
359	278	X						Rubio Culebras Eduardo	CSIC	erubio@ija.csic.es
360	401						X	Rueda Gaxiola Jaime	IPN	
361	140	X	X	X	X	X	X	Sabina Ciscar Federico	UNAM	fjs@uxmym1.iimas.unam.mx
362	383					X		Sakai Ricardo K.	State University of New York	sakai@ascr.cstm.albany.edu
363	212	X						Saldívar Medina Eric	UMICH	saldivar@zeus.umich.mx
364	264			X				Salinas Prieto José Antonio	IMTA	jsalinas@tialoc.imta.mx
365	392					X		Sánchez Carrillo Salvador	ITSON	sscarril@itson.mx
366	325		X				X	Sánchez Gómez Rubén	UDG	rubens@udgserv.cencar.udg.mx
367	128	X	X					Sánchez Monclú Alfredo	IMP	alfredo_sanchez@hotmail.com
368	223				X			Sánchez Pérez Juan	CFE	jsanchez@cfe.gob.mx
369	129		X		X		X	Sánchez Zamora Osvaldo	UNAM	osvaldo@ollin.igeofcu.unam.mx
370	139	X						Santamaría Saldaña Dora E.	CFE	sismo00@cfe.gob.mx
371	227	X		X		X		Sarmiento López Citlali	IMP	csarmien@imp.mx
372	201			X				Sawada Munehisu	CENAPRED	sawada@cenapred.unam.mx
373	131	X	X	X	X			Schaaf Peter	UNAM	pschaaf@tonatiuh.igeofcu.unam.m
374	389					X		Schiller Friedrich	Universita Et Jena	mail@geo.uni-jena.de
375	382					X		Sekerzh Zenkovich Sergey	UDG	seker@ccip.udg.m
376	337		X					Shultz David M.	NSSL	schultz@nssl.noaa.gov
377	134		X	X	X	X	X	Silva García José Teodoro	IPN	tsilva@redipn.ipn.mx
378	1	X	X	X	X	X	X	Singh Shri Krishna	UNAM	krishna@ollin.igeofcu.unam.mx
379	133		X	X				Skiba Yuri Nickolaevich	UNAM	skiba@servidor.unam.mx
380	224		X			X		Soler Arechalde Ana María	UNAM	anesoler@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
381	424						X	Solis Pichardo Gabriela	UNAM	
382	135				X			Sosa Uscanga Ignacio	UV	
383	363				X			Sotelo Parra Anselmo	Gob. Edo. Morelos	
384	365				X			Staines Urias Francisca	UABC	
385	136	X	X	X	X	X		Steinlich Birgit	UNAM	birgit@unicit.unam.m
386	226	X	X	X	X	X	X	Stock Joanne M.	CALTECH	jstock@gps.caltech.edu
387	276	X			X			Suárez Arriaga Mario César	UNAM	msuarez@zeuz.ccu.umich.m
388	132		X	X	X	X	X	Suárez Plascencia Carlos	UDG	csuarez@udgserv.cencar.udg.m
389	225	X						Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	gerardo@ollin.igeofcu.unam.mx
390	137	X			X	X	X	Suárez Vidal Francisc	CICESE	fsuarez@pangea.cicese.mx
391	222	X						Suter Cargnelutti Max	UNAM	sutermx@aol.com
392	231			X				Talavera Mendoza Osca	UAEG	
