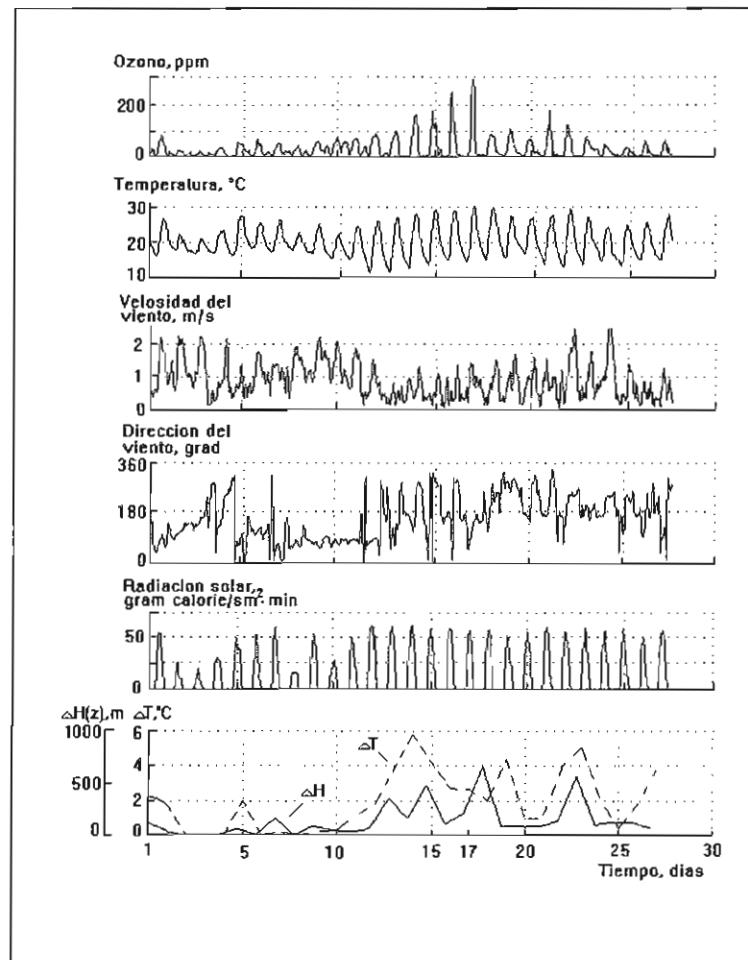


GEOS

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



Volumen 17

No. 2

Junio de 1997

GEOS
BOLETÍN INFORMATIVO DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA
(ISSN 0186-1891)

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA
MESA DIRECTIVA 96-97

Dr. Juan Manuel Espíndola Castro
Presidente

Dr. Jose Gómez Valdés
Vicepresidente

Dr. Marco Guzmán Speziale
Secretario General

Dr. Juan García Abdeslem
Tesorero

Dr. Cosme Pola Simuta
Secretario de Investigación

M.C. Luis Alberto Delgado Argote
Secretario de Difusión

M.C. Javier Lermo Samaniego
Secretario de Educación

APOYO TÉCNICO EDITORIAL
Victor Manuel Frías Camacho

Luis A. Delgado Argote y Juan García Abdeslem
Editores

COMITE EDITORIAL

Harald Bohnel, Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM
Juan Brandi, Reflexión Sísmica, DESFI, UNAM
Silvia Bravo, Estudios Espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM
Gerardo Carrasco, Vulcanología, Instituto de Geología, UNAM
Ana Luisa Carreño, Paleontología, Instituto de Geología, UNAM
Luis Munguía Orozco, Sismología, Div. de Ciencias de la Tierra, CICESE
Ricardo Díaz N., Exploración Geofísica, IMP
Carlos Flores, Métodos Eléctricos y Electromagnéticos, CICESE
José Luis Frías Salazar, Cartografía, INEGI
Juan García A., Gravimetría y Magnetometría, CICESE
René Garduño, Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Juan Gaviño, Oceanografía Física, CEUNIVO, UCOL
Manuel Grajales N., Estratigrafía, IMP
Irma Guevara, Geoquímica, IIE
Alejandro Hinojosa, Sistemas de Información Geográfica, CICESE
Miguel Lavín, Oceanografía, División de Oceanología, CICESE
Alberto López, Astronomía, Instituto de Astronomía, UNAM
Luis Miguel Mitre, Geología Ambiental, Instituto de Geología, UNAM
Guillermo Pérez, Exploración Petrolera, PEMEX
Domitilo Pereyra, Meteorología, Universidad Veracruz-Jalapa
Francisco José Sánchez Sesma, Ingeniería Sísmica, UNAM
Mario César Suárez, Geotermia, CFE
Oscar Talavera, Petrología, Universidad Autónoma Guerrero
Miguel Téllez, Sedimentología, UABC
Gustavo Tolson, Geología Estructural, Instituto de Geología, UNAM
Joerg Werner, Geohidrología y Paleoclimatología, UANL, Linares

GEOS, Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana 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, Boletín Informativo de la UGM publica artículos y notas de investigación, 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 trabajos de investigación enviados para publicación no deben de exceder doce páginas en el formato de la revista. Las figuras deben de ser en blanco y negro y de buena calidad.

En el caso de noticias, comentarios u otro tipo de escritos, los manuscritos no deben de exceder cuatro cuartillas. Los trabajos y notas de investigación deberán ser enviados a los editores, quienes turnarán los documentos a los editores de área para su arbitraje.

Toda correspondencia dirigirla a:

División de Ciencias de la Tierra
At'n: Luis A. Delgado Argote.
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, Baja California, México
Tel. (61) 744-501 al 05, Ext. 26020
FAX: (61) 744-933
E-mail: ldelgado@cicese.mx

INDICE

EDITORIAL	53
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
ACERCA DE LAS CAUSAS DE LAS ELEVADAS CONCENTRACIONES DE OZONO EN LA ATMÓSFERA DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA EN OCTUBRE DE 1996	54
Irina E. Tereshchenko y Anatoliy E. Filonov	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
GEOFISICA COMPUTACIONAL Y ENSEÑANZA EN EL POSGRADO.	60
J. Frez	
APLICACIONES PETROGENÉTICAS DE LOS MINERALES MAGNÉTICOS EN LAS ROCAS ÍGNEAS	67
Edgardo Cañón Tapia	
LA TEORIA DE RAYOS Y SUS APLICACIONES	77
Juan A. Madrid	
SEGUNDO COLOQUIO INVESTIGACIONES EN EL GOLFO	86
José Gómez Valdés, Miguel Lavín y Gregory Hamman	
NOTAS CORTAS	
IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS DEL INTERIOR DE LA TIERRA: PARTE II	104
Enrique Gómez Treviño	
REPORTES	
SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO	107
GRUPO RESNOM	
NOTICIAS DE LA UGM	
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1997	109
TERCERA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA EN BAJA CALIFORNIA	114
PREMIOS DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA	115
COMUNICACIONES	
ANUNCIOS	117
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	123
FORMA DE ARBITRAJE	125
MONOGRAFÍAS DE PRÓXIMA APARICIÓN	126

EDITORIAL

Es una tarea de la Unión Geofísica Mexicana estimular los foros multidisciplinarios donde se discutan los problemas que plantea el desarrollo de las Ciencias de la Tierra en México. En los últimos años, las instituciones de educación superior e investigación han hecho un gran esfuerzo por crear o consolidar programas de posgrado en Ciencias de la Tierra, principalmente en las áreas de Geofísica y Geología con resultados buenos o pobres. Recientemente, la UGM promovió una mesa redonda sobre Meteorología en la que se resaltó el pobre cubrimiento y conocimiento de los fenómenos meteorológicos en el país. Sobre este tema, se han desarrollado tres foros desde septiembre de 1996, en el Coloquio sobre investigaciones en el Golfo de California, hasta la mesa redonda en junio de este año, en los que aflora el tema de la falta de gente preparada en los niveles básicos para estudiar los fenómenos meteorológicos. Se dice que hay investigadores que desarrollan importantes trabajos en esas áreas, sin embargo, el pobre monitoreo obliga a grupos aislados de universidades y centros de investigación a interpretar imágenes e información del WEB. Aunque útil, esa información carece del detalle y la resolución que se requiere. También se ha discutido acerca de la pobre cultura meteorológica en el país, a pesar de que los medios de comunicación (prensa, televisión y radio), así como los sectores agropecuarios requieren con frecuencia de los reportes meteorológicos.

Se ha discutido en esos foros acerca de la necesidad de crear una licenciatura en Meteorología, o implementar opciones terminales en esa área en las carreras de Física y Oceanografía Física, donde se preparen los cuadros básicos en Ciencias de la Atmósfera. A pesar de la importancia del tema, una de las preguntas que surgen en estos foros se refiere a las oportunidades de trabajo para los futuros egresados en esas disciplinas. Una de las tantas alternativas que se plantean están dirigidas hacia la creación de un programa nacional de meteorología que establezca una red de servicio nacional que serviría, además, como fuente de información para la investigación.

ACERCA DE LAS CAUSAS DE LAS ELEVADAS CONCENTRACIONES DE OZONO EN LA ATMÓSFERA DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA EN OCTUBRE DE 1996

Irina E. Tereshchenko y Anatoliy E. Filonov

Depto. de Física, CUCEI, Universidad de Guadalajara, A.P. 4-079, Guadalajara 44421, Jalisco, México.

E-mail: itereshc@udgserv.cencar.udg.mx

RESUMEN

Se analizan las condiciones sinópticas y locales del tiempo, en los días con elevadas concentraciones de ozono en la atmósfera de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, que se presentaron en octubre de 1996. Para el análisis se utilizaron datos de los registros sobre el ozono y los parámetros meteorológicos de ocho estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico pertenecientes a la Comisión Estatal de Ecología, Jalisco (COESE), así como datos de radiosondeo, mediciones de la visibilidad horizontal y radiación solar realizadas en el Observatorio Colomos, perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CNA). Se muestra que la principal causa de la formación del smog fotoquímico, en los periodos del 14 al 17, 19 y del 21 al 23 de octubre, fueron las condiciones de estabilidad en la atmósfera sobre la ciudad, caracterizadas por un tiempo en calma y despejado, lo que permitió una intensa afluencia de radiación solar y el incremento de las temperaturas máximas en la superficie.

INTRODUCCIÓN

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), la segunda más grande en México, es una metrópoli compuesta por la conurbación de cuatro ciudades: Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá. La superficie total que ocupa la ZMG es superior a 26 mil hectáreas, y su población es mayor a 4 millones de habitantes. Geográficamente, la ZMG se sitúa en la zona tropical, a una latitud cercana a los 21°N, al SW de la Meseta Mexicana y con una altitud superior a los 1500 m sobre el nivel medio del mar (la marca geodésica de la altura del barómetro de mercurio en el Observatorio Colomos, CNA es de 1551 m sobre el nivel medio del mar).

La cuenca atmosférica de la ZMG, como cualquier metrópoli grande, se ve afectada por la contaminación antropogénica. Observaciones sobre su contaminación han sido realizadas desde mediados de los años 70 con equipo manual. En diciembre de 1993, se instaló en la ZMG la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) perteneciente a la COESE. Dicha red está compuesta por ocho estaciones situadas, de manera relativamente uniforme, en la ZMG (Figura 1). Esta Red de Monitoreo realiza, cada hora, mediciones de los cinco principales contaminantes de la atmósfera: partículas suspendidas totales (PST) o partículas menores de 10 micras (PT10), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂ y NO) y ozono (O₃), además de algunos parámetros meteorológicos: temperatura, humedad relativa del aire así como dirección y velocidad del viento. Las mediciones que se realizan cada hora están dadas con base en el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), definido como un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica, de acuerdo con las concentraciones en ppm o mg/m³ mostradas en la Tabla 1 (COESE, 1994).

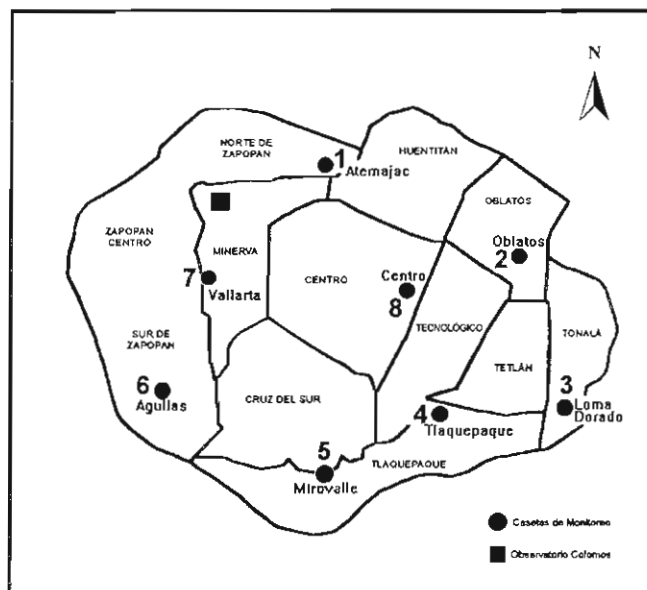


Figura 1. División administrativa de la Zona Metropolitana de Guadalajara, mostrando la localización de las casetas de monitoreo de la RAMA y el Observatorio Colomos.

Tabla 1. Relación de la concentración de ozono expresada en diferentes unidades de medición.

IMECA	ppm	µg/m ³
0-100	0-0.110	0-0.216
101-200	0.111-0.232	0.217-0.422
201-300	0.233-0.355	0.423-0.645
≥301	≥0.356	≥0.647

Al problema de la contaminación por ozono en las ciudades tropicales, han sido dedicados muchos trabajos (Murao *et al.*, 1990; Chung-Ming *et al.*, 1990; Massambani Andrade, 1993;

Bravo *et al.*, 1996). Sin embargo, entre ellos no existe ninguno que analice las causas del surgimiento de los smogs fotoquímicos en una metrópoli tan grande como la ZMG. Durante los años 1994 y 1995, las más altas concentraciones de ozono registradas en una hora fueron: mayo 7, 1994 con 250 IMECA; abril 7, 1995 con 320 IMECA y noviembre 13, 1995 con 280 IMECA. En comparación con las normas internacionales para dicho parámetro, el límite permisible es $0.216 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuya equivalencia es 0.11 ppm o 100 IMECA (CENICA, 1996).

MATERIAL UTILIZADO

De acuerdo con la información generada por la RAMA, el contaminante con la más alta concentración detectado para la ZMG es el ozono. Durante todo el tiempo de las mediciones la concentración superior a 100 IMECA se presentó con mayor frecuencia en las estaciones de Atemajac, Vallarta y Centro en el periodo octubre-febrero, así como en las estaciones de Miravalle, Tlaquepaque y Centro, en abril y mayo.

Del 14 al 17 de octubre de 1996, en la ZMG se registró un caso de smog fotoquímico. En estos días, la concentración de ozono fue superior a los $0.293 \text{ mg}/\text{m}^3$ y se registró en el 50% de la red de estaciones de monitoreo, manteniéndose durante 2 a 3 horas después del mediodía. En todos las estaciones se registraron las concentraciones máximas de ozono con 2 horas de anticipación a la hora de la máxima temperatura del aire, lo cual, en la ZMG ocurre normalmente entre 4 y 5 p. m. de la hora del Este.

Una situación análoga se repitió en el periodo del 21 al 23 de octubre, aunque con una menor concentración horaria de ozono. El valor máximo absoluto de la cantidad de ozono registrado en la Estación Miravalle el 17 de octubre de 1996 (Figura 3) fue de $0.610 \text{ mg}/\text{m}^3$ (264 IMECA), cuando internacionalmente el valor límite permisible es de $0.216 \text{ mg}/\text{m}^3$ (CENICA, 1996).

Para realizar el presente trabajo se utilizaron las mediciones horarias de ozono, temperatura, velocidad y dirección del viento registradas durante el mes de octubre de 1996 por la RAMA y la COESE en la ZMG. También se analizaron los datos diarios de radiosondeo, las mediciones horarias de un piroheliógrafo que registra la radiación solar y la distancia de la visibilidad horizontal en el Observatorio Colomos (N76612-CNA) (Figura 1). Finalmente, se utilizaron cartas sinópticas de superficie para los niveles obligatorios, informes meteorológicos y el resumen climatológico (CNA, 1996) para el mes citado.

SITUACIÓN SINÓPTICA EN MÉXICO EN OCTUBRE DE 1996

En la primera mitad de octubre de 1996, los procesos sinópticos en la región de la ZMG fueron los normales para esta época del año. A partir del 14 de octubre una potente cresta

anticiclón del Pacífico Oriental, la cual generalmente se establece en esta época del año en el noreste del Océano Pacífico, comenzó a propagarse al sureste, alcanzando el 16 de octubre la costa occidental de México, en las cercanías de Manzanillo y Colima. El centro del anticiclón se localizó en las coordenadas 45°N y 125°W , con una presión en el centro superior a los 1028 hPa. En la periferia oriental de la cresta, a lo largo de la latitud 20°N , se inició una débil advección de calor en la costa y en el interior del continente. En este periodo del año, las temperaturas de la superficie del océano son más altas que el resto del año. Como consecuencia, se originó un fuerte calentamiento de la capa de aire cercana a la superficie del agua hasta la superficie isobárica H_{700} (CNA, 1996).

Para el 17 de octubre, el centro del anticiclón se desplazó hasta los 30°N (90 - 95°W) y su cresta, se propagó hacia el SE, en dirección de la porción SW de la Meseta Mexicana, alcanzando la ZMG. En este mismo tiempo, y propagándose desde el oriente del Golfo de México, penetró una cresta de alta presión a las costas del Golfo de México, surgiendo así una situación semejante a la de un cinturón de alta presión en la zona tropical, que en parte, fue también favorecido por el obstáculo natural de la orografía de la zona, como lo son las montañas de la Sierra Madre Occidental. En la Figura 2a, se muestra la condición superficial sinóptica del 17 de octubre como la más típica para el proceso descrito, la cual provoca una débil advección de calor desde el Oeste, que fue registrada por las estaciones meteorológicas de la ZMG. La advección se manifestó en el incremento de las temperaturas promedio diarias en 1 - 2°C , del 14 al 18 de octubre. En los días siguientes, 19 y 20 de octubre, se conservó en la región de la ZMG la influencia de la cresta del anticiclón del Océano Pacífico.

En el campo de presión de gran escala cercano a la superficie durante el 18 de octubre, se identificaron pequeñas variaciones de la circulación, las cuales fueron originadas por

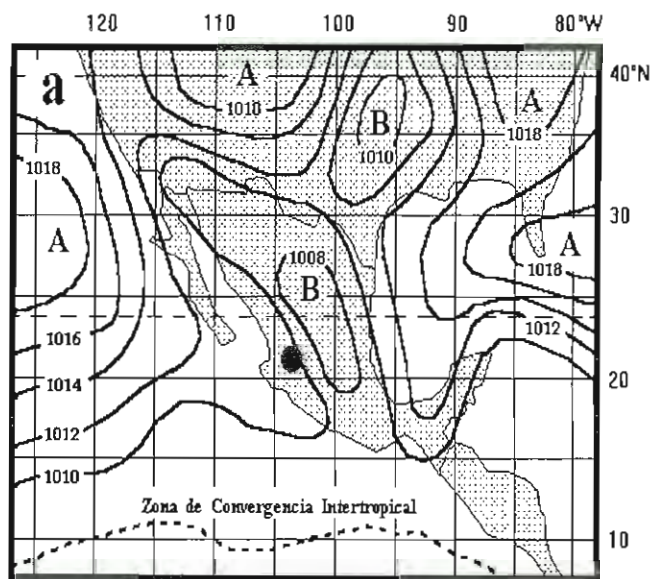


Figura 2a. Situación sinóptica del 17 de octubre de 1996 en la capa cercana a la superficie terrestre (análisis de superficie).

el debilitamiento en la intensidad de la cresta del anticiclón del Océano Pacífico. Ésto a su vez, conllevó a un pequeño incremento en la diferencia de presión atmosférica (AP) entre los océanos Atlántico y Pacífico (Figura 2b). Estas variaciones en AP corresponden a una débil restructuración del campo de presión, ya que el 19 de octubre la AP de nuevo disminuyó, y el día 20 se incrementó.