393	319		X					Tapia Armenta Juan	IPN	jftapia@citedi.m
394	145	X		X	X			Taran Yuri	UNAM	taran@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
395	141				X	X	X	Tejeda Martínez Adalberto	UV	atejeda@uv.mx
396	330			X				Téllez Duarte Miguel Ángel	UABC	
397	142	X	X	X	X	X		Tereshchenko Irina E.	UDG	itereshc@ccip.udg.mx
398	230	X	X	X	X		X	Tolson Jones Gustavo	UNAM	tolson@servidor.unam.mx
399	144				X	X	X	Torres Hernández José Ramón	UASLP	
400	263	X	X	X				Torres Orozco Ernesto	UCOL	etorres@cgic.ucol.mx
401	228	X	X			X		Trasviña Castro Armando	CICESE	trasvi@cicese.mx
402	386				X	X		Ulacco Humberto	U. Autónoma de San Luis	
403	271	X	X			X	X	Urrutia Fucugauchi Jaime	UNAM	juf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
404	355				X			Vai Rossana	IMP	
405	241			X		X		Valdés González Carlos	UNAM	carlos@ollin.igeofcu.unam.m
406	393					X		Valencia Moreno Martín A.	UNAM	
407	86	X	X	X	X	X	X	Valenzuela Wong Raúl	UNAM	raul@ollin.igeofcu.unam.m
408	229			X				Valle Levinson Arnoldo	Old Dominion University	arnoldo@ccpo.odu.edu
409	147	X	X	X	X	X		Vázquez González Rogelio	CICESE	rvazquez@geofisica.cicese.mx
410	311		X	X				Vázquez Jaimes María E.	Environ Inter. Co.	evazquez@environcorp.com
411	335		X					Vega Granillo Ricardo	USON	rickvega@geologia.uson.mx
412	238	X						Velasco Clímato Nécto	IMP	nvelasco@imp.mx
413	239			X				Venegas Salgado Saúl	CFE	cfeinf@mail.giga.com
414	342				X			Vera Sánchez Jorge Ramón	PEMEX	
415	100	X			X	X		Victoria Morales Alfredo	UNAM	victoria@servidor.unam.mx
416	234	X	X	X	X	X	X	Vidal Villegas Antonio	CICESE	vidalv@cicese.mx
417	240	X	X					Villanueva Urrutia Elba E.	UNAM	eevu@atmosfera.unam.mx
418	279	X				X	X	Villegas García César J.	SCINTREX	cvillega@intercable.ne
419	148	X						Villicaña Cruz Francisco J.	UNAM	
420	345			X	X		X	Watts Christopher	IMADES	
421	149	X	X	X	X	X		Wong Ortega Víctor M.	CICESE	vwong@cicese.mx
422	185	X	X	X	X	X		Yussim Guarneros Sergio	UNAM	yussim@servidor.unam.mx
423	151	X	X		X	X		Zárate Del Valle Pedro F.	UDG	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
424	321		X					Zárate Vázquez María	UNAM	mariaz@servidor.unam.mx
425	56		X					Zavala Jorge	UNAM	jgs@servidor.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002 Continuación