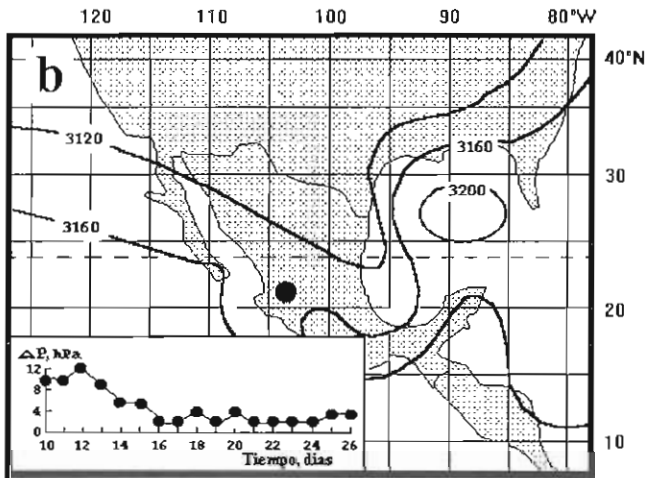


Figura 2b. Situación sinóptica del 17 de octubre de 1996 en la superficie isobárica H_{700} . En la parte inferior de la figura se ilustra la curva de la diferencia de la presión atmosférica (AP) en el nivel del mar en la latitud de 20°N entre el Océano Atlántico (90°W) y el Pacífico (110°W).

Finalmente, el 21 de octubre termina la restructuración del campo de presión, cuando en la región se establece de nuevo el tipo anticiclónico del campo de presión en toda la tropósfera inferior. En otras palabras, se inició un nuevo periodo sinóptico análogo al periodo del 16 al 20 de octubre. Ambos periodos se caracterizan por el carácter anticiclónico de la circulación.

Del análisis de los procesos descritos, se concluye que, aún con un incremento poco significativo de AP en la superficie de la tierra, entre los océanos Atlántico y Pacífico (Figura 2b), se origina una intensificación del macrotraslado en toda la capa de la tropósfera inferior. Ésto se observa claramente en las cartas de la topografía barométrica H_{700} del 18 al 20 de octubre. Todo lo anterior muestra la acción dominante de la circulación de gran escala en los procesos espaciales de escalas menores, lo cual se ve claramente en el campo de viento en la ZMG (Tabla 2), en donde el 18 y 20 de octubre se dio un pequeño incremento en la intensidad del viento.

Con la intensidad del viento se ventiló la ZMG y se produjo una disminución de la concentración del ozono a menos de 150 IMECA (Figura 3), lo cual corresponde a un estado satisfactorio de la calidad del aire. Es importante mencionar que para evaluar el campo de viento en la ZMG es necesario tomar en cuenta la influencia de las construcciones urbanas, las cuales introducen variaciones importantes, tanto en el campo de la velocidad, como en el de la dirección del viento.

TABLA 2. Magnitudes de velocidad del viento a las 3 p.m. (tiempo del Este) en las casetas de monitoreo de la RAMA, del 17 al 21 de Octubre, 1996.

Estaciones	Días				
	17	18	19	20	21
Atemajac	0.5	2.4	2.8	3.0	1.3
Oblatos	--	--	--	--	--
Loma Dorada	3.1	1.7	4.1	--	--
Tlaquepaque	0.7	2.8	0.7	2.0	1.2
Miravalle	1.4	4.2	1.4	3.0	2.9
Las Águilas	1.5	6.8	0.9	1.0	1.4
Vallarta	0.6	7.9	2.2	5.0	2.4
Centro	2.7	6.0	1.4	5.0	2.2

Para el 21 de octubre, el anticiclón ingresó a la región central de la Meseta Mexicana y se unió con el núcleo del anticiclón que se desplazaba desde el Norte. Como resultado, en la atmósfera se formó un nuevo sistema con dos centros de alta presión, con una presión 1030 hPa. Posteriormente, conforme este sistema se trasladó al Sureste, en la región Noreste del Océano Pacífico, sobre la latitud 40°N , surgió el anticiclón consecutivo, con una presión en el centro 1030 hPa y su cresta se propagó nuevamente al Este-Sureste, originando así una región de alta presión en la ZMG. Posterior a estos eventos, la situación sinóptica permaneció hasta finales de octubre. El surgimiento reiterativo del smog fotoquímico en la ZMG se registró en el periodo del 21 al 23 de octubre, aunque su concentración, comparada con la concentración horaria de ozono en el periodo del 14 al 17 de octubre de 1996, fue dos órdenes de magnitud menor (Figura 3).

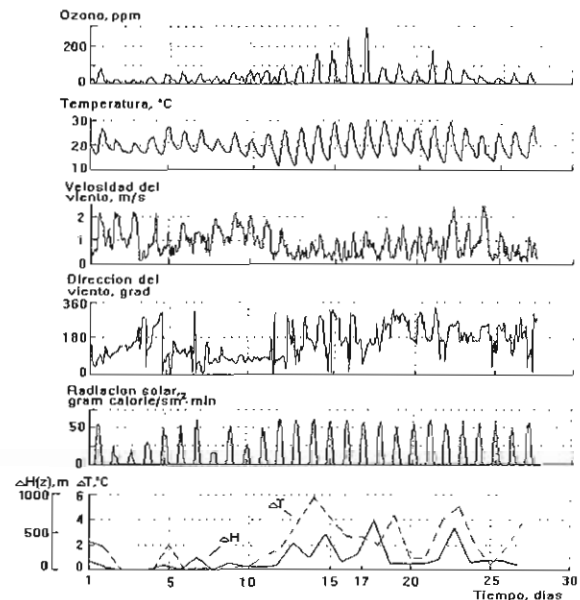


Figura 3. Series de tiempo de la distribución de ozono y de las características meteorológicas en la estación Miravalle en octubre de 1996. También se muestra el comportamiento temporal de la radiación solar, el grosor de la capa de la inversión térmica ($AH(z)$) y la diferencia de temperatura entre la superficie y la altura de la frontera superior de la inversión (DT) basados en las mediciones del observatorio Colomos, CNA.

CONDICIONES DEL TIEMPO Y SMOG FOTOQUÍMICO EN LA REGIÓN DE LA ZMG DEL 14 AL 17 DE OCTUBRE DE 1996

La situación sinóptica sobre México, descrita anteriormente, provocó un tiempo despejado con viento muy débil en la región de la ZMG. Estas condiciones en la capa límite de la atmósfera condujeron a la formación de niebla de radiación-advección en las primeras horas matutinas del 16, 17 y 18 de octubre. Durante la noche y en las primeras horas del día, la velocidad del viento en la capa cercana a la superficie, fue cero o menor a 1 m/s. Sólo después del medio día y debido a la influencia del calentamiento de la superficie terrestre, de las irregularidades de las construcciones urbanas y de las particularidades de la topografía de la ZMG, la velocidad de viento se incrementó un poco, sin llegar a superar los 3 m/s (Figura 4c). Esto originó la presencia de la llamada circulación topográfica (Jáuregui, 1988). El tiempo de calma surgió debido a que el gradiente de presión fue casi cero a lo largo de los 20°N, tanto en el nivel de superficie, como en el nivel H_{700} (Figura 2b) y en donde la velocidad del viento sobre la ZMG no superó los 5 m/s.

Debido a la ausencia total de nubosidad, el enfriamiento complementario del aire caliente en la capa cercana a la superficie conllevó a la saturación de su humedad y a la condensación de los excedentes del vapor de agua, originándose de esa manera la niebla que se registró en todas las estaciones meteorológicas urbanas y suburbanas. La dispersión de la niebla se inició 2-3 horas después de la salida del sol.

En estos días, debido al enfriamiento del aire caliente y al débil intercambio turbulento sobre la ZMG, se formaron inversiones de temperatura (Figura 3). Esto ocurrió debido a que el mayor desprendimiento del calor de condensación tuvo lugar muy cerca de la superficie, y por lo tanto, el enfriamiento del aire situado a mayor altura provocó la formación de inversiones de temperatura a unos cientos de metros por encima de la superficie (Figura 3). Estas inversiones se observan claramente en los datos de radiosondeo de la Estación Colomos (CNA) los días 16 y 17 de octubre; las alturas de la base de los estratos de inversión fueron de 383 y 273 m sobre la superficie. Las condiciones del tiempo del 14 al 17 de octubre, causaron la estabilidad atmosférica en la ZMG, pero tan sólo durante las primeras horas de la mañana. Bajo la influencia del calentamiento del aire en un cielo despejado, se inició la formación de procesos convectivos en la capa límite, dando lugar a un incremento del grosor de la capa de mezcla, al rompimiento de la estabilidad y a una rápida destrucción de las inversiones térmicas. De esta manera, al mediodía, las condiciones atmosféricas contaminantes sobre la ZMG se desvanecieron, pero no así las condiciones para una intensa acumulación y formación de ozono, debido a las condiciones descritas.

Es bien conocido que los motores de combustión interna utilizados en el transporte urbano de cualquier metrópoli, son la causa principal de la formación de ozono en la capa de la

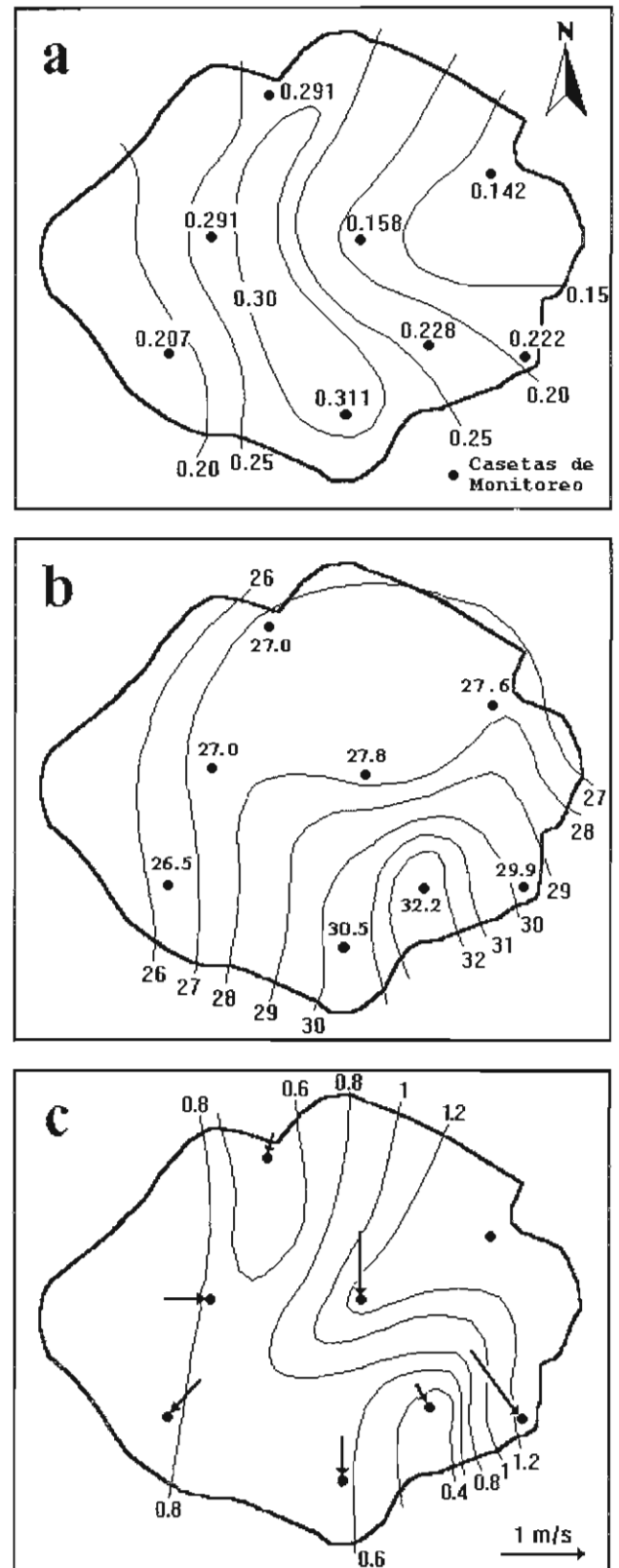


Figura 4. (a) Distribución espacial promedio del ozono, de las 14 a las 16 hrs; (b) Distribución espacial promedio de la temperatura del aire de las 17 a las 18 hrs; (c) Distribución espacial promedio del viento en la atmósfera de las 14 a las 17 hrs en la ZMG el 17 de octubre de 1996.

atmósfera cercana a la superficie. Los gases de escape producen una reacción fotoquímica con el aire, en la que su intensidad depende de la radiación solar y de la temperatura. La ausencia total de nubosidad en los días mencionados, permitió una intensificación de la radiación solar hacia la superficie terrestre, así como la conservación diaria de altas temperaturas del aire. Por otra parte, del 14 al 17 de octubre, la intensidad del flujo vehicular en la ZMG fue similar en las partes central y occidental de la mancha urbana. Esto formó un smog fotoquímico que se acumuló sobre la ciudad de acuerdo al patrón de la dirección del viento (Figura 4), con concentraciones horarias del ozono superiores a 0.172 ppm o 0.320 mg/m³, el cual se mantuvo así durante 2 a 3 horas después del mediodía. También es necesario señalar que en las zonas de concentración del smog se encuentran las avenidas principales y por lo tanto, con mayor flujo vehicular. Inmediatamente después de la puesta del Sol, la concentración de ozono disminuyó bruscamente, alcanzando valores de cero durante la noche en las regiones de mayor tráfico de la ZMG.

Hay que hacer notar que un aspecto importante y necesario a considerar en el estudio de las causas de la variación de la concentración de ozono en la ZMG, es el ciclo semanal de la intensidad del movimiento vehicular (diferencia entre los días laborales y no laborales). En la Figura 5 se muestran los espectros energéticos de las oscilaciones del contenido de ozono, de la temperatura del aire y la coherencia entre ellas. Estas se calcularon con base en series de tiempo con discretización de una hora en la estación Miravalle. Se observa que en el espectro de las oscilaciones del ozono, al mismo tiempo que el armónico diurno y semidiurno, existen picos evidentes de densidad espectral en los periodos de 7 y 2 días. Una situación semejante se describe en el trabajo de Fumiaki (1987), sin embargo, el espectro de las oscilaciones de temperatura no mostró picos y por lo tanto, la coherencia entre estos dos espectros para los periodos de 7 y 2 días no es significativo (Figura 5). De esta forma, es evidente que la máxima disminución de las concentraciones horarias de ozono el día 20 de octubre, está relacionada no sólo con el cambio de la situación sinóptica en la región de la ZMG, sino que también con la mínima intensidad del tráfico vehicular durante el domingo.

En los días con intenso smog fotoquímico se registró la formación de un segundo mínimo (el primero fue en las primeras horas del día debido a la neblina matutina) en la distancia de la visibilidad horizontal, la cual se iniciaba después de las 3 a 4 p.m. de la hora del Este.

CONCLUSIONES

1. La causa principal de la formación de las elevadas concentraciones de ozono en la ZMG en octubre de 1996 fueron las marcadas condiciones de estabilidad en los procesos atmosféricos. Estas condiciones fueron originadas por las regiones de alta presión establecidas sobre el territorio del centro de México. En toda la tropósfera inferior se registraron

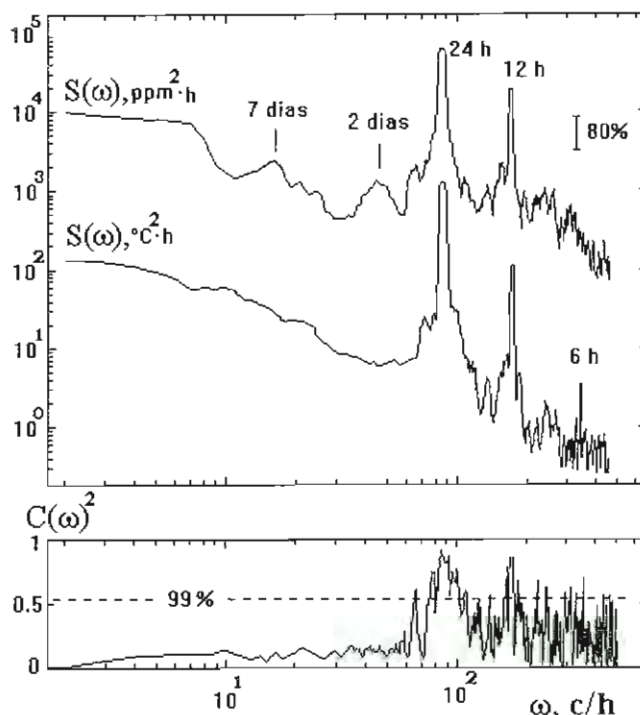


Figura 5. Espectros energéticos de las oscilaciones de la concentración de ozono, de la temperatura del aire y el cuadrado de la coherencia entre los mismos, con base a las mediciones de la estación Miravalle en octubre de 1996. Para los espectros, la línea vertical muestra el 80% del intervalo de confianza y con línea punteada se muestra el 99% del intervalo de confianza de la coherencia cero.

gradientes horizontales de presión con un valor cercano a cero y hasta el nivel H₇₀₀, en tanto que la velocidad del viento no superó los 5 m/s.

2. La situación sinóptica dada originó condiciones en la superficie terrestre acompañadas por un tiempo despejado total, con calma durante la noche y en la primera mitad del día, y con vientos topográficos muy débiles inferiores a los 3 m/s en la otra mitad. En conjunto, estas condiciones provocaron el incremento en la intensidad de la radiación solar y de la temperatura máxima del aire, y consecuentemente, originaron la formación del smog fotoquímico en la atmósfera de la ZMG, con concentraciones horarias máximas de 0.610 mg/m³, que fueron registradas después del medio día.

3. En el futuro, para pronosticar los casos de elevadas concentraciones de ozono es necesario, en primer lugar, estudiar y clasificar las situaciones sinópticas que dan lugar a condiciones de estabilidad en la atmósfera de la ZMG. En segundo lugar, es necesario analizar, con series de tiempo de periodos más largos, la relación entre la concentración de ozono y la intensidad del tráfico en los días laborales y de fin de semana, lo que permitirá encontrar una relación cuantitativa que pueda ser incorporada en los modelos de pronóstico.

4. Para lograr una disminución efectiva de la concentración de ozono en la atmósfera de la ZMG, en situaciones sinópticas

desfavorables, es necesario utilizar la experiencia de las grandes ciudades de la zona tropical, llevando a cabo diversas acciones para este fin. Estas acciones deberán estar orientadas hacia el mejoramiento del régimen de trabajo del transporte urbano, extensión de las líneas de trolebuses y del tren ligero, limitación de la utilización del transporte particular, verificación de los motores y la prohibición del movimiento de automóviles en condiciones mecánicas deficientes, tal como se describe en el trabajo de Lyons *et al.* (1990).

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los colaboradores de la RAMA de la COESE. En particular al Ing. Ramón Limón, así como al Ing. Salvador Tinoco Gutiérrez (CNA). De misma forma expresar también nuestro agradecimiento al Eliazar Ochoa Vargas, encargado de radio sondeo y a los colaboradores del observatorio Colomos por toda la ayuda en la obtención y análisis de los datos registrados.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, J.L., Díaz, M.T., Gay, G. and Fagardo, J., 1996. A short term prediction model for surface ozone at southwest part of Mexico valley. *Atmósfera*, N 9, p. 33-45.
- CENICA, 1996, Memoria del primer coloquio binacional México-Japón sobre gestión ambiental: Contaminación Atmosférica. México, 25-26 enero, 85 pp.
- Chung-Ming, L., Shaw, C.L. and Shih-Hong S., 1990. A study of Taipei ozone problem. *Atmospheric Environment*, Vol. 24A, N 6, p. 1461-1472.
- CNA, 1996, Resumen Climatológico del mes de octubre de 1996, Gerencia Estatal, Jalisco, México.
- COESE, 1994, Procedimientos utilizados en la determinación de la calidad del aire (IMECA) en la Zona Metropolitana de la ciudad de México. septiembre 1994, México, D.F.
- Fumiaki, F., 1987. Weekday-weekend differences of urban climates. Part 1. *Journal Meteorological Society of Japan*, Vol. 65, N. 6, p. 923-929.
- Informe Meteorológico. Octubre de 1996. N 4.1.566-4.1.598. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional.
- Jáuregui, I., 1988. Local wind and air pollution interaction in the México basin. *Atmósfera*, N 1, p. 131-140.
- Lyons, T.J., Kenworthy, J.R. and Newman, P.W.G., 1990. Urban structure and air pollution. *Atmospheric Environment*, Vol. 24B, N. 1, p. 43-48.
- Massambani, O. and Andrade, F., 1993. Tropospheric ozone in metropolitan San Paulo. WMO/TD-N 538, WCA SP-24, p. 38-40.
- Murao, N., Ohta, S., Furuhashi, N. and Mizogushi, I., 1990. The causes of elevated concentrations of ozone in Sapporo. *Atmospheric Environment*, Vol. 24A, N. 6, p. 1501-1507.

GEOFISICA COMPUTACIONAL Y ENSEÑANZA EN EL POSGRADO

J. Frez

División Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, B. C.

RESUMEN

Las Ciencias de la Computación tienen un vertiginoso progreso al cual la enseñanza superior debe adaptarse. El progreso se refiere tanto al acceso a computadoras y a la capacidad de ellas, en memoria y velocidad de cómputo, como al acceso a paquetes de programación que realizan complicadas tareas en la captación, control, análisis e interpretación de datos así como en la formación de modelos y en visualización. El uso de estas herramientas como "cajas negras" representan un problema pedagógico de importancia. Por otro lado, el lenguaje C, predominante en las Escuelas de Ciencias Computacionales, se está introduciendo fuertemente en el cálculo científico; su ventaja con respecto al FORTRAN yace en su cercanía a los sistemas operativos, haciéndolo especialmente apto para leer y escribir grandes cantidades de datos y formar programas interactivos que combinan cómputo numérico con visualización. El FORTRAN cuenta con la enorme cantidad de trabajo ya realizado y su adaptabilidad a las nuevas técnicas de programación. Es importante que los estudiantes desarrollen y mantengan programas fuentes en un lenguaje de alto nivel con el consecuente mayor control del trabajo científico. La enseñanza de la Geofísica en el posgrado debe delimitar el alcance de los paquetes de programas de uso común, destacando la especificidad tanto del cálculo con números reales en representación flotante como de la discretización de ecuaciones en variables continuas; así mismo, debe destacar la indeterminación de la mayor parte de los problemas inversos de la Geofísica. También es importante estimular el desarrollo de procedimientos que hagan interactivo el cálculo numérico con la visualización de resultados.

INTRODUCCIÓN

Los cálculos hechos por computadoras se han vuelto imprescindibles en la investigación científica y, por ende, en la enseñanza de posgrado. A partir de las primeras máquinas, los físicos (ver por ejemplo Bolt, 1970) tomaron entusiastamente este nuevo instrumento creando las diversas áreas de la Física Computacional, un nuevo campo de investigación que resuelve problemas que no estaban al alcance de los métodos tradicionales de la matemática analítica (más apropiadamente llamada matemática de precisión infinita para distinguirla del cálculo con precisión finita hecho en computadoras), ni al limitado alcance de los cálculos numéricos hechos "a mano" o con calculadoras mecánicas. En Geofísica, su uso en la recolección de datos y de control de equipo, el tratamiento e interpretación de datos, la simulación (modelado) determinística o probabilística y el álgebra simbólica han llevado a un progreso veloz y enorme, en amplitud y profundidad, del conocimiento que se genera y aplica en la academia y en la industria y se transmite en la educación superior. No sin problemas, sin duda. Brody (1989) detectó a mediados de los años 80 algunos de ellos. Los resultados de monstruosos programas resisten una propiedad del método científico: la reproducción y comprobación de resultados; esto hace también difícil la revisión de artículos en este campo. Detectar un error en un programa de miles de sentencias es tarea casi imposible; hacerlo a través de comprobaciones numéricas es también difícil. Un programa típico, que incluye aproximaciones de diversos tipos, puede entregar resultados equivocados especialmente a un usuario poco ilustrado y/o entrenado. De aquí que muchos investigadores se resistan al uso indiscriminado de programas

grandes sin una comprensión clara de sus limitaciones.

El tema a tratar tiene un contexto más general que el sugerido en el título, ya que también tiene que ver con el uso de calculadoras en la enseñanza primaria y secundaria, de computadoras en la enseñanza secundaria y universitaria así como de paquetes "cerrados" o "envasados" con procedimientos numérico-computacionales en toda la enseñanza superior. Llamamos procedimientos "cerrados" a aquellos que se utilizan sin que el usuario tenga acceso al código del procedimiento y que, por lo tanto, no puede modificar. La tendencia a usar estas "cajas negras" numéricas es útil porque ahorra esfuerzos; peligrosa, porque no podemos analizar directamente sus limitaciones (todo procedimiento numérico tiene limitaciones). Su utilización se ha ampliado enormemente durante los años 80 y 90. Así, nuestro tema trata del necesario balance entre el cálculo hecho mecánicamente y el realizado por la mente humana que incluye el análisis que valida un procedimiento computacional. Otro balance importante es entre utilización y generación de métodos numérico-computacionales y de visualización en la ciencia y la enseñanza.

Es necesario enfatizar lo vertiginoso del progreso en las Ciencias Computacionales durante su corta existencia; como resultado, están cambiando no sólo las estrategias y técnicas de investigación, sino toda la civilización contemporánea. Nuestra adaptación a este progreso es parte de una educación actualizada.

Las tres secciones siguientes se desglosan en temas que se separan y rotulan con una letra; esto solo con el objeto de una fácil identificación para su discusión. La misma letra no designa el mismo tema en secciones diferentes.

CAMBIOS OCURRIDOS EN LOS ULTIMOS 20 AÑOS

Tratemos de enumerar los desarrollos en las Ciencias Computacionales que están produciendo modificaciones en la enseñanza de técnicas numérico-computacionales en el posgrado en Geofísica.

- a. El acceso extendido a computadoras por un estudiante típico: no es difícil que maneje una PC en su casa y en el sitio de estudio puede tener acceso a varias computadoras personales, estaciones de trabajo y hasta, computadoras con varios procesadores. Muchos investigadores tienen, además, acceso a máquinas en otros institutos de donde extraen datos, programas de computación o simplemente trabajan con mayores o diferentes recursos computacionales; en consecuencia, los estudiantes también se benefician de esta ventaja. Por último, aún un estudiante no educado en técnicas de computación saca ventajas de ellas a través de paquetes que le producen dibujos o del editor con el cual se elabora el texto de su tesis.
- b. Este acceso extendido a computadoras se amplifica por la suma de recursos a disposición en cada sistema, en tiempo de uso y de cómputo, en memorias blanda (de trabajo) y dura (de almacenamiento), en número de procesadores, en capacidad de graficado, en velocidad para obtener resultados. Durante los últimos diez años la velocidad de cálculo se está casi doblando cada dos años en las computadoras personales. El estudiante de posgrado, al tener una participación fuerte en la investigación, goza de los privilegios correspondientes. Por ejemplo, la construcción de modelos sismológicos globales de la Tierra utiliza actualmente cientos de miles de datos (tiempos de arribos de ondas sísmicas, periodos libres de la Tierra, etc.). Esta tendencia continuará mantenida por el ingenio y el mercado con precios que continúan decreciendo: es ya posible construir una supercomputadora por algo menos de \$ 60,000.00 US apilando 16 procesadores Pentium Pro (Taubes, 1996).
- c. La confianza en los resultados del cálculo hecho por computadoras ha aumentado también. Si durante la década de los 60 todavía se detectaban errores en la manera como se calculaban las funciones matemáticas, es posible contar en nuestros días, por ejemplo, en que los cálculos básicos del Algebra Lineal (operaciones con matrices incluyendo la multiplicación e inversión, la solución de sistemas lineales bien condicionados, además de las descomposiciones espectrales y sus aplicaciones) están bien implementados en los diversos paquetes comerciales y no comerciales, casi siempre basados en el trabajo de Wilkinson y colaboradores (Wilkinson y Reinch, 1971). Por supuesto que otra cosa es aplicar adecuadamente las funciones, procedimientos o rutinas que llegan a nuestras manos, muchas veces sin los programas fuentes. No en vano la mayor parte de las compañías rehusan tomar
- d. El uso de varios idiomas en cálculo científico: para nombrar los que han tenido o tienen influencia, PL-1, APL, BASIC, FORTRAN, PASCAL y C/C++, con un predominio creciente en el ambiente académico del C. Por otro lado, la mayor parte de los investigadores geofísicos que se formaron en las décadas de los 70 y 80 utilizan FORTRAN. En estos momentos, la utilización y el futuro del FORTRAN en comparación del C/C++ está siendo cuestionada abiertamente en cuanto a su uso en el cálculo científico (Buzzi-Ferrari, 1993) y en la enseñanza universitaria (Pifer, 1996).
- e. Lo anterior representa el continuo desarrollo en técnicas de programación, en particular el uso de programación estructurada, modularizada, con uso dinámico de memoria, punteros, estructuras y de objetos cada vez más concretos. Esto lleva a formar códigos más claros, fáciles de leer y, para la programación comercial, módulos que pueden ser agregados o reemplazados como las tarjetas de los instrumentos electrónicos.
- f. Las Escuelas de Ciencias Computacionales se dirigen casi exclusivamente al manejo de sistemas, con una sensible falta de entrenamiento de los estudiantes en cálculo científico, en particular en el manejo de números reales en representación flotante. Como consecuencia del origen del C como asociado al sistema operativo UNIX, este idioma domina en la enseñanza especializada; por otro lado, los sistemas operativos UNIX, de las "Macs", el WINDOWS de Microsoft, así como los sistemas de ventanas de las estaciones de trabajo están escritos en C/C++. Como resultado, el diseño e implementación de sistemas interactivos que aplican métodos numéricos a algún problema científico y que incluyen visualización están comúnmente escritos en C/C++.
- g. Ya que la enseñanza de técnicas numérico-computacionales en Física e Ingeniería es generalmente entregada en la Universidad por profesores que provienen de la tendencia que predomina en las Ciencias Computacionales, el uso de C/C++ también domina en estas áreas, manteniéndose el FORTRAN como un "segundo lenguaje" cuyo uso se pierde por eliminación.
- h. El cálculo científico forma un "nicho económico" para la industria que vende computadoras y programación, pero las grandes ventas (Lewis, 1996) favorecen los paquetes "cerrados" que manejan grandes bases de datos con visualización como Power Building y Visual Basic y que son utilizados preferentemente por instituciones financieras. En programación financiera, COBOL sigue siendo el compilador más vendido lo que puede ser una sorpresa para

miembros de la comunidad científica. Más importante para nuestro tema es que la visualización, en cuanto a herramienta de análisis y de presentación de resultados, es tan necesario en finanzas como en el campo de las ciencias y su uso es obligado en la computación de gran escala, ya sea por manejo de grandes bases de datos o en el modelado que incluye gran heterogeneidad.

- i. Las características mencionadas hasta aquí están cambiando el formato de los textos de Análisis, Cálculo o Técnicas Numéricas. Un texto moderno (tome, por ejemplo, Burden y Faires, 1996) incluyen algoritmos descritos en pseudo-lenguaje para cada procedimiento numérico elemental de importancia y un estudiante mediano puede trasladarlo rápidamente en código computacional en su idioma favorito o requerido. Esto implica que el "análisis" está siendo parcialmente reemplazado por la "aplicación" directa en la computadora. De este modo, el estudiante universitario queda en condiciones de implementar una gran cantidad de algoritmos, muchas veces sin la comprensión del valor relativo de metodologías opcionales.
- j. Un desarrollo mayor de esta tendencia es el texto tipo "Recetas Numérico-Computacionales", donde las rutinas o funciones están entregadas directamente como programas fuentes al estudiante/investigador. Una visita a librerías de universidades en Estados Unidos constata un aumento en el número de textos con recetas computacionales escritas en C con respecto a FORTRAN y PASCAL. Además, es posible obtener librerías completas de cómputo científico a través de la comunicación electrónica, incluyendo las publicadas en textos y en revistas especializadas.
- k. A un nivel más alto de esta tendencia, se está popularizando el uso de paquetes "cerrados" de procedimientos numérico-computacionales y de visualización para el cálculo científico, donde un simple llamado a un procedimiento realiza una serie compleja de métodos numéricos, pudiendo reemplazar gran parte de la actividad de programación que hacía un estudiante de posgrado de los años 70 y 80. Parte de la educación universitaria en Física se hace con la ayuda de MATHEMATICA o MATLAB. Los ejercicios numéricos de algunos textos avanzados se hacen utilizando paquetes comerciales como MATLAB (por ejemplo, en Gil *et al.*, 1991). Existen, además, otros paquetes que ayudan a hacer cálculos estadísticos, derivar e integrar funciones simbólicamente, derivar e integrar numéricamente, hacer gráficas en una, dos o tres dimensiones, etc. En Geofísica y Geología, la situación es parecida, con la mayor parte de los programas fuentes escritos en FORTRAN. Existen ya unos diez o más paquetes de programación que trazan rayos sísmicos en medios bidimensionales y que son relativamente confiables. Hay un número parecido de procedimientos para calcular sismogramas en medios lateralmente homogéneos, para estimar hipocentros, mecanismos focales, calcular resistividades aparentes a partir de distintos tipos de mediciones, así como para modelar anomalías gravimétricas o magnéticas.

Comúnmente, el cálculo directo va acompañado del inverso. El análisis de series de tiempo se ha mecanizado: con simples toques al ratón, se pueden aplicar filtros, ventanas y hacer inspección visual. Mientras más comercial sea el paquete, más avanzada es la capacidad de visualización interactiva. Por otro lado, se va extendiendo la capacidad de programadores comunes para hacer esta interacción gráfica, por copia de programas fuente que se distribuyen y que realizan tareas parecidas. La secuencia interactiva de cálculos y visualización ya es la principal herramienta para analizar e interpretar datos, así como para resolver problemas directos e inversos en el caso de estructuras y fuentes geofísicas complejas y, por lo tanto, utilizando grandes bases de datos.

- l. Un problema más complicado es la necesidad de estandarizar entradas típicas a programas semejantes o complementarios. La SEG (Society of Exploration Geophysicists), por ejemplo, ha desarrollado formatos de entradas estandarizadas (SEG-2, SEG-Y) para datos geofísicos que son de uso amplio; al lado de ellos, están los derivados (SEGYPASSCAL, por ejemplo) y alternativos (SAC, GSE, AH, CSS y otros) tanto para el intercambio como para el análisis de datos (Malone, 1997). Como resultado natural de la diversidad existente, aparecen traductores de formatos. A un nivel más alto, tenemos la labor de comparar paquetes de programas que hacen tareas iguales o muy semejantes con el fin de detectar errores. En Inglaterra, por ejemplo, se ha formado la Geological Society Working Group on Geological Software que está produciendo catálogos de paquetes computacionales para geólogos (Reynolds, 1991). Un complemento a esta idea es la de promover el uso de datos o entradas estandarizadas para los procedimientos computacionales más comunes en Geofísica.
- m. Por último, podemos destacar la posibilidad de utilización de las redes intercomputadoras para acceder a procedimientos computacionales y de graficado, en particular escritos en lenguajes "transparentes" como JAVA. En particular, es posible obtener una gran cantidad de programas de cómputo científico a través de la comunicación electrónica, incluyendo aquellos que resuelven problemas geofísicos; la mayoría de ellos están disponibles como programas fuente. Secciones de revistas como "Another Node on the Internet" en Computers and Geosciences y "Electronic Seismologist" en el Bulletin of the Seismological Society of America están constantemente entregando información al respecto.

CONSECUENCIAS Y PROBLEMAS PLANTEADOS

Para adaptar la enseñanza en el posgrado a la situación descrita, debemos considerar varios factores. Uno de ellos es la tradición, gusto y evolución del profesor incluyendo la investigación que realiza. Otros factores son el conocimiento

básico que trae el estudiante, las fuentes de trabajo para los cuales se está formando y las perspectivas generales en el campo científico, técnico y socio-económico que se proyectan en el futuro. También depende de diversas formas que toma la ley del menor esfuerzo en la práctica de la enseñanza y el aprendizaje. Además, están implícitas ciertas suposiciones adicionales, algunas que resultan de la realidad y otras que provienen de principios éticos que no están muy abiertas a la discusión. Una de ellas es que enseñamos para los estudiantes que existen y no a los ideales que quisiéramos; otra es que enseñamos para el futuro; otra es que formamos y no damos pura información pragmática. En este sentido, debemos enseñar para fomentar el desarrollo y no simplemente para repetir la experiencia anterior. También podemos defender la idea de dejar las tareas más triviales a procedimientos mecanizados, suponiendo que el estudiante debe recordar y entender su origen conceptual.

En lo que sigue, discutiremos algunos aspectos que parecen interesantes y que resultan de la exposición anterior.

- a. Lo dicho anteriormente implica una definición más cuidadosa del concepto de "tareas triviales". Lo que es trivial para un estudiante que proviene de una carrera de Física no lo es para uno que proviene de Geología, dependiendo, además, de la universidad de origen y de los recursos computacionales que utilizó. Por otro lado, puede suceder que una técnica complicada de trabajo deba aplicarse a datos tomados y analizados por un estudiante cuyo conocimiento básico en técnicas numérico-computacionales es bajo. La consecuencia es que existen estudiantes que utilizan paquetes de programas cuyo estricto significado numérico no conocen. Es difícil analizar los beneficios y peligros de esta situación en general y depende del asesor, su conocimiento y atrevimiento, así como el incentivar y controlar adecuadamente este tipo de acción.
- b. Sin embargo, la utilización de paquetes "cerrados" constituye un problema más general: corresponde a todo el conocimiento de tipo "caja negra", es decir, aprendido y aplicado mecánicamente. La gran diferencia es que una mala aplicación de una "caja negra" en matemáticas se puede detectar probablemente con mayor facilidad que un mal uso de un paquete de programas de computación, ya que un procedimiento computacional incluye un gran número de elementos ya de por sí complejos dentro de los cuales están las aproximaciones de los métodos numérico-computacionales que se aplican. El remedio más obvio es estudiar con detalle los manuales correspondientes y, por lo menos, entender conceptualmente la metodología utilizada. Ésto se complementa con el análisis detallado de salidas, incluyendo los casos de prueba del paquete.
- c. Es evidente que las tres principales fortalezas del lenguaje C son las siguientes: En primer lugar, tiene una relación directa con el sistema operativo UNIX del cual puede utilizar funciones, particularmente para leer y escribir grandes cantidades de datos escritos en lenguaje de máquina. Una segunda ventaja lo constituye el haber sido el lenguaje que introdujo algunos de los aspectos de la programación moderna. Esta ventaja se acentúa en su extensión al C++. La tercera ventaja del C la constituye su predominio entre los programadores jóvenes, recién egresados de la Universidad. Las ventajas del C son que no fue diseñado originalmente para el cálculo científico y que la mayor parte de los cálculos en Geofísica Computacional aún están codificados en FORTRAN. Evidentemente, esta situación puede ser poco permanente ya que están apareciendo más textos de "recetas computacionales para científicos" en C que en FORTRAN. (Entre paréntesis, la mayor parte de los textos normales de C/C++ no están dirigidos para el investigador científico). Las ventajas del FORTRAN ya han sido destacadas. Fue diseñado para el cálculo científico, por lo que existe toda una generación de programadores que codifican y siguen codificando en FORTRAN. A eso se agrega su adaptabilidad a los progresos en técnicas de programación: las versiones de FORTRAN90 y algunas versiones del 77 incluyen las técnicas que se introdujeron con PASCAL y C. Por supuesto, que un viejo usuario de FORTRAN encontrará que el FORTRAN90 es casi un nuevo lenguaje. Como conclusión, se puede afirmar que el FORTRAN ha dejado atrás al ALGOL, PL-1, BASIC y PASCAL y que seguramente coexistirá con el C/C++ por un largo tiempo. La comparación entre ambos lenguajes puede tomar un cariz técnico, particularmente si se estudia la eficiencia y claridad de códigos escritos específicamente optimizados en ambos lenguajes. Dentro de las críticas lanzadas contra el FORTRAN está que fomenta la programación de tipo "espagueti", es decir, con excesivo uso de sentencias "go to" que son difíciles de seguir en el diagrama de flujo correspondiente. La respuesta es que el cálculo científico está tan lleno de opciones que los "camino" opcionales múltiples en un programa son una obligación. Sin embargo, un usuario de FORTRAN debe reconocer que es posible reducir la complejidad (a menudo artificial y producido por la consecutiva extensión de los propósitos del programa) de muchos códigos escritos en este lenguaje (Hopkins, 1996). En realidad, la producción de un código claro y eficiente depende más del programador que del lenguaje.
- d. ¿Cómo y dónde se forman los que desarrollarán la Geofísica Computacional futura? La respuesta a esta pregunta es importante ya que implica el estímulo para programar en las especialidades que lo necesiten. La tradición mundial es respetable. Por ejemplo, la tomografía computacional médica nació entre médicos y no desde programadores profesionales. Una codificación original puede ser profesionalizada posteriormente, pero el desarrollo inicial de muchas técnicas numérico-computacionales parte de los especialistas que lo necesitan y éste es un procedimiento que es necesario estimular. Así que el balance entre no duplicar esfuerzos y formar el especialista en la componente computacional debe ser parte de la política de desarrollo de cualquier Instituto de Investigación.