No.	Miembro	Dirección	Ciudad	Estado	C.P.	País
341	260	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
342	219	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
343	329	Altamirano #99, Zona Centro	Xalapa	Ver.	91000	México
344	217	Misión de la Caborica @14, Col. Bachoco	Hermosillo	Son.	83148	México
345	215	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
346	256	Río Bamba #674, Col. Lindavista	México	D.F.	70472	México
347	127	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
348	314	Carret. Al Ajusco #203, Col. Héroes de Padierna	México	D.F.	14200	México
349	218	Quinta Mayor #133, Col. Las Quintas	Hermosillo	Son.	83240	México
350	413	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centr	Hermosillo	Son.	83000	México
351	221	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
352	246	Av. Complutense s/n	Madrid	Madrid	28040	España
353	125	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
354	213	Eje Central Lázaro Cárdenas #152, Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	07730	México
355	268	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	21100	México
356	267	Km 4, Carret. A Varadero Nacional, Sector Playitas	Guaymas	Son.	85480	México
357	253	Apdo. Postal No. 4-045, Sector Reforma	Guadalajara	Jal.	44840	México
358	322	Priv. Altamirano #3511, Col. Santo Niño	Chihuahua	Chih.	31320	México
359	278	Luis Solé i Sabaris s/n	Barcelona	Barcelona	08028	España
360	401	Golondrina #53, Col. M. del Bosque	Atizapán	EdoMéx.	54500	México
361	140	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
362	383	251 Fuller Road	Albany	NY.	12203	USA
363	212	Ganadería La Laguna #38, Col. Jardines del Toreo	Morelia	Mich.		México
364	264	Paseo Cuauhnahuac #8532, Col. Progres	Jiutepec	Mor.	62550	México
365	392	5 de Febrero #818 Sur, Zona Centr	Ciudad Obregón	Son.		México
366	325	Blvd. M. García Barragán y Corregidora	Guadalajara	Jal.	44421	México
367	128	Apdo. Postal No. 224, Oficina de Corre	Cd. Del Carmen	Camp.	24101	México
368	223	Oklahoma #85, Piso 4, Col. Napoles	México	D.F.	03810	México
369	129	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
370	139	Zaragoza #17, Col. Tulyahualc	México	D.F.	16700	México
371	227	Calle 42 #28, Col. Tacubaya	Ciudad del Carmen	Camp.		México
372	201	Av. Delfín Madrigal #665, Col. Pedregal de Santo Domingo	México	D.F.	04360	México
373	131	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
374	389	D-07740	Jena			Germany
375	382	Blvd. M. García Barragán y Corregidora	Guadalajara	Jal.	44421	México
376	337	1313 Halley Circle	Norman	OK.	73069	USA
377	134	Justo Sierra #28	Jiquilpan	Mich.		México
378	1	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	B.C.	04510	México
379	133	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
380	224	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
381	424	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
382	135	Loma del Estadio s/n, Cd. Universitaria	Xalapa	Ver.	91000	México
383	363	8 Norte, Manzana 262, Lote 11, Col. Los Robles	Jiutepec	Mor.	62500	México
384	365	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
385	136	Campus Juriquilla, Dom. Conocido	Juriquilla	Qro.	76001	México
386	226	2824 Shakespeare Drive	San Marino	CA.	91108	USA
387	276	Patzimba #438, Col. Vistabella	Morelia	Mich.	58090	México
388	132	Kilimanjaro #1727, Sector Independencia	Guadalajara	Jal.	44240	México
389	225	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
390	137	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
391	222	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centr	Hermosillo	Son.	83000	México
392	231	Ex-Hacienda de San Juan Bautista, Taxco El Viejo	Taxco	Gro.	40200	México
393	319	Av. Del Parque #310, Col. Mesa de Otay	Tijuana	B.C.	22510	México
394	145	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
395	141	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	Xalapa	Ver.	91090	México
396	330	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
397	142	Río Autlán #2180-34, Sector Atlas	Guadalajara	Jal.	44421	México
398	230	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
399	144	Av. Dr. Manuel Nava #5, Zona Universitaria	San Luis Potosí	S.L.P.	78240	México
400	263	Constitución #37, Col. Morelos	Manzanillo	Col.	28217	México
401	228	Miraflores #334, entre Mulegé y La Paz, Fracc. BellaVista	La Paz	B.C.S.	23050	México
402	386	Chacabuco #917-5700	San Luis	San Luis		Argentina
403	271	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
404	355	Eje Cantrel Lázaro Cárdenas #152, Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	07730	México
405	241	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
406	393	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centr	Hermosillo	Son.	83000	México
407	86	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
408	229	768 52nd St.	Norfolk	VA.	23529	USA
409	147	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
410	311	707 Wishire Boulevard, Suite 4950	Los Angeles	CA.	90017	USA
411	335	Blvd. Transversal y Rosales s/n, Zona Centro	Hermosillo	Son.	83000	México
412	238	Calle 42 #28, Col. Tacubaya	Ciudad del Carmen	Camp.		México
413	239	Alejandro Volta #655, Col. Electricistas	Morelia	Mich.	58290	México
414	342	Isidoro Olvera #26, Col. Presidente Ejidal	México	D.F.	00440	México
415	100	Luis Martínez del Campo #39, Col. Romero de Terrero	México	D.F.	04310	México
416	234	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
417	240	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
418	279	Sierra Nevada #207, Col. Villas del Valle	Garza García	N.L.	66288	México
419	148	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
420	345	Reyes y Aguascalientes s/n, Col. San Benito	Hermosillo	Son.	83190	México
421	149	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860	México
422	185	Atotonilco #88, Col. San Felipe de Jesús	México	D.F.	07510	México
423	151	Av. Revolución #1500	Guadalajara	Jal.	44410	México
424	321	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	México	D.F.	04510	México
425	56	Parque del Conde #12, Col. San José Insurgentes	México	D.F.	03900	México

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Nombre	Institución	Correo Electrónico
426	295						X	Zavala Sanson Luis	CICESE	lzavala@cicese.mx
427	150	X	X	X	X	X		Zobin Vyacheslav M.	UCOL	vzobin@cgic.ucol.mx
428	211						X	Zuñiga Davila-Madrid F. Ramón	UNAM	ramon@conin.unicit.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2002 Continuación

No.	Miembro	Dirección	Ciudad	Estado	C.P.	País
426	295	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	Ensenada	B.C.	22860-	México
427	150	Av. 25 de Julio #965, Col. Villas San Sebastian	Colima	Col.	28045-	México
428	211	Tanganitos #1	Guanajuato	Gto.	36000-	México



**SERVICIO ANALÍTICO DEL LABORATORIO DE RAYOS X
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM
LISTA DE PRECIOS 1997-98**



**RESPONSABLE: QUÍM. RUFINO LOZANO SANTA CRUZ
DEPTO DE GEOQUÍMICA**

Cd. Universitaria, C.P. 04510, México, D.F.

Fax: (5)622-4317

E-mail: rufino@servidor.unam.mx

**FLUORESCENCIA DE RAYOS X
ANÁLISIS CUANTITATIVO DE ROCA TOTAL Y DE MINERALES
(ESPECTRÓMETRO SECUENCIAL SIEMENS 3000 AUTOMATIZADO)**

25 Elementos Mayores y Traza

(Si, Ti, Al, Fe total, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, Ga, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Sc y Th) + (Pérdida por calcinación)

Precio Comercial	\$480.00/muestra (60 USCy)
Instituciones de Investigación	\$320.00/muestra (40 USCy)
Precio por muestras urgentes en lotes de <20	\$720.00/muestra
Muestras de difícil proceso (carbonatos, arcillas, sulfuros >2%)	\$100.00 por hora adicional preparación

10 Elementos Mayores y Pérdida por Calcinación o 15 Elementos Traza

Precio Comercial	\$260.00/muestra
Instituciones de Investigación	\$180.00/muestra

Determinaciones Complementarias

Pérdida por calcinación	\$60.00/muestra
Fe ⁺²	\$80.00/muestra
Análisis semicuantitativo reportando hasta 62 elementos	\$220.00/muestra

**ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CRISTALINOS
(DIFRACTÓMETRO PHILIPS)**

Tiempo de Haz	\$160.00/hora
Tiempo de Haz con nuestro operador	\$320.00/hora

Favor de enviar las muestras y la solicitud de servicio a:
Rufino Lozano y/o Patricia Girón
Instituto de Geología, UNAM
Laboratorio de Rayos X
Circuito de la Investigación Científica
Cd. Universitaria, D.F., 04510, México
Tel.: (5) 622-4319

Nota: Sin la solicitud de análisis y la lista de muestras no se iniciará ningún estudio.
Las muestras deberán ser enviadas en polvo molido (al menos 20 g), aproximadamente a 200 mallas, en caso de requerir del uso del taller de molienda del IGLUNAM, el cargo será de \$75.00/hora.



Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA GEOFÍSICA APLICADA SISMOLOGÍA

Geología
Estructural
Geología Marina
Geocronología
Vulcanología
Estratigrafía
Petrología
Tectónica
Geoquímica
Sensores Remotos

Exploración Geofísica
Simulación Numérica
Problemas Inversos
Electromagnetismo
Geofísica Marina
Geohidrología

Estudios de
Microsismicidad
Peligro y Riesgo
Sísmico
Problemas Inversos
Sismología Teórica
Fuentes Sísmicas
Sismotectónica

**Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada**

Para mayores informes dirigirse a:

CICESE

Dirección de Estudios de Posgrado
Apartado Postal 2732
Km 107, Carretera Tijuana-Ensenada
Ensenada, Baja California
C.P. 22860, México
Tel. 01(646)174-5050 Ext. 23001
Fax: 01(646)174-4880
<http://www.cicese.mx>



**INSTITUTO DE GEOFÍSICA
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA
FACULTAD DE CIENCIAS
FACULTAD DE INGENIERÍA**



La Universidad Nacional Autónoma de México, a través de estas entidades, ofrece estudios de maestría y doctorado en el marco del programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, comprendiendo más de 50 líneas de investigación bajo la dirección de más de 120 tutores que estudian diferentes campos del conocimiento como:

***AGUAS SUBTERRÁNEAS
ESTRATIGRAFÍA
EXPLORACIÓN
FÍSICA DE LA ATMÓSFERA
FÍSICA DEL INTERIOR DE LA TIERRA
FÍSICA ESPACIAL
GEOLOGÍA AMBIENTAL***

***GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA
GEOQUÍMICA Y PETROLOGÍA
MODELACIÓN MATEMÁTICA Y
COMPUTACIONAL DE SISTEMAS TERRESTRES
SISMOLOGÍA
VULCANOLOGÍA***

SEDE

La sede del Posgrado se ubica en Ciudad Universitaria en la Cd. de México, aunque también pueden realizarse estudios de posgrado en las Unidades Regionales ubicadas en los Campus Juriquilla, Querétaro y Hermosillo, Sonora.

BECAS

Los estudiantes aceptados al Posgrado en Ciencias de la Tierra podrán aspirar a obtener una beca a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de la propia Universidad Nacional Autónoma de México, de la Secretaría de Relaciones Exteriores, de dependencias diversas de Intercambio Académico, de las embajadas de México en el extranjero, del Consorcio de Instituciones Latinoamericanas de Posgrado e Investigación, de la Secretaría de Educación Pública a través de sus programas PROMEP y SUPERA, de la Organización de Estados Americanos y del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

INFORMES E INSCRIPCIONES

Coordinación del Posgrado en Ciencias de la Tierra
Instituto de Geofísica, UNAM
Cd. Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, 04510, México, D.F.
Tels.: 52 (5) 622-4130, 622-4137 Fax: 52 (5) 622-4097
E-mail: coord@anahuac.igeofcu.unam.mx
<http://nundehui.igeofcu.unam.mx/posgrado.html>