- e. Algunos conceptos básicos del cálculo científico (es decir, con números reales) utilizando computadoras (es decir, en representación flotante) deben ser parte de la cultura del estudiante. En particular, un conjunto de ejercicios numéricos, hechos con calculadoras y computadoras, pueden mostrar el fenómeno de pérdida de precisión en problemas mal condicionados. También es importante experimentar con la discretización de ecuaciones ya que la mayor parte del modelado matemático en Geofísica se representa con variables continuas. Un efecto típico es la proliferación de valores característicos no singulares cuasi-nulos en una descomposición espectral. Otro aspecto importante en la cultura del trabajo numérico-computacional es el gran número de opciones que se tiene al formar un procedimiento numérico-computacional en sus pasos característicos: la formulación matemática, la selección del algoritmo numérico, el diseño y escritura del código, para terminar con la validación, optimización y documentación del programa (ver, por ejemplo, capítulos 12, 13 y 14 de Rice, 1983).
- f. Quizás el problema computacional más delicado y que merece trabajarse con programas fuentes bien comprendidos es el de inversión, en particular para estimar estructuras geofísicas. Este problema es, por naturaleza, indeterminado ya que utilizamos observaciones tomadas en la superficie de la Tierra para calcular propiedades distribuidas tridimensionalmente. Es decir, queremos "elevarnos" desde un mundo bidimensional a uno tridimensional, lo que en principio no es posible; como resultado numérico, debemos resolver sistemas de ecuaciones cuasi-indeterminadas lo que, a su vez, produce cálculos con fuerte pérdida de precisión. La selección de métodos de estabilización es una labor delicada que debe adecuarse a la especificidad de la situación de estudio. Mi política es pedir al estudiante que desarrolle su propia programación a partir de rutinas bien comprobadas que realicen las operaciones básicas del Álgebra Lineal, incluyendo la descomposición espectral, para el caso muy indeterminado (Smith *et al.*, 1976). Pasado un periodo de entrenamiento, el estudiante posee un control de cada procedimiento básico de inversión y puede probar fácilmente ideas nuevas.
- g. Un problema más difícil de discutir es el grado de eficiencia del código que se solicita al estudiante en su programación. Además de las reglas más triviales, podemos tomar el siguiente ejemplo. A finales de los años 60 y durante la década de los 70, se popularizó, por el paquete SSP de IBM (1970), el uso de un solo índice para representar matrices bidimensionales, de acuerdo con su almacenamiento "real" en computadoras escalares. Al mismo tiempo, se incentivó el almacenamiento de sólo los elementos del triángulo superior de matrices simétricas (de apareamiento frecuente en métodos mínimo cuadráticos) con considerable ahorro de espacio de memoria para matrices grandes. Esta táctica de optimización fue también popularizada por Gilbert (1971) en Geofísica para resolver problemas inversos y su

uso es todavía útil en problemas de mediana y gran escala en computadoras escalares. Actualmente la gran cantidad de recursos computacionales hace aparecer poco útil la necesidad de optimizar un código para problemas estándar que maneja un estudiante de Geofísica. El lenguaje C/C++ complica la situación, ya que el uso de "apuntadores a apuntadores" para matrices bidimensionales incentiva el uso de dos índices para representar las matrices en computadoras. Sin embargo, existe también la tendencia en C/C++ a utilizar la más eficiente representación unidimensional de índices de las matrices (Williams, 1995) para realizar sus operaciones básicas en computadoras escalares. El problema pedagógico se hace más difícil si hay conflictos entre optimización y claridad del código pero parece todavía útil incentivar la optimización de códigos en clases aunque la justificación sea menor que hace 10 o 20 años. Por otro lado, la optimización para computadoras con varios procesadores es una área de investigación en pleno desarrollo.

- h. Los métodos del cómputo científico están sujetos a un gran cambio y exige al profesor/investigador una fuerte dedicación. Un asesoramiento respecto al uso de "recetas" tomadas de textos y revistas exige erudición, un conocimiento profundo de métodos numéricos además de disciplina para aceptar procedimientos sólo después de comprobaciones significativas. En este trabajo, es cada vez más imprescindible el conocimiento de los dos lenguajes más utilizados, FORTRAN y C/C++. Mientras los progresos en otras áreas de la Geofísica se pueden monitorear en forma relativamente fácil siguiendo unas pocas revistas, la Geofísica Computacional exige del profesor una actitud atenta a la literatura en Ciencias Computacionales y Métodos Numéricos Computacionales, además de lo que se publica en revistas de Geofísica.

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- a. Debemos esperar que los nuevos estudiantes usen C en vez de FORTRAN, particularmente los que provienen de carreras de Física e Ingeniería y de Universidades con fuertes escuelas en Ciencias Computacionales. Por lo tanto, tenemos que aceptar que las tareas y la programación hecha para el trabajo de tesis sean en el lenguaje que manejen cómodamente. Con esto, las comprobaciones y asesoramientos a cargo de un profesor limitado por el uso de un FORTRAN "antiguo" se hacen más difíciles de realizar.
- b. El uso de paquetes con procedimientos matemáticos generales (tipo MATLAB) es cada vez más común para cálculos relativamente sencillos y para visualización en el trabajo rutinario del posgrado; esto incluye el tratamiento más común de series de tiempo. Los paquetes que realizan modelado a partir de observaciones deben ser analizados cuidadosamente para definir sus inevitables limitaciones.

Un conjunto de experimentos numéricos bien diseñados pueden definir su rango de aplicación, por lo menos, si coincide con los propósitos de su uso. Esto indica la necesidad de incluir tópicos de Geofísica Computacional en los cursos del posgrado en los que se puede analizar los programas de uso más general, dejando a la interacción estudiante/asesor el cuidado de programas de uso más limitado.

- c. Un estudiante de posgrado de Geofísica debe conocer bien al menos un lenguaje de computación de alto nivel y manejable como C o FORTRAN. La razón es simple: se debe tender al desarrollo de programación para problemas muy específicos para los cuales comúnmente no hay herramientas adecuadas en paquetes como MATLAB y MATHEMATICA. En estos momentos, un geofísico puede realizar programación complicada utilizando rutinas cuyo código fuente (en C o FORTRAN) está a la mano casi en cualquier campo de las Matemáticas Aplicadas. Mi opinión es que esta opción es preferible a la de utilizar, por ejemplo, MATLAB debido al mayor control de la herramienta computacional resultante. De esto, deben surgir contribuciones originales a la Geofísica Computacional y además, un estudiante de posgrado puede modificar para mejor provecho el código fuente de un paquete de programas.
- d. Lo anterior se complementa con el uso interactivo de la visualización. Es una política sana la de incentivar la formación de plataformas globales de cálculo/ visualización en estaciones de trabajo y computadoras personales. Esto no es difícil de realizar en estos momentos debido a la existencia de paquetes de distribución generalizada y gratuita que incluyen los programas fuentes. El cálculo científico con interacción gráfica resuelve en forma más fácil el análisis de problemas complicados y debe ser parte esencial de la enseñanza de las ciencias.
- e. Los cursos sobre análisis e inversión de datos son aquellos donde el estudiante debe verse obligado a desarrollar sus conocimientos de programación ya sea -preferentemente- en C o FORTRAN. Opcionalmente, el profesor puede solicitar utilizar técnicas de optimización de códigos para computadoras escalares, y debe insistir en los peligros de los cálculos con pérdida de precisión, en la aparición de soluciones extrañas por la discretización de sistemas de ecuaciones en variables continuas y en el carácter particular de los métodos numéricos.

En cuanto al uso general de "cajas negras" computacionales, parece demasiado conservadora la opinión de Duffin (1997): "Estoy convencido de que las calculadoras (y computadoras) nos hacen perezosos a lo más o incompetentes a lo menos". Más realista, flexible y basada en información empírica es la conclusión de la autora que hace la referencia anterior: "Algunos profesores parecen adoptar cualquier cosa sin pensar adecuadamente en las consecuencias. En vez de argumentar acerca del uso de las calculadoras, necesitamos una discusión a

nivel nacional para determinar qué habilidades tradicionales continúan siendo cruciales en matemáticas y cuáles otras se pueden desarrollar a través de un uso serio de la tecnología. Sólo de este modo lograremos explotar a la tecnología para nuestra ventaja" (Traducción del autor).

Algunos puntos de vista y de acción planteados en este artículo pueden ser y han sido cuestionados. Uno de sus propósitos es estimular la discusión al respecto.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se inició con un seminario en la División de Ciencias de la Tierra del CICESE, donde hubo una activa discusión. R. Eaton cooperó con su profesional y paciente trabajo con el editor de texto. Los comentarios de los revisores ayudaron a formar un escrito más claro y compacto lo que el autor agradece cordialmente.

REFERENCIAS

- Bolt, B.A., 1970, The use of computers in studies of the earth, in A. Taub and S. Fernbach, (editores), Computers and Their Role in Science, Gordon and Breach, New York, 543-570.
- Brody, T. A., 1989, El cómputo en la investigación, Revista Mexicana de Física, 121-126.
- Burden, R. L. y J. D. Faires, 1996, Análisis Numérico, 2a. ed., G. E. Iberoamérica, 808 pp.
- Buzzi-Ferrari, G., 1993, Scientific C++, Addison-Wesley, 479 pp.
- Duffin, J., 1997, Making the most of technology: a personal perspective, The Mathematical Gazette, 541-543.
- Gil, P. E., W. Murray, and M. H. Wright, 1991, Numerical Linear Algebra and Optimization, Addison Wesley Pub. Co., 1, 426 pp.
- Gilbert, F., 1971, Ranking and winnowing gross Earth data for inversion and resolution, Geophys. J. R. Astr. Soc., 43, 125.
- Hopkins, T. R., 1996, Reestructuring software: a case study, Software-Practice and Experience, 26, 967-982.
- Lewis, T., 1996, The big software chill, Computer, March, 12-14.
- IBM, 1970, System/360 Scientific Subroutine Package. Version III. Programmer's Manual, International Business Machines Corporation, 454 pp.
- Malone, S., 1997, Electronic seismologist, Seismological Research Letters, 68, 267-271.
- Pifer, J., 1996, Are we doing our students a favor making them learn FORTRAN?, Computers in Physics, 10, 509.
- Reynolds, J.M., 1991, The need for recognized standard of applied geophysical software and the geophysical education of software users, Computers and Geosciences, 17, 1099-1104.

- Rice, J. R., 1983, Numerical Methods, Software, and Analysis, McGraw Hill, 480 pp.
- Smith, B. T., J. M. Boyle, Y. Ikebe, V. C. Klema and C. B. Moler, 1976, Matrix Eigenvalue Routines: EISPACK Guide, Springer Verlag, New York, 551 p.
- Taubes, G., 1996, Do it yourself supercomputers, Science, 274, 1840.
- Williams, K. B., 1995, Magic matrix multiply, C/C++ Users Journal, June, 19-26.
- Wilkinson, J. H. and C. Reinch, 1971, Handbook for Automatic Computation, Linear Algebra, Springer Verlag, Vol. II, 440 pp.

APLICACIONES PETROGENÉTICAS DE LOS MINERALES MAGNÉTICOS EN LAS ROCAS ÍGNEAS

Edgardo Cañón Tapia

Depto. de Geología, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Baja California, 22860, México

E-mail: ecanon@cicese.mx

RESUMEN

Los minerales óxidos pueden ser usados para reconstruir la evolución de sistemas magmáticos gracias a su amplio rango de condiciones de cristalización. Sin embargo, este grupo de minerales ha despertado poco interés desde un punto de vista petrogenético en comparación con los minerales silicatados o algunos elementos traza y sus isótopos. En particular, los óxidos de hierro y titanio, que son los minerales magnéticos más importantes de las rocas ígneas, han recibido poca atención en un contexto petrogenético. El presente artículo ofrece una visión general de los diversos usos de estos minerales, haciendo énfasis en las muchas áreas de investigación que están aún su explorar.

INTRODUCCIÓN

Los objetivos principales de la petrología ígnea moderna incluyen: 1) la caracterización de las regiones en las que se origina el magma, 2) la determinación de las condiciones de almacenamiento de magma hasta momentos antes de ser arrojado a la superficie de la Tierra y 3) la evaluación del grado y tipo de alteración sufrida por el magma durante su ascenso desde su lugar de origen hasta su emplazamiento final (Wilson, 1991). La cuantificación de elementos traza, así como la identificación de ciertos isótopos, y su correlación con diferentes medios de generación magmática son elementos indispensables de la gran mayoría de los estudios petrogenéticos modernos. Otro aspecto importante de estos estudios consiste en el examen detallado del tipo, la textura y las relaciones existentes entre diferentes fases minerales presentes en la roca. Sin embargo, no todos los minerales han recibido la misma atención a pesar de que hay algunos, generalmente menospreciados, que también pueden ofrecer información petrogenética muy valiosa. Por ejemplo, las composiciones de los minerales óxidos en general son particularmente sensibles a variaciones en la temperatura, presión, fugacidad de oxígeno y composición química global del sistema magmático y fluidos circundantes, por lo que este grupo de minerales puede ser usado para deducir la ocurrencia de eventos de fusión y extracción de la fase fundida (Haggerty, 1991). También pueden proveer información confiable acerca de condiciones pre-eruptivas, y si son combinados con métodos de termometría de minerales silicatados, constituyen una herramienta petrogenética muy poderosa (Frost y Lindsley, 1991). Este artículo se concentra en los usos petrogenéticos de los óxidos de hierro y titanio, haciendo mayor énfasis en aquellos relacionados con las propiedades magnéticas de las rocas ígneas. La primera parte consiste en una breve revisión de las características de estos minerales, mientras que en las secciones subsecuentes se presenta un panorama amplio de sus aplicaciones, incluyendo una breve sección en la que se destaca la posible utilidad de las propiedades magnéticas de las rocas ígneas como indicadores petrogenéticos.

MINERALOGÍA MAGNÉTICA

Los óxidos de hierro y titanio constituyen los minerales magnéticos más importantes en las rocas ígneas. La composición química de estos minerales puede ser representada convenientemente en un sistema ternario con vértices $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Figura 1). En este sistema podemos definir tres grupos minerales principales con estructuras cristalinas y propiedades magnéticas características (O'Reilly, 1984). Las titanomagnetitas forman un grupo de óxidos con una estructura de espinela inversa en la que iones de Fe^{2+} o Fe^{3+} pueden ocupar espacios tetrahedrales y octahedrales. Los minerales de este grupo presentan una solución sólida completa entre los dos miembros extremos (magnetita, Fe_3O_4 y ulvoespinela, Fe_2TiO_4), misma que es preservable al enfriarse rápidamente desde temperaturas superiores a los 600°C (Lindsley, 1991). Un segundo grupo de minerales lo conforman los óxidos rombohedrales (estructura de corindón), que constituyen la serie de las titanohematitas. La ilmenita (FeTiO_3), uno de los miembros límite, tiene planos (0001) alternativamente ocupados por Fe^{2+} o Ti^{4+} , y puede ser visualizada como una versión ordenada de hematita (Fe_2O_3), el otro extremo de la serie. El grado de orden atómico preservado en la estructura de los minerales de este grupo que son enfriados rápidamente depende no sólo de la composición química sino también de la temperatura previa al enfriamiento rápido, ya que se pueden encontrar rangos de inmiscibilidad en la solución sólida principalmente a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (Banerjee, 1991).

El tercer grupo de óxidos de Fe-Ti comprende minerales que se forman como resultado de la oxidación a bajas temperaturas (a 600°C ; Haggerty, 1991) de titanomagnetitas originales. Este grupo, conocido como la serie de las titanomaghemitas o espinelas con deficiencia de cationes, cubre la región por debajo de la línea punteada a la derecha de las titanomagnetitas en el diagrama de la Figura 1. Existen tres mecanismos alternativos para la formación de las

titanomaghemitas, aunque los detalles de estos procesos no están todavía perfectamente claros. El primer mecanismo consiste en la adición de átomos de oxígeno en la superficie de un grano de titanomagnetita original, lo cual induce un enriquecimiento en iones de Fe^{3+} durante difusión iónica. En este caso la proporción entre átomos metálicos y de oxígeno disminuye, mientras que la proporción de átomos de Fe/Ti permanece constante. En el segundo mecanismo los átomos de Fe en la superficie de una titanomagnetita pueden ser perdidos debido a reacciones químicas con el medio circundante, lo cual conduce a un descenso en la proporción de átomos metálicos/oxígeno de manera simultánea a un descenso en la proporción de átomos de Fe/Ti. El tercer mecanismo postula la pérdida de átomos de titanio, aunque este mecanismo requiere de condiciones muy especiales (O'Reilly, 1984). En este último mecanismo se produce un incremento en la proporción entre átomos de Fe/Ti, mientras que la proporción de átomos metálicos/oxígeno disminuye. La inestabilidad de las titanomaghemitas a temperaturas relativamente bajas (p.ej., la maghemita se convierte muy fácilmente en hematita si es recalentada a 300°C) ha dificultado la interpretación de estos minerales en sistemas naturales, aunque al parecer, el primero de los mecanismos descritos es el mecanismo de formación preferencial. Esta hipótesis se apoya en el hecho de que las titanomaghemitas son más comunes en las rocas a los costados de las dorsales oceánicas, mientras que en la zona central de las dorsales el grupo de las titanomagnetitas es el más común (Banerjee, 1991).

En los óxidos de Fe-Ti son comunes como impurezas elementos como Al, Cr, V, Mn y Mg. El contenido de estas impurezas depende tanto de las condiciones de cristalización como de las condiciones en las que se encuentra el mineral después de su formación. Lamentablemente, los coeficientes de partición de las impurezas en los óxidos magnéticos están pobremente constreñidos (p. ej., Neumann, 1974; Wilson, 1991) a pesar de la importancia que estos factores tienen desde una perspectiva petrogenética. Por esta razón, en las secciones siguientes se hará referencia a óxidos de Fe-Ti puros a no ser que explícitamente se indique lo contrario.

FUGACIDAD DE OXIGENO

Desde una perspectiva termodinámica, la fugacidad de un gas debe satisfacer dos condiciones importantes: La primera concierne a la fugacidad y el potencial químico de un componente dado, y la segunda involucra la fugacidad y la presión. De estas condiciones es posible establecer la siguiente relación entre la fugacidad (f), presión (P), temperatura (T) y volumen molar de un gas (V):

$$\ln\left(\frac{f}{P}\right) = \frac{1}{RT} \int \left(\frac{RT}{P} - \bar{V} \right) dP$$

en donde R es la constante de los gases ideales. El cociente f/P es conocido como el coeficiente de fugacidad, y generalmente se denota por la letra griega γ . El integrando de esta ecuación

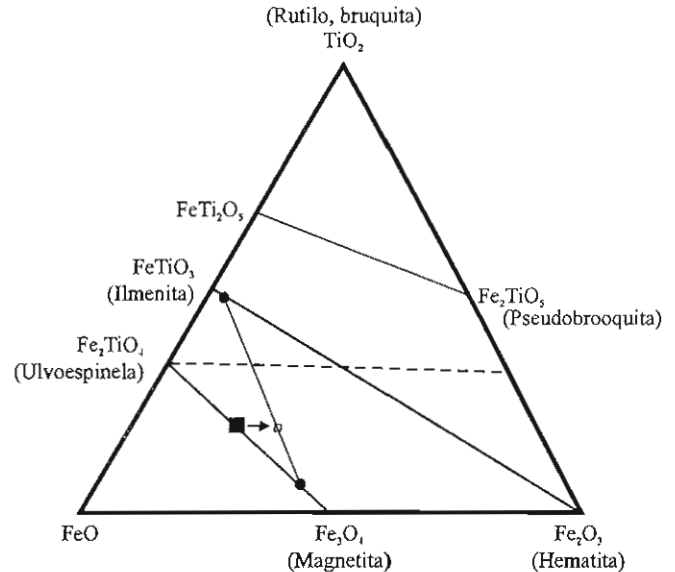


Figura 1. Sistema ternario mostrando la composición química de los óxidos de Fe-Ti. Los tres sistemas principales para el magnetismo de rocas se indican con las líneas más gruesas (el campo de las titanomaghemitas ocupa el área debajo de la línea punteada, a la derecha de la línea correspondiente a las titanomagnetitas). El cuadro negro marca la composición de un grano hipotético de titanomagnetita original que al ser oxidado cambia su composición global siguiendo la flecha, para ocupar el punto marcado por el cuadro blanco. Sin embargo, el grano ya no es homogéneo, sino que está formado por laminillas intercaladas de composición cercana a magnetita y a ilmenita puras (marcadas por los círculos negros).

corresponde a la diferencia entre el volumen real de 1 mol de cualquier gas a ciertas condiciones de P , T y el volumen que ese gas tendría si se comportara como un gas ideal. En otras palabras, la fugacidad está relacionada con las desviaciones en el comportamiento de un gas respecto al caso ideal, y en cierta forma puede ser interpretada como la tendencia de ese gas a escapar de una solución (Nordstrom y Muñoz, 1986).