M.C. José Sampedro García
Instituto de Ingeniería, UABC
sampedro@iing.mx1.uabc.mx

Dra. Rosa María Barragán Reyes
Depto. de Geotermia, IIE
rmb@iie.org.mx

Dr. Mahendra Pal Verma
Depto. de Geotermia, IIE
mahendra@iie.org.mx

Dr. Alfonso García Gutiérrez
Depto. de Geotermia, IIE
aggarcia@iie.org.mx

Ing. Fidel Cedillo Rodríguez
Gerencia Proy. Geotermoeléctricos, CFE
mmjh0529@cfe.gob.mx

M.C. Alfonso Aragón Aguilar
Depto. de Geotermia, IIE
aaragon@iie.org.mx



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA MEXICANA

La Asociación Geotérmica Mexicana (AGM) es una sociedad civil, no lucrativa, formada por profesionistas dedicados a los diversos aspectos relacionados con el aprovechamiento de la energía geotérmica. Fue fundada en 1992 para reforzar la colaboración académica, científica, industrial y tecnológica entre la comunidad geotérmica nacional y entre sus nexos internacionales. Su objetivo es difundir y promover las actividades de investigación, desarrollo y explotación de la energía geotérmica en México y en el extranjero, estableciendo un foro de análisis y discusión que permita intercambiar los conocimientos y experiencias de sus miembros. La AGM agrupa especialistas en diversas disciplinas, como: Física, Geología, Geoquímica, Geofísica, Ingeniería de Yacimientos, Ingeniería Industrial, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, etc. Actualmente es una organización miembro de la International Geothermal Association (IGA).

La Asociación Geotérmica Mexicana, invita a todos los profesionales y académicos relacionados con la Geotermia, a formar parte de nuestra asociación, contribuyendo así al fortalecimiento de nuestra comunidad.

<http://www.ugm.org.mx/agm>



MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA



EL DEPARTAMENTO DE FÍSICA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS DE LA U. DE G., OFRECE CURSOS DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA, CON ESPECIALIDAD EN:

FÍSICA DEL OCÉANO Y DE LA ATMÓSFERA

La maestría y el doctorado están dirigidos a egresados de las Licenciaturas en: Oceanografía, Meteorología, Física, Matemáticas o carreras afines al posgrado a juicio del comité consultivo. El programa de maestría está integrado al padrón de posgrados de excelencia del CONACYT, por lo que existe oportunidad de obtener beca por parte de éste, o del PROMEP.

**Informes al Tel/Fax: (3)619 82 92 y 619 80 54. Dra. Irina Tereshchenko
CUCEI, Módulo V**

E-mail: itereshc@ccip.udg.mx

Página WEB: <http://fisica.cucei.udg.mx>



Maestría y Doctorado en Ingeniería Hidráulica



La División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM ofrece cursos de maestría y doctorado en Ingeniería Hidráulica en sus instalaciones de Progreso, Morelos, México.

Las asignaturas que se imparten son, entre otras:

***Hidráulica General
Métodos Matemáticos
Mecánica de Fluidos
Hidrología de Superficie***

***Irrigación y Drenaje
Geohidrología
Métodos Numéricos
Obras Hidráulicas***

La maestría y el doctorado están dirigidos a egresados de Ingeniería Civil, Ciencias Agropecuarias y carreras afines. Estos cursos están apoyados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a través de becas, biblioteca, computadoras y laboratorios.

Informes al Tel. (73) 194-049 o 194-000, Ext. 532 con el Dr. Alvaro Muñoz en Paseo Cuaunáhuac #8532, Progreso, Morelos, México. C.P. 62550.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

POLÍTICA EDITORIAL

GEOS es el boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, se publica cuatrimestralmente y en él caben artículos de investigación y de divulgación, notas de investigación, reportes técnicos, comentarios, noticias, opiniones, anuncios y aspectos relevantes para la vinculación y difusión de las actividades científicas y docentes de las Ciencias de la Tierra. Los artículos de investigación publicados en **GEOS** deberán ser originales y podrán estar relacionados con cualquier área de las Ciencias de la Tierra, donde son particularmente bienvenidas todas aquellas contribuciones que coadyuven a su enseñanza.

Para facilitar su arbitraje, todos los manuscritos sometidos a **GEOS** deberán ser enviados por correo electrónico en atados compatibles con los procesadores de textos **WORD**. Todas las contribuciones deberán ser sometidas en Español y dirigidas al Editor de **GEOS** (ldelgado@cicese.mx).

Si el tema del manuscrito es relevante, el Editor Principal lo enviará a un miembro del Comité Editorial del boletín quien, si el trabajo es sometido como artículo de investigación, seleccionará dos o tres especialistas para revisar el manuscrito, o bien, un especialista, en caso de que el trabajo sea sometido como artículo de divulgación o como reporte técnico. Los revisores remitirán sus comentarios al Editor Principal junto con su recomendación. El Editor Principal puede rechazar, aceptar, o solicitar modificaciones al artículo, para lo cual enviará a los autores los comentarios de los revisores. Los trabajos que no sean de investigación o divulgación sólo serán revisados por alguno de los editores de la revista.

Publicar en **GEOS** es gratis, y se recomienda que los manuscritos no excedan 12 páginas en el formato de la revista (una página es equivalente a aproximadamente 3 cuartillas a doble espacio). Con excepción de las noticias, todas las contribuciones deberán incluir: título, resumen, introducción, una sección de métodos, una sección de resultados, una sección de discusión y conclusiones y una sección de referencias bibliográficas.

Cuando el autor reciba la noticia de aceptación, se le solicitará que envíe su manuscrito también por correo electrónico o bien, en disquette. Sugerimos que se utilicen los procesadores de textos **WORD**, aunque también se aceptarán en **ASCII**. Las ilustraciones que acompañen el manuscrito podrán ser enviadas, en cualquiera de los siguientes formatos: **TIF, EPS, PS, DXF, DWG, PDF, GIF, JPG** y **WMF**.

Si se desean sobretiros, el autor responsable deberá mencionarlo al editor al enviar la versión final de su artículo. Los sobretiros serán pagados por el autor, a razón de \$5.00 M.N. la página del artículo, multiplicado por el número de sobretiros solicitados.

RESUMEN

Al preparar su resumen tome en cuenta que éste deberá marcar los objetivos de la investigación, los resultados más importantes y las conclusiones alcanzadas. En el resumen no deben aparecer citas bibliográficas.

INTRODUCCIÓN

En la introducción se deberá presentar la naturaleza del problema, incluyendo una revisión adecuada de los antecedentes sobre el tema. El objetivo de la introducción es enmarcar el problema dentro del estado general del conocimiento en el área que le corresponde, y su función es la de motivar al lector en cuanto a la importancia del trabajo.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el trabajo deberá ser descrita con suficiente detalle, para que otros miembros de la comunidad puedan asimilar la metodología presentada. Secciones de interés marginal deberán ser diferidas a un apéndice.

RESULTADOS

Usualmente, los resultados de la aplicación de cualquier metodología, pueden ser presentados en forma de tablas o figuras. Evite la redundancia mediante una adecuada selección de sus resultados. Los pies de figura deberán ser lo suficientemente explicativos para resaltar la importancia de los resultados sin necesidad de acudir al texto.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Esta sección deberá incluir los principios, relaciones y generalizaciones inferidas a partir de los resultados. En esta sección se discutirán acuerdos y desacuerdos con trabajos publicados previamente, así como las implicaciones teóricas y las aplicaciones prácticas del trabajo.

REFERENCIAS

Todas las referencias deberán ser agrupadas en orden alfabético de autores. Si un autor es referenciado más de una vez el mismo año, utilice el sufijo, a, b, etc. para distinguir el trabajo citado. Aquellos manuscritos que no estén en prensa no deberán incluirse en las referencias. Sólomente cuando el manuscrito sea de divulgación o reporte técnico, se permitirá utilizar referencias no citadas en el texto.

FORMATO PARA CITAS

Para cada autor o co-autor, escriba con mayúscula únicamente la primera letra de los apellidos y después las iniciales. Utilice letras mayúsculas sólo en la primera letra del título y para los nombres propios. Incluya el nombre completo de la revista o editorial que la publicó, volumen y páginas. Por ejemplo:

- Alvarez-Borrego, S., 1996, Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity, *Geofísica Internacional*, v. 35, p. 51-61.
- Lomnitz, C., 1995, Diez años después: Una reinterpretación de la catástrofe de 1985. En: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, *La Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1)*, Unión Geofísica Mexicana, *Monografía No. 2*, p. 61-67.
- Ripa, P., y Velázquez, G., 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, v. 32, p. 41-56.
- Sánchez-Sesma, F.J., and Luzón, F., 1994, Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 85, p. 269-284.
- Winkler, H.G.F., 1967, *Petrogenesis of metamorphic rocks*, 2nd Ed., Springer-Verlag, New York, 237 pp.