En un contexto petrogenético, el concepto de fugacidad de oxígeno es necesario para expresar cualitativamente el potencial de oxidación de un sistema. Experimentalmente se ha encontrado que grupos específicos de minerales, por ejemplo fayalita-magnetita-cuarzo, permiten controlar las condiciones experimentales de oxidación en la sintetización de otros minerales a altas temperaturas. Por esta razón, se ha convertido en práctica común hacer referencia a las curvas de equilibrio de un reducido número de grupos de minerales utilizando diagramas de temperatura contra el logaritmo de la fugacidad de oxígeno al expresar las condiciones de equilibrio de cualquier otro grupo de minerales. De este modo, la fugacidad de oxígeno en realidad funciona como una variable experimental que permite estimar el cambio de energía entre las porciones oxidada y reducida de cualquier grupo de minerales en coexistencia (Frost, 1991).

Existe entonces una pequeña diferencia entre el concepto termodinámico de fugacidad de oxígeno y su aplicación en el

ámbito petrogenético como consecuencia de la imposibilidad para establecer si el oxígeno se encontraba en realidad libre en una solución de la cual cristalizaron los minerales de interés. De hecho, lo más probable es que esto no fuera así en la mayoría de los casos, y entonces lo único que podemos asegurar es que las condiciones de fugacidad de oxígeno prevalecientes durante la cristalización debieron ser similares a las que experimentalmente favorecen el equilibrio de ciertos minerales específicos. Es decir, la aseveración de que se han determinado las condiciones de fugacidad de oxígeno prevalecientes al momento de formación de una roca no se debe interpretar en el sentido de que existía una cierta cantidad de oxígeno tratando de escapar del magma original, sino más bien se debe interpretar en el sentido de que las condiciones de equilibrio durante la formación de la roca favorecen la presencia de un cierto elemento en un estado de oxidación característico. Por ejemplo, un valor muy pequeño de la fugacidad de oxígeno sugiere que se favorece la presencia de hierro metálico (Fe^0), mientras que un valor muy grande favorecerá la formación de minerales, como la hematita, en los que el hierro tiene un carácter férrico (Fe^{3+}). La relación termodinámica existente entre la fugacidad y otras variables como la presión o la actividad química de algunos elementos puede ser usada para deducir valores de estas últimas. Sin embargo, es práctica común hacer únicamente referencia a las condiciones de la fugacidad de oxígeno sin entrar más en detalles con respecto a otras variables termodinámicas.

GEOTERMÓMETROS Y GEOBARÓMETROS

Los métodos analíticos que nos permiten estimar las condiciones de presión y temperatura prevalecientes a una cierta profundidad debajo de la superficie de la Tierra se conocen como geobarómetros y geotermómetros, respectivamente. Comúnmente, tanto los geotermómetros como los geobarómetros consisten en la determinación experimental de las condiciones de equilibrio que propician la formación y coexistencia de algunas fases minerales. En esta sección se mencionan algunos aspectos de uno de tales métodos el cual está basado en el estudio de los óxidos de Fe-Ti.

A) ROCAS VOLCÁNICAS

De acuerdo con Anderson (1968), cuatro factores principales pueden influenciar la fugacidad de oxígeno de un magma basáltico: 1) la composición del material original y el grado de fusión que se genera en el sitio de origen del magma, 2) el cambio en la temperatura y en la presión a la que se encuentra el magma, cambio asociado al ascenso desde su zona de origen, 3) cambios químicos en el magma asociados con pérdidas y ganancias de elementos químicos y con la formación de minerales durante su ascenso, y 4) el porcentaje de cristalización alcanzado hasta momentos antes de su erupción. Las condiciones de fugacidad de oxígeno y temperatura a las que se encuentra un magma justo antes de ser erupcionado pueden ser deducidas a partir del análisis de fenocristales de óxidos de Fe-Ti en coexistencia, lo cual constituye actualmente el uso más

extendido de estos minerales en un contexto petrogenético.

Buddington y Lindsley (1964) establecieron el primer geotermómetro/geobarómetro basado en el estudio de los óxidos de Fe-Ti. El método, aplicado a rocas volcánicas, consiste en la determinación de las composiciones químicas de titanohematitas y titanomagnetitas coexistentes dentro de los límites de un mismo grano mineral. El par de composiciones químicas observado se usa para encontrar un punto en la gráfica mostrada en la Figura 2. Mediante esta gráfica se determina entonces un par de valores de la fugacidad de oxígeno y de la temperatura (que corresponde a las coordenadas del punto anterior), que corresponden a las condiciones prevalecientes al momento de la erupción del magma. La gráfica original propuesta por Buddington y Lindsley (1964), fue construida con base en datos experimentales cuidadosamente determinados, fue ampliamente aceptada desde su aparición y este método ha sido aplicado muy frecuentemente. Por ejemplo, Anderson (1968) dedujo que las condiciones de temperatura y fugacidad de oxígeno de los magmas alcalinos de la isla Tristán da Cunha deben ser similares a las condiciones pre-eruptivas de los basaltos toleíticos de Hawaii, a pesar de que ambos magmas tienen una proporción muy diferente de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ que parecería sugerir condiciones muy diferentes (al menos un orden de magnitud) en la fugacidad de oxígeno. En otro ejemplo, basándose en el análisis detallado de la composición química de óxidos de Fe-Ti contenidos en especímenes de lavas de diferentes partes del mundo, Carmichael (1967) determinó que la temperatura del *liquidus* de las rocas volcánicas ácidas se encuentra comúnmente alrededor de los 900°C. Otros ejemplos incluyen los trabajos de Fodor (1975), Johnson y Arculus (1978), Sakuyama (1979), Papezik y Hodych (1980), Bevier (1981), Deruelle (1982), Gillot y Nativel (1982), entre muchos otros.

Una formulación teórica del geotermómetro de óxidos de Fe-Ti fue desarrollada por Andersen y Lindsley (1988) y Lindsley *et al.* (1990). De acuerdo con Rutherford (1993), esta formulación termodinámica ofrece la posibilidad de determinar certeramente ($\pm 20^\circ\text{C}$) la temperatura de magmas que se encuentren en el intervalo 720°-1000°C, y en condiciones de fugacidad de oxígeno cercanas al equilibrio de las fases níquel-níquel-oxígeno. A diferencia de la versión experimental de Buddington y Lindsley (1964), el geotermómetro teórico propuesto por Lindsley *et al.* (1990) incorpora los efectos del intercambio de iones de Mg y Fe^{2+} entre olivino-magnetita y entre olivino-ilmenita haciéndolo un poco más cercano a las circunstancias que tienen lugar en los sistemas naturales. Esto es importante ya que al examinar en detalle las condiciones de equilibrio en los sistemas de cuarzo-ulvoespinela e ilmenita-fayalita se puede mostrar que si las composiciones originales de los óxidos son preservadas, las condiciones de fugacidad de oxígeno, temperatura, presión y actividad de sílice pueden ser estimadas a partir de la determinación de las composiciones de minerales coexistentes dentro de los grupos cuarzo-ulvoespinela-ilmenita-ortopiroxeno u ortopiroxeno-ulvoespinela-ilmenita-olivino (Lindsley *et al.*, 1990).

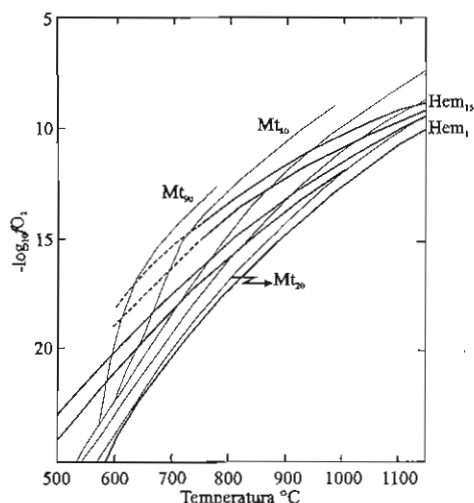


Figura 2. Diagrama de temperatura contra fugacidad de oxígeno mostrando algunas de las curvas de equilibrio para las fases coexistentes de titanomagnetitas y titanohematitas originalmente determinadas por Buddington y Lindsley (1964). La composición de las titanomagnetitas está expresada en términos de su contenido de magnetita, y la de las titanohematitas en términos de hematita.

Las dos versiones anteriores del geotermómetro de óxidos de Fe-Ti no son totalmente equivalentes, como se puede apreciar al examinar el caso de la Toba Bishop. Basándose en el geotermómetro de Buddington y Lindsley (1964), Hildreth (1979) concluyó que esa toba refleja la existencia de una cámara magmática estratificada térmica y composicionalmente. Sin embargo, Frost y Lindsley (1991) demostraron que al utilizar el sistema ortopiroxeno-augita-titanomagnetita-ilmenita-cuarzo como un geotermómetro independiente, el rango de temperatura, presión y fugacidad de oxígeno del magma que dió lugar a la Toba Bishop debió haber sido particularmente estrecho ($824^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 2700 ± 600 bars y 1.39 ± 0.05 unidades logarítmicas, respectivamente). Además, con base en el sistema extendido de silicatos-óxidos de Fe-Ti, no se justifica la identificación de un patrón evolutivo tomando como referencia la posición estratigráfica de las muestras, como originalmente lo había sugerido Hildreth (1979), por lo que la evidencia a favor de una cámara magmática estratificada queda eliminada.

Una versión teórica adicional de un geotermómetro basado en la composición de óxidos de Fe-Ti fue derivada por Ghiorso y Sack (1991) quienes extendieron las relaciones de equilibrio a sistemas que comprenden espinelas con iones de (Fe-Mg^{2+}) -Al-Cr-Ti-Fe y óxidos rombohedrales con iones de Fe^{2+} -Mg-Mn-Ti. Aparentemente este nuevo geotermómetro da resultados comparables al geotermómetro de Lindsley *et al.* (1990) en el rango de temperatura 750°C - 850°C y fugacidades de oxígeno cerca de la curva de equilibrio del sistema cuarzo-fayalita-magnetita, aunque la versión de Ghiorso y Sack (1991) es la más completa que se ha propuesto hasta el momento en términos del número de fases minerales incluidas. Sin embargo, a pesar del potencial que aparentemente tiene esta nueva versión del geotermómetro de los óxidos de Fe-Ti aún no se ha aplicado de manera sistemática en el estudio de sistemas naturales.

B) ROCAS PLUTÓNICAS

Los óxidos de Fe-Ti en las rocas plutónicas, a diferencia de los encontrados en rocas volcánicas, están generalmente sujetos a procesos de re-equilibración durante el enfriamiento lento propio de estas rocas. La re-equilibración involucra tres fases distintas: 1) intercambio de iones de Fe y Ti entre los óxidos y silicatos en coexistencia, 2) intercambio de iones entre titanomagnetitas y titanohematitas ya existentes y 3) la formación de un óxido de Fe-Ti a expensas de otro (p. ej. la "exsolución" de laminillas de ilmenita dentro de granos de titanomagnetita).

En la actualidad hay evidencias que sugieren que las reacciones que involucran olivino, piroxeno y óxidos de Fe-Ti ocurren entre los 900° y 700°C , mientras que las reacciones involucrando biotita, feldspatos potásicos y óxidos de Fe-Ti pueden extenderse hasta cerca de los 400°C (Frost, 1991). Sin embargo, ésta es un área de investigación muy reciente y es posible que estos valores cambien conforme se realicen estudios mas detallados.

En lo tocante a la re-equilibración entre dos óxidos de Fe-Ti independientes de los silicatos de su entorno, ésta depende de factores que incluyen la abundancia relativa de titanomagnetita y titanohematita originales, la composición del fluido circundante y la fugacidad de oxígeno original. Para ilustrar la relación que tienen todos estos factores, se pueden examinar los diferentes casos mostrados en la Figura 3. Si la roca cristaliza bajo condiciones de fugacidad de oxígeno más o menos altas, y la fase dominante de los óxidos de Fe-Ti es ilmenita, las condiciones de equilibrio que seguirán los óxidos está indicada por la curva 1A, hasta encontrarse con la curva que representa las condiciones de equilibrio del sistema hematita-ilmenita. Pero si la fase dominante es una titanomagnetita, las condiciones de equilibrio de estos minerales seguirá la curva 1B. Esta trayectoria puede verse interrumpida por la presencia de fluidos con alto contenido de carbono, los cuales desviarían las condiciones de equilibrio de los minerales de Fe-Ti a lo largo de la curva denotada por $(\text{CO}_2 + \text{CO})/\text{C}$ en la Figura 3. Por otro lado, si la roca cristaliza bajo condiciones de fugacidad de oxígeno menores, la interacción entre los óxidos de Fe-Ti y silicatos puede hacer que las condiciones de equilibrio de los primeros siga la curva 2A, mientras que la preponderancia de magnetita como fase original favorece la curva 2B, independientemente de la interacción con silicatos.

En todo caso, debido al gran número de variables involucradas y a la gran diversidad de posibles condiciones naturales, no es sorprendente que la petrología magnética se encuentre aún en plenas vías de desarrollo, requiriéndose mucho esfuerzo y más estudios detallados antes de poder utilizar esta herramienta de manera cotidiana en el estudio de las rocas plutónicas.

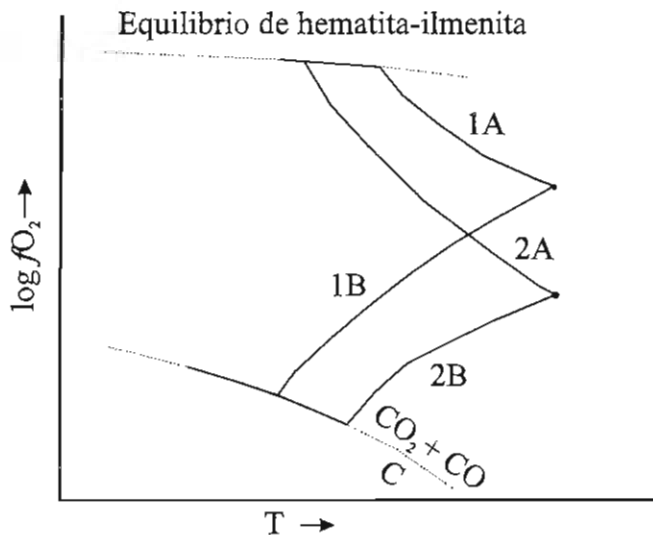


Figura 3. Diagrama de temperatura contra fugacidad de oxígeno ilustrando algunos de los diferentes caminos en equilibrio que pueden seguir los óxidos de Fe-Ti durante el enfriamiento de rocas intrusivas. Ver texto para una discusión más amplia.

PATRONES COMPOSICIONALES DE ÓXIDOS DE Fe-Ti EN ROCAS VOLCÁNICAS

Los rangos composicionales de las titanomagnetitas y titanohematitas comúnmente encontradas en diferentes tipos de rocas se muestran en las Figuras 4 y 5. Desafortunadamente, debido a la falta de interés general en el estudio de los óxidos de Fe-Ti desde una perspectiva petrogenética, la delimitación de los rangos composicionales mostrados en estas figuras han permanecido prácticamente inalterados desde el trabajo de Buddington y Lindsley (1964). Los datos más recientes incorporados en estos diagramas proceden de la recopilación hecha por Frost y Lindsley (1991).

A pesar de la complejidad en la secuencia de procesos de oxidación y re-equilibración que tiene lugar durante el enfriamiento de la mayoría de las rocas ígneas, se puede observar un descenso continuo en el rango de TiO_2 en las titanomagnetitas conforme avanza el grado de diferenciación, mientras que el contenido de hematita es relativamente pequeño, independientemente de la composición global de la roca. Estos patrones composicionales aparentemente reflejan una diferencia constante en las condiciones de cristalización de diferentes tipos de magmas (Frost y Lindsley, 1991). Los magmas toleíticos tienden a cristalizar en condiciones de fugacidad de oxígeno menores que los magmas calcálclicos, aunque debido al amplio rango en los patrones composicionales es difícil establecer condiciones de cristalización con mayor detalle.

Un aspecto interesante de los patrones composicionales de los óxidos de Fe-Ti en las rocas ígneas estriba en la cantidad estimada de impurezas enclavadas en los diferentes minerales. Por ejemplo, entre las titanomagnetitas de las rocas alcalinas, el contenido de Al_2O_3 puede variar entre 6% y 10% y el contenido de MgO puede tomar valores entre 5% y 8%, mientras

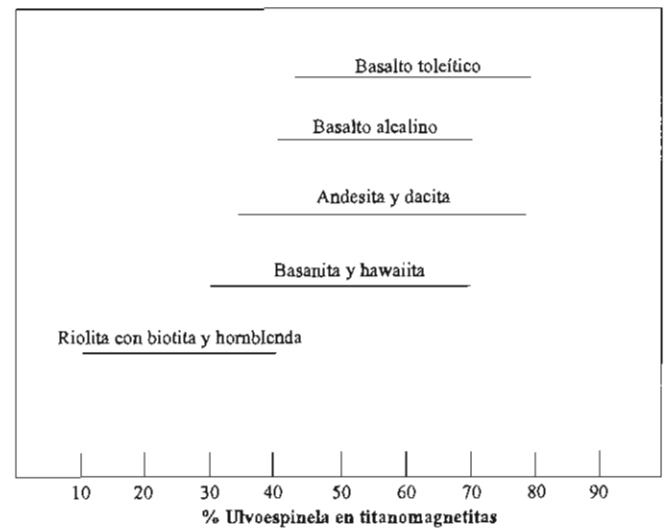


Figura 4. Composición de las titanomagnetitas que se encuentran comúnmente en rocas volcánicas.

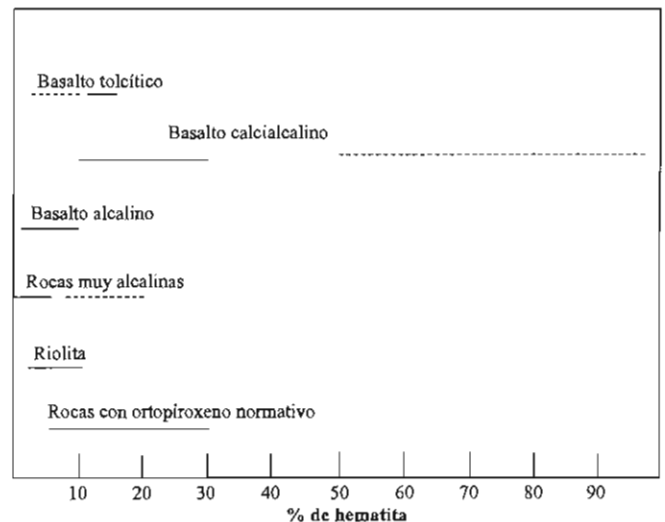


Figura 5. Composición de las titanohematitas que se encuentran comúnmente en rocas volcánicas.

que el contenido de estas impurezas en las titanomagnetitas de otro tipo de rocas normalmente es menor a un 3% (Frost y Lindsley, 1991). La cantidad de impurezas encontrada en las titanohematitas también muestra una cierta dependencia con la composición global de la roca ya que se estima que ésta puede variar desde un 7% en toleita, reduciéndose gradualmente hasta llegar a un 2% en riolita. Las consecuencias de estos patrones no han sido aún completamente explorados, pero es posible que influyan, aunque sea débilmente, las propiedades magnéticas de estos minerales.

El efecto de factores como la temperatura de cristalización, la fugacidad de oxígeno y la cantidad disponible de iones en la distribución de impurezas en los minerales magnéticos ha sido estudiado por algunos autores (p.ej., Dasgupta, 1970; Speidel, 1970; Neumann, 1974). Los resultados de estos estudios nos llevan a concluir que la temperatura es el factor más importante,

seguido de la proporción de iones de impurezas/iones de hierro existente en el magma original. La fugacidad de oxígeno, al parecer, ejerce un control muy débil en dicha distribución, de tal manera que la determinación del tipo y cantidad de impurezas contenidas en los óxidos de Fe-Ti puede ayudarnos en la determinación de las temperaturas de formación de algunas rocas volcánicas de manera independiente a los geotermómetros explicados anteriormente.