UNIDADES

Con algunas excepciones, todas las unidades físicas deberán expresarse en el Sistema Internacional de unidades (SI). Las siguientes excepciones son aceptables:

densidad en g/cm³

presión en bar

intensidad del campo magnético en gammas

EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Escriba sus ecuaciones en la forma más simple posible, utilizando signos de puntuación. Utilice itálicas para todos los símbolos, exceptuando las letras griegas. Vectores y matrices se escribirán con tipo resaltado. Numere en forma consecutiva y utilice paréntesis para todas las ecuaciones que aparezcan en el texto.

FIGURAS

Por consideraciones de costo, únicamente se publicarán figuras en blanco y negro. Si las ilustraciones son elaboradas a mano, utilice tinta negra sobre papel albanene o mylar. Si las ilustraciones son elaboradas en computadora utilice una impresora láser.

Una vez concluido el proceso de arbitraje, el manuscrito será devuelto al primer o único autor con los comentarios de los árbitros y del editor. El manuscrito corregido en forma final será editado por el Editor Técnico de **GEOS**. No se enviarán pruebas de galera.

Cualquier cambio a la política editorial de **GEOS** se publicará en el primer número del año.

GEOS



FORMA DE ARBITRAJE (CUALQUIER TIPO DE TRABAJO)

AUTOR (ES): _____

TITULO: _____

	SI	NO	PARCIALMENTE
1.- ¿Contiene el trabajo datos o ideas que ameriten su publicación en GEOS ?	☐	☐	☐
2.- ¿Como lo clasificaría? (subrrayar) 1) Investigación, 2) Divulgación, 3) Noticia 4) Reporte Técnico			
3.- ¿Son válidas las observaciones y conclusiones?	☐	☐	☐
4.- ¿Son pertinentes y comprensibles el título y el resumen?	☐	☐	☐
5.- ¿Son necesarias y adecuadas las tablas y figuras presentadas?	☐	☐	☐
6.- ¿Son buenas la organización y presentación del trabajo?	☐	☐	☐
7.- ¿Es correcto el lenguaje científico?	☐	☐	☐
Sugerencias al (los) autor (es):			
a) Indicadas en hoja aparte	☐	☐	
b) Anotadas sobre el manuscrito	☐	☐	
Recomendación al Editor:			
a) El trabajo es aceptable en su forma actual	☐	☐	
b) El trabajo es aceptable con correcciones menores	☐	☐	
c) El trabajo puede ser aceptable después de ser corregido y evaluado de nuevo	☐	☐	
d) Comentarios confidenciales al editor en hoja aparte	☐	☐	

NOMBRE Y FIRMA
(opcional)

Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.
que la cuota para el 2002 es de \$350.00 para investigadores
y \$250.00 para estudiantes.

página internet: www.ugm.org.mx

Favor de hacer llegar su cuota a:

Ivonne Pedrín Morales
División de Ciencias de la Tierra,
CICESE
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, B.C., México
Correo electrónico: ipedrin@cicese.mx

Araceli Chamán
Depto. de Posgrado, Instituto de Geofísica,
UNAM
Cd. Universitaria, Delegación Coyoacán,
México, 04510, D.F., México
Correo electrónico: achaman@igeofcu.unam.mx

Con un cordial saludo

Luis A. Delgado Argote
Secretario de Difusión

Costo anual de anuncios en GEOS

Instituciones:	Comerciales y Gubernamentales	Académicas
Página completa	\$4,000.00	\$2,000.00
Media página	\$2,000.00	\$1,000.00