GRANITOS DEL TIPO MAGNETITA/ILMENITA

A pesar de los problemas ya mencionados con respecto a la estabilidad de los óxidos de Fe-Ti en rocas plutónicas, Ishihara (1977) propuso una clasificación muy útil de los granitos basada en su contenido de magnetita. Si el granito contiene magnetita pertenece a la llamada serie con magnetita, mientras que si la roca no contiene este mineral se dice que pertenece a la serie con ilmenita. Cabe mencionar, sin embargo, que los granitos de la serie con magnetita también contienen ilmenita, por lo que es preferible referirse a los dos tipos como granitos con o sin magnetita, según corresponda.

De manera simple, se considera que los granitos con magnetita son el resultado de la cristalización de un magma bajo condiciones de alta fugacidad de oxígeno mientras que los granitos de la serie sin magnetita están relacionados con condiciones de baja fugacidad de oxígeno. Basado en este esquema, Ishihara (1977) propuso que los granitos con magnetita son el resultado de la cristalización de magmas generados a mayores profundidades, mientras que los granitos sin magnetita, en contraste, estuvieron asociados con magmas generados a profundidades menores bajo la influencia de material carbonatado posiblemente relacionado con la presencia de rocas sedimentarias como roca encajonante. De esta manera, la división de granitos en ambas series resultaba ser análoga a la clasificación de granitos en tipos I (resultado de la fusión de rocas ígneas) y S (resultado de la fusión de rocas sedimentarias) propuesta por White y Chappell (1977).

Sin embargo, la analogía entre ambos esquemas de clasificación de granitos se vuelve un poco indefinida al tomar en cuenta la distribución regional de rocas de este tipo. Por ejemplo, en la parte norte de la isla principal de Japón (Honshu) se encuentra una mayor cantidad de granitos con magnetita del lado del Océano Pacífico, mientras que del lado del Mar de Japón se encuentran granitos sin magnetita. Esto contrasta con lo que ocurre en las partes central y sur de esa misma isla en donde las posiciones relativas de ambos tipos de granitos están intercambiadas. En una escala más grande también existen aparentes contradicciones de este tipo ya que los granitos sin magnetita en Chile se encuentran del lado de la trinchera y los granitos con magnetita se encuentran continente adentro (Ishihara y Ulriksen, 1980), mientras que en el margen oriental del continente asiático esta relación está invertida (Gastil *et al.*, 1990).

Gastil *et al.* (1990) examinaron con mayor detalle el problema de la distribución regional de las rocas graníticas tomando como base la región que comprende la parte sur de California (EUA) y la península de Baja California (México). De acuerdo con estos autores, la parte occidental de la región está constituida por granitos predominantemente de la serie con magnetita y cuyas edades son mayores a los 105 Ma. La parte oriental de la zona está constituida por granitos de la serie sin magnetita, mismos que pueden separarse en dos subgrupos de acuerdo a su edad y estructura general. El primer subgrupo está constituido por rocas con edades mayores a los 100 Ma y una foliación regional muy clara, mientras que el segundo subgrupo lo forman granitos con edades menores a los 97 Ma y sin una foliación regional distintiva. La frontera entre las dos provincias principales no es uniforme a lo largo de toda su extensión ya que a veces puede definirse en una escala de centímetros, aunque en otros casos existe una zona de transición que puede tener varios kilómetros de anchura. Una complicación adicional, también identificada por Ishihara (1977) en Japón, es que cuerpos plutónicos individuales presentan una zonación interna en donde granitos con magnetita se encuentran en la zona más externa y granitos sin magnetita se encuentran en la zona central del plutón. Esta zonación en el tipo de granito parece estar relacionada con el grado de foliación de la roca ya que las zonas de mayor foliación son prácticamente no magnéticas (i.e., deben ser del tipo sin magnetita). Tomando en cuenta todas estas relaciones, Gastil *et al.* (1990) propusieron un esquema en el que la generación de granitos sin magnetita está asociada con magmas formados a profundidades en las que la deshidratación de la placa subducente es preponderante, mientras que magmas formados a mayores o menores profundidades, dan lugar aparentemente a granitos con magnetita, tal y como se ilustra en la Figura 6. Las relaciones observadas en plutones independientes depende de la naturaleza del medio circundante, de la interacción del diapiro de magma con la roca encajonante y del nivel de erosión que haya ocurrido en ese sitio (Figura 7). A pesar de esto, es importante hacer notar que todavía existen muchos detalles que no han sido explicados satisfactoriamente con respecto al origen de los granitos, por lo que esta área de investigación está todavía abierta.

ESTUDIO DE ROCAS ÍGNEAS ESTRATIFICADAS

Existe un tipo especial de rocas intrusivas de composición máfica a ultramáfica que presenta diferentes variedades y escalas de estratificación semejantes a la estratificación observada en rocas sedimentarias. Los estratos individuales de estos intrusivos pueden variar entre unos pocos milímetros y cientos de metros de espesor y, en el caso de las intrusiones más grandes, se puede identificar lateralmente un estrato a lo largo de decenas de kilómetros. Entre los complejos ígneos estratificados de dimensiones más grandes, se encuentra la intrusión de Bushveld, en Sudáfrica, cuya extensión cubre cerca de 65 000 km², mientras que al otro extremo de la escala se encuentra la intrusión

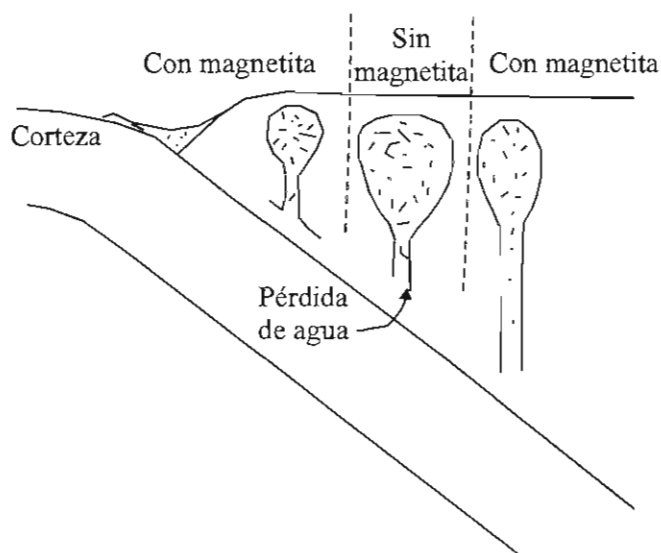


Figura 6. Esquema mostrando el modelo propuesto por Gastil *et al.* (1990) para explicar la generación de granitos con y sin magnetita. Los granitos sin magnetita se forman cuando el magma se genera en un rango más o menos estrecho de condiciones de fugacidad de oxígeno. Si el magma se genera fuera de ese rango, éste dará lugar a un granito con magnetita.

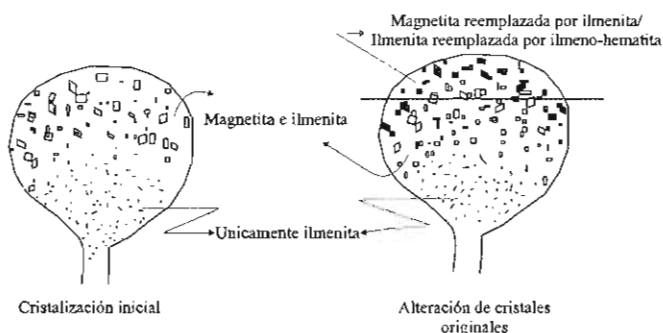


Figura 7. Esquema mostrando la evolución con la cristalización en el contenido de magnetita de un cuerpo intrusivo visualizado como un diapiro que asciende por la corteza. En el diagrama de la derecha, el efecto de una oxidación de los óxidos de Fe-Ti originales produce una segunda generación de estos minerales. El efecto de la erosión está marcado por la línea punteada, dejando al descubierto un plutón conteniendo diferentes tipos de óxidos de Fe-Ti en diferentes partes (Modificado de Gastil *et al.*, 1990).

de Skaergaard, Groenlandia, cuya extensión apenas alcanza los 170 km² (Wilson, 1991).

La explicación tradicional de la formación de estas rocas relaciona la estratificación con la cristalización fraccionada de cámaras magmáticas (p.ej., Wager y Brown, 1968). La ocurrencia de una repetición regular de estratos, misma que puede ocurrir en escalas de metros, ha sido asociada con la llegada de nuevos pulsos de magma a la cámara, aunque otras explicaciones incluyen oscilaciones en la nucleación y tasas de crecimiento de algunos minerales (McBirney y Noyes, 1979) o gradientes en la composición del magma relacionados con el crecimiento de diferentes especies minerales aunado con efectos de convección (Huppert y Sparks, 1980).

El orden de nucleación de los diferentes minerales puede estar relacionado con la fugacidad de oxígeno y la composición global del magma, por lo que el estudio de los óxidos de Fe-Ti puede ser útil en la reconstrucción de la historia de la formación de estos cuerpos intrusivos. Sin embargo, hay otros aspectos que merecen mencionarse además de la fugacidad de oxígeno, como lo muestra el estudio de Cawthorn y McCarthy (1981) del complejo intrusivo de Bushveld. Al estudiar con detalle las variaciones en el contenido de cromo de la magnetita de este complejo, estos autores encontraron ciclos en la dirección vertical especialmente cerca de la base de la intrusión. Los ciclos observados no son compatibles con un modelo de cristalización y sedimentación de los cristales de una cámara magmática homogénea, ni tampoco favorecen un modelo de múltiples eventos de intrusiones magmáticas. Sin embargo, los gradientes composicionales deducidos de los patrones observados en la distribución de cromo sugieren la ocurrencia de una cristalización continua del fondo de la cámara magmática acompañada de eventos de convección que pudieron haber involucrado el material de toda la cámara.

A pesar de los resultados positivos obtenidos por Cawthorn y McCarthy (1981), el estudio detallado de las variaciones de los óxidos de Fe-Ti en cuerpos intrusivos máficos aún está en una etapa inicial, por lo que sería aventurado hacer generalizaciones con respecto a la aplicabilidad del método en otros sitios.

PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LOS ÓXIDOS DE Fe-Ti

La composición química y la microestructura de los óxidos de Fe-Ti (en particular el tamaño y la forma de los minerales) determinan completamente las propiedades magnéticas como la temperatura de Neél o la temperatura de Curie (temperaturas a las cuales la energía térmica rompe con el ordenamiento electrónico del mineral) y la magnetización de saturación (M_s , cantidad que expresa en cierta forma el máximo grado de paralelismo de los spins de electrones que se puede alcanzar en una estructura cristalina). Esta relación estrecha entre parámetros químicos y propiedades magnéticas permite, idealmente, constreñir la composición química de un mineral a través de mediciones magnéticas. Desafortunadamente, debido al gran número de variables involucradas, no es posible determinar la composición química de un grano de mineral aislado basándose únicamente en la medición de una sola de sus propiedades magnéticas. Sin embargo, es posible constreñir la naturaleza de los óxidos de Fe-Ti a través de mediciones de este tipo al tomar en cuenta el papel que juega la concentración de los minerales ferromagnéticos en un espécimen. En la Figura 8 se muestra en forma esquemática la relación que existe entre los tres parámetros principales (composición química, microestructura y concentración) con las propiedades magnéticas comúnmente medidas en rocas. En esta figura se muestra que algunas de las propiedades magnéticas dependen principalmente de la composición química de la fracción mineral magnética de la

roca; otras dependen tanto de la composición como de la concentración de estos minerales, mientras que hay otras propiedades magnéticas que dependen tanto de la composición como de la concentración y de la microestructura de los minerales magnéticos. Entonces, midiendo tres o más de las propiedades magnéticas adecuadas se pueden estimar los valores de los parámetros principales. Es importante hacer énfasis, sin embargo, en que los valores deducidos de estos parámetros a través de mediciones magnéticas son valores promedio característicos de la roca en su totalidad y no deben interpretarse como representativos de una especie mineral única predominante en toda la roca.

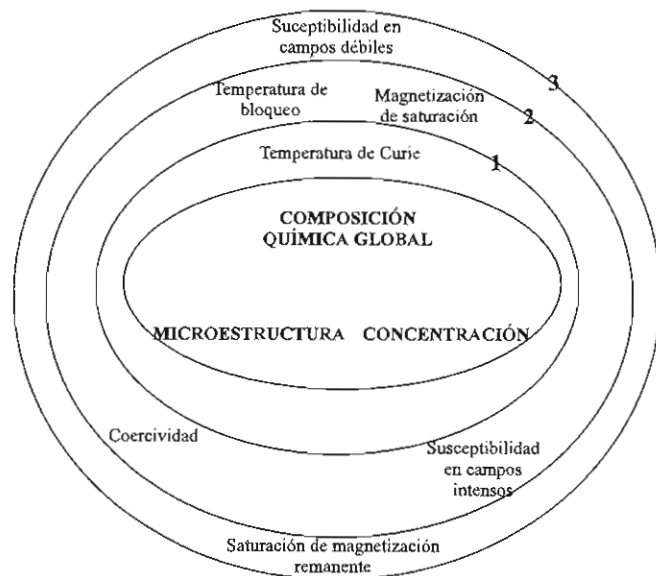


Figura 8. Diagrama mostrando la dependencia de las propiedades magnéticas de las rocas con respecto a los tres parámetros encerrados en la elipse central. La elipse 1 contiene las propiedades magnéticas que dependen sólo de uno de esos parámetros, la elipse 2 muestra las propiedades que dependen de dos de esos parámetros y la elipse 3 contiene propiedades que dependen de los tres parámetros simultáneamente.

A) APLICACIONES PETROGENÉTICAS

Una de las suposiciones principales generalmente implícita en los estudios petrogenéticos es que las muestras de rocas colectadas en los afloramientos son representativas del magma que las generó. Haciendo a un lado las complicaciones derivadas del intemperismo de las rocas estudiadas, algunos aspectos del enfriamiento sufrido después de haber sido emplazadas puede invalidar esta suposición. Por ejemplo, se han observado grandes variaciones sistemáticas en elementos como MgO , Al_2O_3 y SiO_2 atribuidos al hundimiento de cristales de olivino en lagos de lava (Moore y Evans, 1967). En contraste, las variaciones observadas en otros óxidos como TiO_2 y CaO en el mismo sitio fueron menos pronunciadas, mientras que el contenido de K_2O se mantuvo prácticamente constante. Otro aspecto que puede propiciar variaciones de algunos elementos en una sola unidad de enfriamiento es el desarrollo de gradientes internos de la fugacidad de oxígeno normalmente asociados con la migración

preferencial de hidrógeno (Petersen, 1976). Esta migración preferencial de algunos elementos claramente invalida la condición de homogeneidad necesaria para determinar composiciones globales de magma, y aunque variaciones en el tamaño y cantidad de algunos minerales puede ser detectada fácilmente, cambios en la fugacidad de oxígeno durante el enfriamiento inicial de una roca no son particularmente fáciles de identificar, ni siquiera mediante el examen de secciones delgadas (Watkins y Haggerty, 1965). Watkins y Haggerty (1967) y Watkins *et al.* (1970), examinaron con detalle las variaciones de las propiedades magnéticas y el contenido de varios elementos a lo largo de un perfil vertical colectado de un flujo de lava de aproximadamente 11 m de espesor. Sus resultados indican una correlación muy clara entre la intensidad de magnetización, el índice de oxidación (Wilson *et al.*, 1968) y los cocientes de Fe_2O_3/FeO y Th/U . Debido a que el mayor índice de oxidación refleja efectos de alteración a altas temperaturas, es entonces recomendable restringir los análisis químicos a aquellas muestras que han sido objeto de menor oxidación; muestras que pueden ser fácilmente identificadas con base en su baja intensidad de magnetización. Otros ejemplos en los que propiedades magnéticas han sido correlacionados con otras variables de posible interés petrogenético incluyen los estudios de Smith y Prévot (1977) y Ade-Hall *et al.* (1971). Sobre decir que este tipo de estudios ha sido extremadamente limitado y todavía existen muchas preguntas sin respuesta acerca de la utilidad de las propiedades magnéticas de las rocas en un contexto petrogenético.

B) ANISOTROPÍA MAGNÉTICA

De entre todas las propiedades magnéticas de las rocas ígneas, la susceptibilidad magnética es quizá la que ha sido más consistentemente utilizada en un contexto vulcanológico. La susceptibilidad magnética es la propiedad de la materia que caracteriza su respuesta ante un campo magnético externo determinando la intensidad y dirección de la magnetización resultante en el material. En general, la susceptibilidad magnética presenta una variabilidad direccional comúnmente referida como anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM). Puesto que el campo magnético externo no solamente induce una magnetización en una dirección paralela a sí mismo al ser aplicado a minerales ferromagnéticos más o menos grandes, sino que también presenta una componente de magnetización inducida en direcciones perpendiculares, la ASM se representa mejor como un tensor simétrico de segundo rango (Nye, 1960). La popularidad de la ASM se ha incrementado muy rápidamente en la última década como consecuencia del mejoramiento en los sistemas comerciales usados para su medición. El tipo de aplicaciones geológicas de la ASM ha sido examinado en detalle por Hrouda (1982), Borradaile (1988), Jackson y Tauxe (1991) y Tarling y Hrouda (1993).

La relevancia de la ASM en un contexto petrogenético es relativamente indirecta, aunque puede contribuir enormemente al mejor entendimiento de las características de las regiones donde se produce el magma. En este sentido, Ernst y Baragar

(1992) usaron mediciones de ASM para reconstruir el camino seguido por el magma que se movía dentro de los diques gigantes de Mackenzie en Canadá. De acuerdo a sus resultados, la fuente del magma está restringida a una sección muy pequeña debajo de la zona focal de dichos diques por lo que, a pesar de su extensión, el sistema de diques no ofrece la posibilidad de conocer la composición del manto mas que en esa zona restringida. Staudigel *et al.* (1992) también han hecho énfasis en la relevancia de la componente horizontal en el transporte de magma a través de diques regionales, por lo que este modo de transporte debe tomarse en cuenta al hacer conclusiones respecto a la naturaleza global del manto.

RECAPITULACIÓN

Aunque los óxidos de Fe-Ti han sido generalmente menospreciados por la mayoría de los petrólogos, existe un rango muy amplio de posibles aplicaciones de estos minerales en la determinación de condiciones de generación y transporte de magmas. Además de ser útiles en la determinación de condiciones de fugacidad de oxígeno durante la cristalización de algunas rocas, estos minerales pueden ser usados para constreñir la ocurrencia de eventos de alteración difíciles de detectar mediante otros medios, así como en la delimitación de los caminos seguidos por magmas durante su ascenso del manto hacia la superficie del planeta. En la actualidad, el desarrollo de la petrología magnética está aún en sus inicios, por lo que existen muchas oportunidades para que los jóvenes científicos abran nuevos horizontes en esta disciplina.

AGRADECIMIENTOS

El contenido de este artículo es en su mayor parte el material presentado durante una plática en el 29 Congreso Internacional de Geología en Tokyo, Japón. Agradezco los comentarios hechos por varios colegas durante ese congreso, así como sus palabras de aliento que me inspiraron a escribir una primera versión de este artículo. Sin embargo, otros asuntos que requerían atención inmediata ocuparon mi atención impidiéndome continuar con el proceso de publicación hasta fecha muy reciente. También agradezco a Luis Delgado y Juan García por su insistencia, misma que me llevó a finalizar lo empezado hace ya algunos años. Finalmente, quisiera agradecer los comentarios hechos por L. Delgado y Sóstenes Méndez quienes con paciencia tuvieron a bien corregirme las incontables faltas de ortografía que contenía este artículo, además de hacer comentarios que mejoraron la facilidad de comprensión del mismo.

REFERENCIAS

- Ade-Hall, J.M., Palmer, H.C., and Hubbard, T.P., 1971. The magnetic and opaque petrological response of basalts to regional hydrothermal alteration. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 24: 137-174.
- Andersen, D.J., and Lindsley, D.H., 1988. Internally consistent solution models for Fe-Mg-Mn-Ti oxides. *Am. Mineral.*, 73: 714-726.
- Anderson, A.T., 1968. The oxygen fugacity of alkaline basalt and related magmas, Tristan da Cunha. *Am. J. Sci.*, 266: 704-727.
- Banerjee, S.K., 1991. Magnetic properties of Fe-Ti oxides. In Lindsley, D.H., (ed.) *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. *Rev. Mineral.*, 25: 107-128.
- Bevier, M.L., 1981. The rainbow range. British Columbia: a miocene peralkaline shield volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 11: 225-251.
- Borradaile, G.J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. *Tectonophysics* 156: 1-20.
- Buddington, A.F., and Lindsley, D.H., 1964. Iron titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. Petrol.*, vol 5, 2: 310-357.
- Carmichael, I.S.E., 1967. The iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Cont. Min. Petrol.*, 14: 36-64.
- Cawthorn, R.G., and McCarthy, T.S., 1981. Bottom crystallization and diffusion control in layered complexes: evidence from Cr distribution in magnetite from the Bushveld complex. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, 84: 41-50.
- Dasgupta, H.C., 1970. Influence of temperature and oxygen fugacity on the fractionation of manganese between coexisting titaniferous magnetite and ilmenite. *J. Geology*, 78: 243-249.
- Deruelle, B., 1982. Petrology of the plio-quaternary volcanism of the south-central and meridional Andes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 14: 77-124.
- Ernst, R.E., and Baragar, W.R.A., 1992. Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the Mackenzie giant radiating dyke swarm. *Nature* 356: 511-513.
- Fodor, R.V., 1975. Petrology of basalt and andesite of the Black Range, New Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86:295-304.
- Frost, B.R., 1991. Magnetic petrology: factors that control the occurrence of magnetite in crustal rocks. In Lindsley, D.H., (ed.) *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. *Rev. Mineral.*, 25: 489-509.
- Frost, B.R., and Lindsley, D.H., 1991. Occurrence of iron-titanium oxides in igneous rocks. In Lindsley, D.H., (ed.) *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. *Rev. Mineral.*, 25: 433-468.
- Gastil, G., Diamond, J., Knaak, C., Walawender, M., Marshall, M., Boyles, C., Chadwick, B., and Erskine, B., 1990. The problem of the magnetite/ilmenite boundary in southern and Baja California California. *Geol. Soc. Am. Mem.* 174: 19-32.
- Ghiorso, M.S., and Sack, R.O., 1991. Fe-Ti oxide geothermometry: thermodynamic formulation and the estimation of intensive variables in silicic magmas. *Contrib. Miner. Petrol.*, 108: 485-510.
- Gillot, P.Y., and Nativel, P., 1982. K-Ar chronology of the ultimate activity of Piton des Neiges volcano, Reunion island, Indian

- Ocean. J. Volcanol. Geotherm. Res., 13; 131-146.
- Haggerty, S.E., 1991. Oxide mineralogy of the upper mantle. In Lindsley, D.H., (ed.) Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. Rev. Mineral., 25; 355-416.
- Hildreth, W., 1979. The Bishop Tuff: evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chambers. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 180; 43-75.
- Hrouda, F., 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in Geology and Geophysics. Geophys. Surv. 5; 37-82.
- Huppert, H.E., and Sparks, R.S.J., 1980. The fluid dynamics of a basaltic magma chamber replenished by influx of hot, dense, ultrabasic magma. Contrib. Mineral. Petrol., 75; 279-289.
- Ishihara, S., 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Min. Geol., 27; 293-305.
- Ishihara, S., and Ulriksen, C.E., 1980. The magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Chile. Min. Geol., 30; 183-190.
- Jackson, M., and Tauxe, L., 1991. Anisotropy of magnetic susceptibility and remanence: developments in the characterization of tectonic, sedimentary and igneous fabric. Rev. Geophys. 29 Supp.; 371- 376.
- Johnson, R.W., and Arculus, R.J., 1978. Volcanic rocks of the Witu islands, Papua New Guinea: the origin of magmas above the deepest part of the New Britain Benioff zone. Bull. Volcanol., 41; 609-
- Lindsley, D.H., 1991. Experimental studies of oxide minerals. In Lindsley, D.H., (ed.) Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. Rev. Mineral., 25; 69-106.
- Lindsley, D.H., Frost, B.R., Andersen, D.J., and Davidson, P.M., 1990. Fe-Ti oxide silicate equilibria: assemblages with orthopyroxene. Geoch. Soc. Spec. Pub., 2; 103-119.
- McBirney, A.R., and Noyes, R.N., 1979. Crystallisation and layering of the Skacgaard intrusion. J. Petrol., 20; 487-554.
- Moore, J.G., and Evans, B.W., 1967. The role of olivine in the crystallization of the prehistoric Makaopuhi tholeiitic lava lake, Hawaii. Contr. Miner. Petrol., 15; 202-223.
- Ncumann, E.R., 1974. The distribution of Mn²⁺ and Fe²⁺ between ilmenites and magnetites in igneous rocks. Amer. J. Sci., 274; 1074-1088.
- Nordstrom, D.K., and Munoz, J.L., 1986. Geochemical thermodynamics. Blackwell Scientific Publications, Palo Alto; 477pp.
- Nye, J.F., 1960. Physical properties of crystals. Oxford University Press, London; 322pp.
- O'Reilly, W., 1984. Rock and mineral magnetism. Blackie, London; 220pp.
- Papezik, V.S., and Hodych, J.P., 1980. Early mesozoic diabase dikes of the Avalon peninsula Newfoundland: petrochemistry, mineralogy and origin. Can. J. Earth Sci., 17; 1417-1430.
- Petersen, N., 1976. Notes in the variation of magnetization within basalt lava flows and dikes. Pure Appl. Geophys., 14; 177-193.
- Rutherford, M.J., 1993. Experimental petrology applied to volcanic processes. EOS, 74; 49.
- Sakuyama, M., 1979. Evidence of magma mixing: petrological study of Shirouma-Oike calc-alkaline andesite volcano. Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., 5; 179-208.
- Smith, B.M., and Prévot, M., 1977. Variation of the magnetic properties in a basaltic dyke with concentric cooling zones. Phys. Earth Planet. Int., 14; 120-136.
- Speidel, D.H., 1970. Effect of magnesium on the iron titanium oxides. Amer. J. Sci., 268; 341-353.
- Staudigel, H., Gcc, J., Tauxe, L., and Varga, R.J., 1992. Shallow intrusive directions of sheeted dikes in the Troodos ophiolite: anisotropy of magnetic susceptibility and structural data. Geology 20; 841-844.
- Tarling, D., H., and Hrouda, F., 1993. The magnetic anisotropy of rocks. Chapman and Hall, London; 217pp.
- Wager, L.R., and Brown, G.M., 1968. Layered igneous rocks. Oliver and Boyd, Edinburgh; 588pp.
- Watkins, N.D., and Haggerty, S.E., 1965. Some magnetic properties and the possible petrogenetic significance of oxidized zones in an Icelandic olivine basalt. Nature, 206; 797-800.
- Watkins, N.D., Haggerty, S.E., 1967. Primary oxidation variation and petrogenesis in a single lava. Contr. Miner. Petrol., 15; 251-271.
- Watkins, N.D., Gunn, B.M., and Coy-Yll, R., 1970. Major and trace element variations during the initial cooling of an Icelandic lava. Amer. J. Sci., 268; 24-49.
- White, A.R.J., and Chappell, B.W., 1977. Ultrametamorphism and granitoid genesis. Tectonophysics, 43; 7-22.
- Wilson, M., 1991. Igneous petrogenesis: a global tectonic approach. Harper Collins Academic, London; 466pp.
- Wilson, R.L., Haggerty, S.E., and Watkins, N.D., 1968. Variation of palaeomagnetic stability and other parameters in a vertical traverse of a single Icelandic lava. Geophys. J. R. astr. Soc., 16; 79-96.

LA TEORÍA DE RAYOS Y SUS APLICACIONES

Juan A. Madrid

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE,
Km. 107, Carret. Tijuana- Ensenada, Ensenada, B.C.

"If you are dropping pebbles into a pond and do not watch the spreading rings, your occupation should be considered as useless.

Kuzma Prutkoff
(filósofo ruso)

INTRODUCCIÓN

El hombre tiene la necesidad imperiosa de penetrar y escudriñar las entrañas de los medios que le rodean para saber cómo están formados y qué es lo que contienen. Necesita hurgar en el océano en busca de alimento, conocimiento y riquezas; necesita penetrar los aires tanto por el transporte y el comercio, como por el clima y la defensa, y necesita adentrarse en la tierra sólida para encontrar, entre las cosas que ella atesora, el combustible que es sustento de su civilización. Pero también necesita sondear cosas pequeñas, como los huesos y las pirámides; medianas, como los campos geotérmicos; grandes, como la tierra misma; o gigantescas, como la galaxia. Esta gran necesidad se da en razón de su salud, de su subsistencia, de su civilización y de un mayor conocimiento de su habitat en el cosmos, lo cual le ayuda a comprenderlo mejor, a explotar mejor sus recursos y a elaborar mejores hipótesis sobre su origen y su destino final, y definitivamente, se da en busca de su futuro.

Para poder internarse en cada uno de esos medios, necesita los "ojos" y la "luz" adecuados. Para Euclides, en el siglo III A.C., la visión era posible porque los ojos enviaban luz hacia el objeto de la vista. Esto no es cierto en tanto se refiere al ojo humano, pero es totalmente cierto en cuanto se refiere a algunas formas de investigar el océano, la atmósfera, la tierra firme, o el hielo. La "luz", en cada caso, es una forma de radiación (electromagnética o sonido) emitida por algún tipo de "linterna" (fuente) que tiene la capacidad de "canalizar" esta radiación, creando un fuerte efecto direccional al iluminar el medio (un haz). Ésto es todo lo que la teoría de rayos necesita para operar. En ocasiones, la "linterna" es natural y el sondeo del medio es pasivo. Ejemplos de observación de fuentes "naturales" son los arreglos de radiotelescopios diseñados para sondear el espacio en la búsqueda de señales de vida inteligente en el universo, y la escucha submarina del eco del océano. La teoría de rayos, nuestro tema central, se aplica a una variedad de actividades relacionadas con el sondeo del planeta y del espacio exterior. Existen aplicaciones en otros campos, por ejemplo, en el diseño de objetos tridimensionales por computadora, o la más tradicional, en el diseño y calibración de instrumentos ópticos. En este trabajo no tocaremos este tema, ya que existen excelentes exposiciones del mismo a muchos niveles. Por falta de espacio, nos restringiremos a los que consideramos más

importantes y con los que estamos más relacionados. Para llegar a la teoría de rayos, daremos una idea abreviada de lo que es una onda, sin profundizar en los detalles físicos o matemáticos. Usaremos para ello uno de los ejemplos más simples, ilustrativos y fáciles de encontrar: las ondas superficiales que se forman en un estanque lleno de agua al caer en él una piedra del tamaño de la mano. Este ejemplo es especial porque podemos *ver* cómo evolucionan las ondas en la superficie. Estas se propagan en el agua (o en cualquier otro líquido) debido a la acción de dos fuerzas: la gravedad y la tensión superficial.Cuál de ellas predomina depende de la velocidad de propagación y de la frecuencia de la onda. Las ondas oceánicas están gobernadas por la gravedad, mientras que en un estanque como el de nuestro ejemplo, están gobernadas por la tensión superficial o por una combinación de las dos fuerzas. Para la teoría de rayos esto no es importante. Lo único que interesa es que la longitud de onda sea corta, es decir, que los frentes de onda estén bien definidos en relación a las dimensiones lineales del estanque.

FENÓMENOS ONDULATORIOS.

En la naturaleza existen fenómenos ondulatorios que podemos observar sin necesidad de equipo especial. Una piedra que cae en un estanque lleno de agua, produce una onda que se propaga de tal manera que *vemos* en la superficie un conjunto de círculos concéntricos cuyos radios crecen mientras el tiempo pasa (Figura 1). Si hay obstáculos, los frentes de onda interaccionan con ellos *reflejándose, refractándose y difractándose* para formar esquemas geométricos caprichosos. Muchas preguntas surgen de inmediato: Eso que se mueve, ¿implica transporte de materia? ¿hay una transferencia de energía entre el punto en que se producen las ondas y cualquier otro punto que alcanzan? ¿esas figuras son círculos perfectos? ¿Es posible que en otro estanque no se formen círculos, sino alguna otra figura geométrica?

Si observamos de cerca, vemos una ola pequeña, con crestas y depresiones, semejante a la Figura 1(c), que se propaga de manera que su altura decrece en tamaño conforme se aleja del punto donde se formó. Estas observaciones nos estimulan más preguntas: ¿Qué tiene que ver la altura de la cresta (la amplitud) con la distancia (el radio)? ¿Por qué no aumenta la amplitud

con la distancia, en lugar de hacerse más pequeña? Podemos pensar en muchas más preguntas que nos llevarían a los libros de física o a los especialistas. Al contestarlas, descubriríamos la teoría de ondas, y como una alternativa, la teoría de rayos.

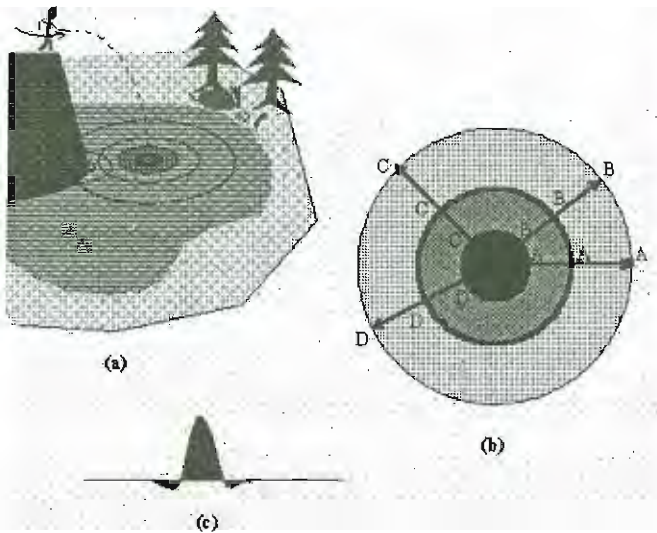


Figura 1. (a) Una piedra cae en un estanque produciendo ondas que se propagan formando círculos concéntricos. (b) Frentes de onda y rayos vistos desde arriba. (c) Desplazamiento de las partículas de agua (amplitud de la onda).

El comportamiento descrito en este ejemplo es característico de las ondas, pero son muy pocos los casos donde es posible observarlo directamente. Las ondas producidas por un terremoto se propagan por el interior de la Tierra, del mar, o de ambos y no podemos verlas; la luz visible es una onda electromagnética cuyos detalles no podemos observar; el sonido, aún dentro del rango audible, también nos es inalcanzable en ese sentido. *Sólo sentimos sus efectos* (Figura 2).

UNA ONDA ES UNA PERTURBACIÓN QUE SE PROPAGA

Una onda es una perturbación que se propaga (Ingard y Kraushaar, 1960; Crawford, 1963). En nuestro ejemplo, podemos hacer el siguiente experimento: pongamos un pequeño barco de papel en el agua, y dejemos caer la piedra. Un tiempo después de que la piedra toca el agua una ola alcanza al barquito, que ejecuta un movimiento aproximadamente circular con la frecuencia de la onda *alrededor de su posición original*, mientras la ola (onda) pasa. Si hubiese acarreo de material en la dirección de propagación, el barquito se desplazaría en esa dirección. Puesto que lo que ocurre es más bien un movimiento de boya; se concluye que lo que se propaga es una perturbación. Antes de que la onda llegue a un punto dado, la superficie del agua se encuentra en reposo. Cuando la onda llega, perturba a las partículas de agua, y cuando ya ha pasado, el agua queda otra vez en reposo, hasta que una nueva ola la alcance. Examinando

el movimiento del barquito, podemos determinar que la onda está caracterizada por una cierta frecuencia o periodo y una cierta longitud de onda, que es el producto de la velocidad de propagación por el periodo.

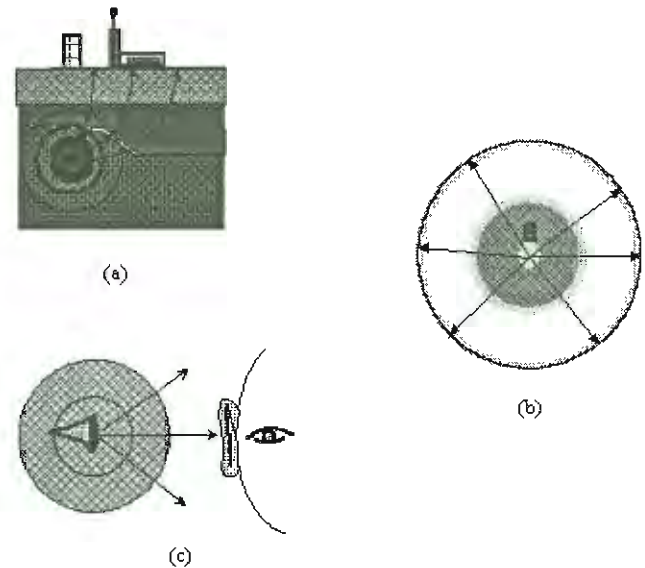


Figura 2. Ejemplos de frentes de onda circulares y sus rayos. En (a) (terremoto) los rayos son curvos porque se refractan en las capas internas de la Tierra, a veces de manera continua. En (b) (luz visible) y (c) (sonido) los rayos son rectos porque los medios respectivos tienen velocidad de propagación constante.

La primera ola que llega a un lugar determinado divide a la superficie del agua en dos regiones: una interior al círculo correspondiente (región perturbada) y una exterior (región no perturbada). Esta frontera entre las dos regiones se denomina "frente de onda" (Figuras 1 y 2). Para ondas en medios materiales, la perturbación es el desplazamiento de las partículas del medio y la onda es sonido. Cuando la onda es electromagnética, la existencia del medio no es necesaria y la perturbación es el campo electromagnético mismo.

LA ONDA SE PROPAGA CON UNA VELOCIDAD CARACTERÍSTICA

Si medimos la distancia que se expande el frente de onda en una dirección radial durante un segundo, obtendremos su velocidad de propagación. Si repetimos el experimento usando otros líquidos, encontramos, en general, una velocidad diferente, demostrando que la velocidad de propagación de la onda es característica del material. Esta velocidad depende de la densidad del material y de otras propiedades del mismo, conocidas como los "módulos elásticos", que describen cosas como su rigidez, su grado de plasticidad, o su viscosidad. Estos conceptos tienen una interpretación intuitiva bastante clara, por ejemplo: los fluidos (líquidos, gases) tienen una rigidez casi nula, mientras que la mayor parte de los sólidos tienen alta rigidez.

Hemos visto que hay dos tipos de movimiento en una onda. Uno es una perturbación y ocurre en la vecindad de un punto fijo (movimiento de partícula o campo electromagnético), el otro es la propagación de esa perturbación. Podemos ahora preguntarnos qué tan rápido es el desplazamiento de la partícula, y qué tan rápido se propaga. En el primer caso, hablamos de la velocidad de partícula (o de la variación del campo) y en el segundo, de la "velocidad de propagación" de la onda. Esta velocidad puede depender de si el estanque es profundo, somero, o somero y de profundidad variable, etc. Éstas son algunas de las posibilidades reales en el mar. Las observaciones efectuadas en el mar nos dicen que donde la profundidad es pequeña, la velocidad de propagación depende de ella; en regiones donde la profundidad es muy grande, no depende de ella y, en lugares donde la profundidad es pequeña y variable (como, por ejemplo, cerca de las costas), no sólo depende de ella, sino que además, los frentes de onda ya no son necesariamente circulares. En el mar existen factores que lo apartan del estanque ideal, como las mareas, las corrientes y las variaciones de salinidad y temperatura, que afectan a la propagación.

En materiales sólidos pueden existir dos tipos diferentes de onda: las de movimiento longitudinal, o paralelo a la dirección de propagación, llamadas ondas P (primarias) porque llegan primero debido a que su velocidad es mayor, y las de movimiento transversal, llamadas ondas S (secundarias); éstas últimas no se propagan en medios fluidos. Explicar estas posibilidades está fuera de nuestro propósito, pero la teoría de rayos vale para todas.

LA TEORÍA DE RAYOS

La teoría de rayos (Kline y Kay, 1965; Luneburg, 1966; Cerveny y Ravindra, 1971) es una técnica matemática que nos permite resolver problemas de física de ondas de una manera aproximada, pero correcta y con la precisión suficiente como para que sea útil. Se le identifica con la óptica geométrica, ya que las soluciones que se obtienen mediante su uso coinciden con las de ésta. La idea central de la teoría es la de "rayo".