GEOS

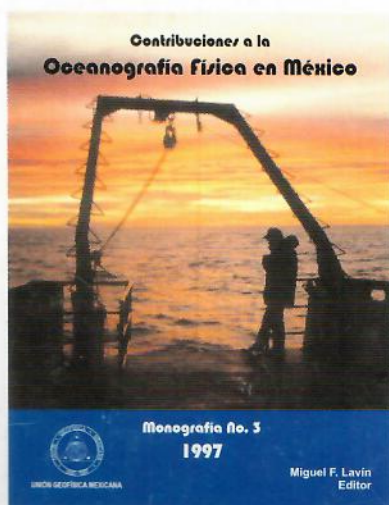
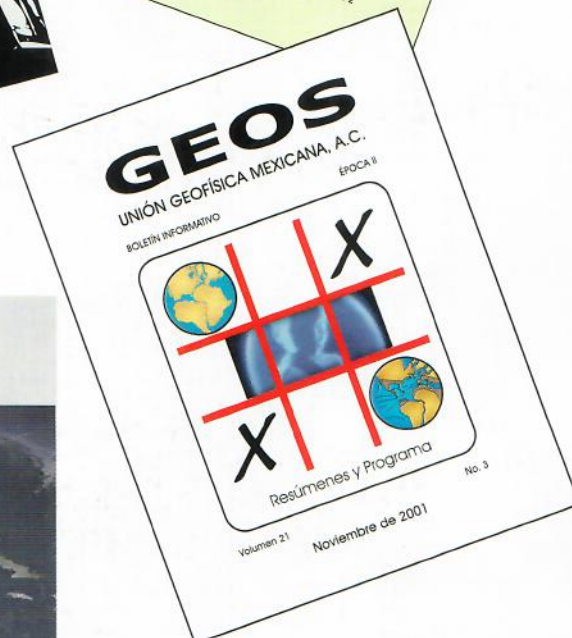
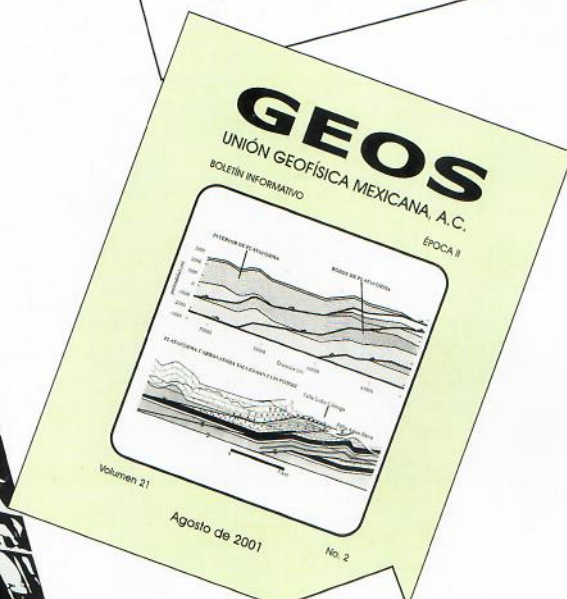
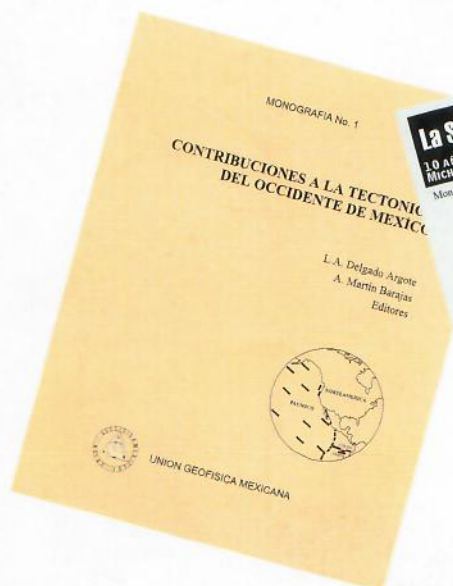
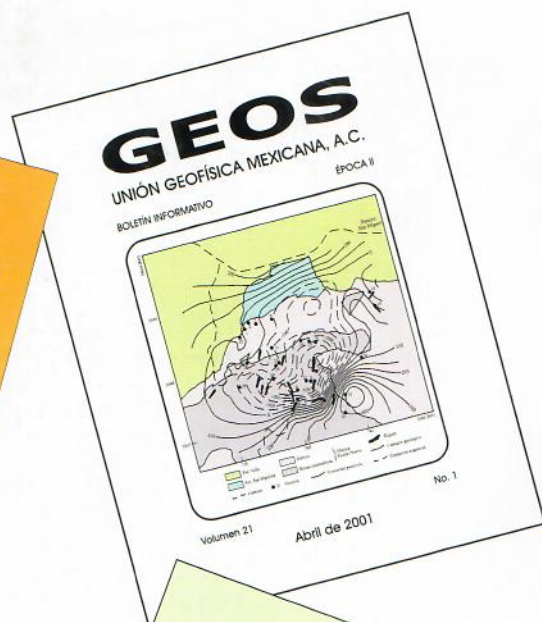
Revista a la venta con:

Ivonne Pedrín Morales
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(646)174-5050
Ext: 26004
Correo electrónico: ipedrin@cicese.mx

Costo del ejemplar \$60.00

Araceli Chamán
Depto. de Posgrado
Instituto de Geofísica
Tel: (01)5622-4130 y 5622-4137
Correo electrónico: achaman@igeofcu.unam.mx





Tus trabajos de investigación y divulgación tienen cabida en estos foros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.