Las propiedades de los rayos no son obvias. Fueron necesarios más de 1700 años tan sólo para llegar a la ley de Snell (ver caja 1) y aunque todos estamos en contacto frecuente con la luz, es difícil darse cuenta de cuándo un haz de rayos de luz se difracta, cuándo forma una cáustica, o cuándo interfiere constructiva o destructivamente. Estos fenómenos se pueden observar sin necesidad de instrumentos especiales o de un laboratorio sólo en algunos casos, pero la fenomenología de los rayos se encuentra presente en todos los procesos ondulatorios de altas frecuencias.

La teoría de rayos es relativamente nueva, y la mayoría de sus aplicaciones lo son aún más. Ésto se debe, en parte, al muy reciente desarrollo de las computadoras y de las técnicas de computación numérica. En lo que sigue, expondremos de una manera intuitiva sus bases, para terminar con una sección en la que veremos algunas de sus aplicaciones.

CAJA 1

Breve Historia de la Ley de Snell

En el año 62 A. C., un inventor, escritor y científico griego, Herón de Alejandría, reportaba que cuando la luz se refleja en una superficie, lo hace a un ángulo igual al de incidencia y hacía intentos por estudiar la refracción, motivado, tal vez, por la observación de remos sumergidos en el agua, aparentemente rotos. Más tarde, en 140 D. C., Ptolomeo, a la sazón curador de la biblioteca de Alejandría, observó que los rayos de luz se desviaban al pasar de un medio a otro, y sugirió que los ángulos de refracción y de incidencia podrían ser proporcionales, lo cual es cierto para ángulos pequeños. A partir de estas ideas, señaló que la luz de una estrella podría refractarse al entrar a la atmósfera, haciendo que se vea en una posición aparente.

Tanto Herón y Ptolomeo, como Euclides siglos antes, sostenían la teoría de que la vista es posible porque los ojos emiten rayos de luz hacia el objeto de la misma. A principios del siglo XI, el rabe Alhazen (Alí Al-Hasan Ibn Al-Haytham) de Basora, escribió un libro llamado "El Tesoro de la Óptica", donde se opuso a la teoría de Euclides y Ptolomeo, y afirmó que "...más bien es la forma del objeto percibido la que pasa hacia adentro del ojo y es transmutada por su "cuerpo transparente". Alhazen examinó la refracción de la luz y llegó muy cerca de una exposición teórica sobre los lentes de aumento, algo que ocurrió hasta varios siglos después.

En 1604, Kepler reportó sus mediciones de los rayos incidentes y reflejados en casos especiales, pero no pudo llegar a una ley general. Fue hasta 1621 que el holandés Willebrord Snell tuvo éxito al formular su famosa ley:

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}$$

Los fenómenos ondulatorios están gobernados por alguna de una clase de ecuaciones llamadas "ecuaciones de onda". Es trabajo de los físicos resolver este tipo de ecuaciones, y es precisamente la forma de la velocidad V la que determina si se pueden resolver. Una vez obtenida una solución, es posible aplicarla de diferentes maneras. Para medios con velocidades simples (por ejemplo, medios de velocidad constante), la solución completa se puede obtener y la teoría de rayos no es necesaria. Para medios con distribuciones de velocidad complejas una solución analítica completa no es posible. La estrategia a seguir en este caso es representar el medio usando un mosaico de regiones donde la solución es conocida, y aplicar la teoría de rayos. Esto consiste en dos pasos: primero, trazar los rayos necesarios, y luego determinar la amplitud de la onda en cualquier punto de ellos. El primer paso equivale a obtener la solución de una ecuación llamada la "eiconal", y el segundo equivale a obtener la solución de una tercera ecuación, llamada "de transporte". Salvo por la fase, y para altas frecuencias, lo que se ha hecho es sustituir la ecuación completa por dos ecuaciones equivalentes.

RAYOS Y FRENTE DE ONDA

Si encendemos una lámpara, vemos que la luz se esparce en todas direcciones en línea recta. Cada una de esas líneas rectas es un rayo. En el caso del estanque, podemos pensar en el punto donde cae la piedra como si fuera un foco que produce "luz". La analogía nos lleva a considerar las líneas radiales que emergen de ese punto en todas direcciones como los correspondientes rayos. Encontramos entonces que los rayos y los frentes de onda son perpendiculares entre sí. Éste es un resultado muy importante, aunque no es el caso más general. Un material que exhibe este comportamiento se llama "isotrópico".

Un rayo es una trayectoria, es el camino que sigue un punto fijo sobre un frente de onda. Para entender mejor esto, volvamos al ejemplo (Figura 1): si marcamos un punto particular sobre un frente de onda con la letra A y lo seguimos, estaremos siguiendo (trazando) el rayo "A". Conforme el tiempo pasa, el frente de onda se convierte en un círculo cada vez más grande, formado por una infinidad de puntos B, C, D, etc., todos ellos semejantes a A. Cada uno de estos puntos traza un rayo, y en este caso particular, una línea recta. Si la velocidad de propagación no fuera constante los rayos serían curvos, como sucede en el caso de un terremoto profundo (Figura 2(a)). En muchos problemas de interés, la velocidad varía tan lentamente con la distancia en una dirección particular, que podemos simular el medio usando capas de velocidad constante. Ésto es válido para algunas regiones de la Tierra, ya sea sólida, o en el mar, pero en otras regiones esta suposición no es aceptable y necesitamos trazar rayos curvos.

Los métodos que encuentran las trayectorias de la energía acarreada por las ondas en los diferentes tipos de modelos se conocen con el nombre genérico de "trazado de rayos". Solamente las formas más simples de velocidad han sido resueltas analíticamente en el trazado de rayos. Las soluciones así obtenidas se usan en modelos compuestos de capas planas o de celdas triangulares o rectangulares, como se ve en la Figura 3, dentro de las cuales podemos trazar los rayos correctamente.

Existen dos clases de trazado de rayos: (Julian y Gubbins, 1972) el llamado "problema de dos puntos" y el llamado "por disparo" (ver Figura 3). En el primero, estamos interesados en encontrar el rayo correcto que parte de una fuente y llega a un punto específico. Este método funciona bajo el *Principio de Fermat*, que dice que el rayo correcto es aquel cuyo tiempo de tránsito es mínimo o máximo. En el segundo, nos interesa generar un conjunto de rayos que parten de una fuente, independientemente de sus puntos finales. Este método usa soluciones que satisfacen el Principio de Fermat. Cuál de los problemas escojamos resolver depende del propósito de nuestro trabajo, pero en general, lo que queremos es poder determinar el *tiempo de recorrido y la amplitud (y la fase)* de la onda en el o los puntos finales o ir viendo con qué chocan, o por dónde se van, los rayos.

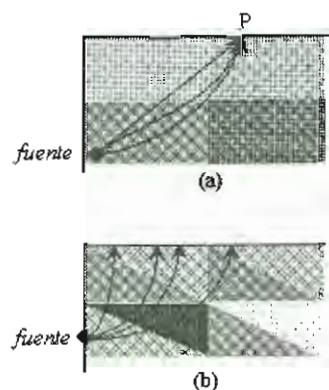


Figura 3. Trazado de rayos. (a) Problema de dos puntos: la fuente y el receptor están fijos. El rayo correcto es el de tiempo mínimo (Principio de Fermat); (b) Método del disparo, aquí solo la fuente está fija.

El trazado de rayos se basa en los procesos de reflexión y refracción. Estos procesos ocurren cuando las ondas interactúan con fronteras entre medios con velocidad diferente. La reflexión es un rebote de las ondas en una frontera, sin cambiar de medio. La refracción es la transmisión de la onda a través de la frontera. Un ejemplo claro de refracción lo tenemos cuando vemos un bastón sumergido en un líquido. La luz cambia del aire al líquido, y al revés, y el efecto visual es que el bastón parece estar quebrado. La reflexión y la refracción se pueden sumarizar mediante la llamada "ley de Snell", (caja 1) que dice que cuando un rayo cambia de medio, el plano de los dos rayos contiene a la normal a la superficie, y los senos de los ángulos de incidencia y de refracción están en una razón constante (Figura 4) llamada el índice refractivo.

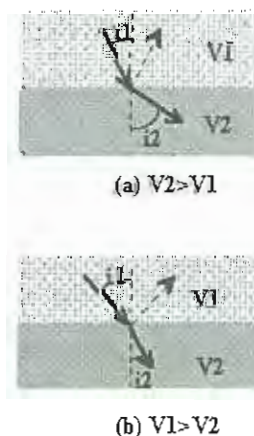


Figura 4. En (a) el rayo se aleja de la normal a la superficie porque $V_2 > V_1$; en (b) sucede lo contrario.

El hecho de que el barquito oscile nos indica que la onda transfiere energía. En la teoría de rayos, los rayos forman "tubos" y se supone que la energía contenida en un tubo permanece siempre dentro del mismo, es decir, no hay fugas de energía hacia los lados. Esta suposición, que en muchos casos es prácticamente cierta, nos permite determinar la amplitud de la

onda en cualquier punto a lo largo de los rayos, pero no nos dice nada de la fase. Esta es una de las debilidades de la teoría de rayos que debe ser suplementada por otros medios.

Una vez que los rayos se han trazado, las cantidades de la onda se evalúan a lo largo de ellos. Para entender este paso, que es la solución de la ecuación de transporte, considérense los frentes de onda A y B de la Figura 5 (a) en un medio de densidad y velocidad homogéneas, a un cierto tiempo. En un tiempo dado, A se expande a A' y B a B'. Puesto que la velocidad de propagación es la misma, el área del anillo AA' es menor que la del anillo BB', pero la energía contenida en ambos es la misma. Esto nos permite relacionar las amplitudes en las dos regiones, de modo que, sabiendo la amplitud en la región interior, podemos conocer la de la exterior, es decir, podemos "transportar" la solución a lo largo de los rayos. En el ejemplo mostrado en la Figura 5(a), la amplitud de la onda es menor en el segundo intervalo (BB') que en el primero (AA') si la superficie del segundo, como se ilustra, es mayor que la del primero (es decir, si el frente de onda se expande) y la velocidad V tiene un valor adecuado. Esto es lógico si pensamos que la misma energía está contenida en un volumen mayor. Bajo este argumento, es también lógico pensar que, si el medio pudiera hacer que los rayos no se separen, como en la Figura 5(b), sino que se junten, es decir, que el frente de onda no se expanda, sino que se contraiga, la amplitud podría aumentar. Esto es posible y correcto, y existen sospechas de que un mecanismo de este tipo puede ser responsable de las grandes amplitudes registradas en algunos terremotos altamente destructivos.

Análogamente a la ley de Snell, que conecta geoméricamente los rayos en las fronteras entre medios, es posible encontrar coeficientes de reflexión y de transmisión que conectan a las amplitudes.

DIFRACCIÓN Y CÁUSTICAS

La estructura del medio puede ser tal que algunas regiones del mismo no son iluminadas, es decir, a esas regiones no llegan rayos. Sin embargo, la experiencia nos indica que aún ahí existen amplitudes. Esto se puede observar con luz visible proyectando la sombra de la arista de un cuerpo sólido sobre una pantalla. Si la luz fuera transmitida sólo a lo largo de rayos, la división entre la región iluminada y la de sombra sería abrupta, como en la Figura 6(a). En vez de eso, encontramos una zona de penumbras. Esta zona se explica diciendo que la luz se "difracta" en la arista.

La superficie que divide la región iluminada de la no iluminada, se denomina una "cáustica". La cáustica es un rayo límite o un lugar de convergencia de rayos (una envolvente) como se ilustra en la Figura 6(b). Se puede observar en casa si iluminamos un vaso de vidrio con cualquier clase de luz visible, como una proyección de zonas muy brillantes bordeadas de zonas de fuertes sombras y penumbras. En la Tierra, las ondas producidas por grandes terremotos forman cáusticas debido a que el material que forma el núcleo difiere en velocidad de

propagación de onda del material que forma el manto (ver Figura 10). En las regiones donde se forman las envolventes, los sismos exhiben mayores amplitudes. Por ejemplo, en la vecindad del punto A de la Figura 6 (b) los rayos convergen, y el frente de onda se contrae, dando amplitudes mayores. El argumento no vale para rayos difractados. Esta es otra de las fallas críticas de la teoría de rayos.

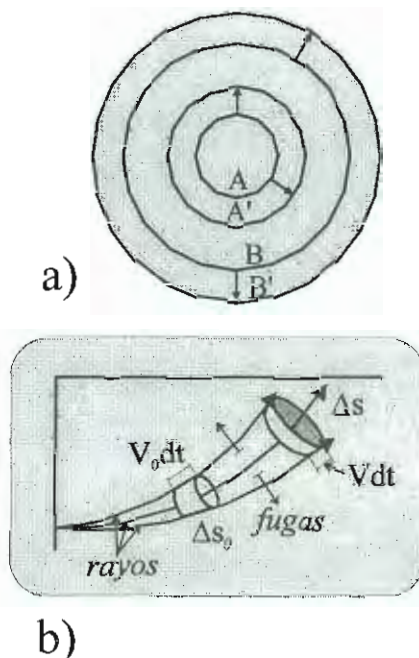


Figura 5(a) La cantidad de energía en el volumen expandido AA' es la misma que en el volumen expandido BB'. Puesto que el volumen BB' es mayor que el volumen AA', la amplitud en el primero tiene que ser mayor que en el segundo; 5(b) un tubo de rayos está formado por una infinidad de rayos como los que se ilustran. La suposición básica es que no hay fugas en dirección perpendicular a la del tubo. Entonces la energía se conserva íntegra dentro del tubo. Ésto nos permite calcular la amplitud de la onda en cualquier punto.

APLICACIONES DE LA TEORÍA DE RAYOS

Las aplicaciones de la teoría de rayos son numerosas, y pueden ser pasivas o activas. Las activas son verdaderas "linternas" que usan la onda más adecuada para hacer un barrido del medio (sonido en el mar y en tierra sólida, radiación electromagnética en la atmósfera, en el espacio, y en tierra sólida) e interpretan los ecos. Las pasivas reciben la radiación producida por otras fuentes. Entre las activas, destaca el radar (Singer, 1959). "Radar" es una abreviación de la frase "*radio detecting and ranging*" (Figura 7 (a)). Este instrumento está compuesto por un potente transmisor y un receptor de ondas de radio que, una vez emitidas, se reflejan en objetos dentro de un cierto radio de detección. Una pequeña fracción de la energía emitida regresa como un eco al receptor, que usualmente se encuentra en el mismo lugar que el emisor. Ahí, el eco recibido se procesa para determinar las propiedades del objeto que lo causó, en particular su distancia y su velocidad.

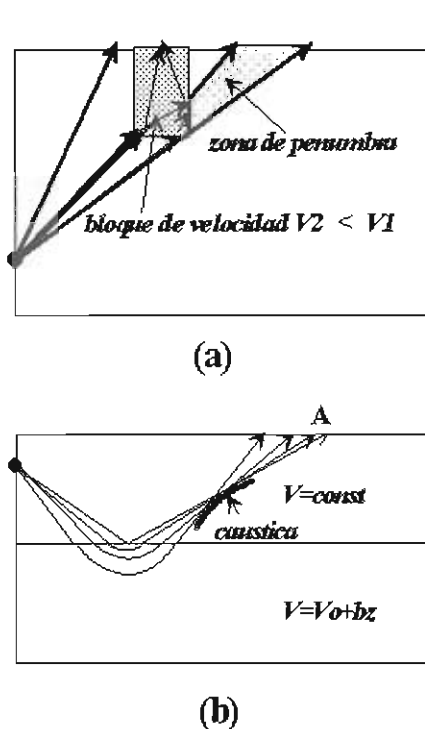


Figura 6. Formación de cáusticas. En (a) el haz de rayos ilumina un bloque de menor velocidad que el medio que lo rodea. La cáustica es uno de los rayos del haz. En (b) el modelo consiste de una capa de velocidad constante sobre una capa con una velocidad que varía con la profundidad. La cáustica es la envolvente de los primeros rayos transmitidos.

Existen varios sistemas de radar que hacen uso de diferentes propiedades del eco recibido, pero el más común es el de "pulso", llamado así porque el transmisor envía "paquetes" de ondas o pulsos muy intensos y breves, separados por un intervalo de tiempo relativamente largo, de manera de poder evaluar la distancia de un objeto reflector según sea la posición de su eco dentro del intervalo.

El principio del radar tiene aplicación en la meteorología, en la cartografía y en la observación del espacio exterior a través de grandes radiotelescopios. Recientemente se han desarrollado técnicas de radar capaces de operar en medios sólidos (Enciclopedia Británica, bajo RADAR), como el hielo o la Tierra. Estas técnicas, conocidas genéricamente como GPR (*ground penetrating radar*) emplean ondas de radio a frecuencias de entre uno y mil MHz para sondear la estructura del suelo y sus posibles anomalías o detectar objetos enterrados. Estas técnicas usan los mismos métodos que la exploración petrolera (ver siguientes párrafos). El modo de operación más común consiste de la obtención de perfiles de reflexión simple con variaciones en el arreglo de las antenas (Figura 7(b)).

Aunque la idea de usar ondas de radio para sondear la estructura interna del suelo no es nueva, la aplicación de las técnicas GPR se considera aún en pañales. En tierra, los trabajos con GPR se iniciaron por los 1970, y conforme las capacidades y debilidades del método se fueron conociendo, éste se amplió

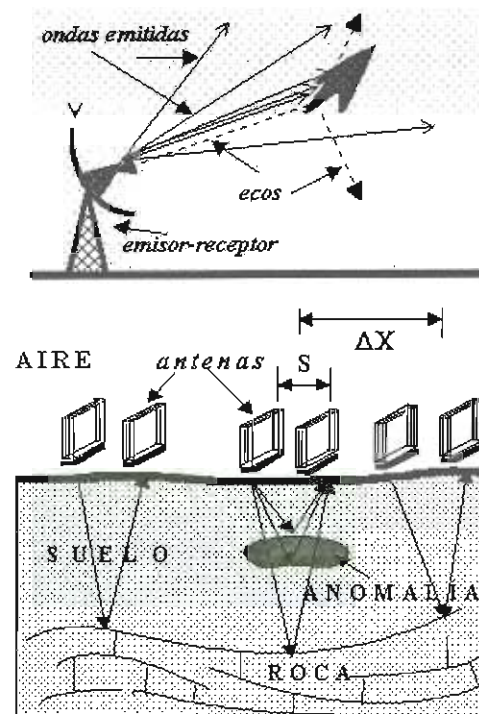


Figura 7. (a) Radar. Sus usos abarcan muchos campos; (b). Aplicaciones del radar en tierra firme.

hacia otras áreas. Entre los trabajos más importantes realizados hasta ahora, se encuentra la determinación del espesor de las capas de hielo en el Ártico y en la Antártida. Estas técnicas de radar están encontrando importantes aplicaciones dentro de la ingeniería civil o sísmica, en el sondeo no destructivo de estructuras no metálicas.

En años recientes la importancia del radar ha crecido al encontrarse más aplicaciones en oceanografía y meteorología. Una variedad de radar llamado "sobre el horizonte" (*over the horizon*) u OTH, que fué construido durante la guerra fría para detectar blancos militares más allá del horizonte óptico, usa ondas de radio de entre 5 y 28 Mhz que se reflejan en la ionósfera, cubriendo hasta 3,500 km en un "salto". Actualmente, seis de estos radares, residuos de un proyecto militar, cubren 90 millones de kilómetros cuadrados de océano abierto en un continuo monitoreo de sus características dinámicas. Una celda de resolución en la superficie del océano puede tener una área mínima de hasta 10 km cuadrados.

Otra variedad de radar llamado "radar de ondas de superficie" (SWR), porque usa ondas difractadas que viajan por la superficie curva del océano, es capaz de discriminar entre ecos de posibles blancos y el eco del mar, usando el llamado efecto Doppler. Sus rangos de alcance son grandes (hasta 500 km) debido a que usa ondas electromagnéticas polarizadas de alta frecuencia (3-30 Mhz) que sufren muy baja atenuación al propagarse por la superficie del mar. Una versión acuática (sonar (Davis y Annan, 1989), ecosonda, Figura 8) del mismo instrumento, que usa ondas acústicas en el rango audible o en el de ultrasonido incide en actividades de importancia

CAJA 2

El desarrollo del radar

El desarrollo del radar ocurrió simultáneamente en varios países bajo el nombre de "detección por radio", durante los años anteriores a la II Guerra. En la década de los 1870, James Clerk Maxwell había publicado sus trabajos sobre la naturaleza de la luz y de la radiación, y diez años más tarde, Heinrich H. Hertz, buscando comprobación a las teorías de Maxwell, producía ondas de radio en el laboratorio, demostrando que podían reflejarse en objetos metálicos de la misma manera que la luz se refleja en los espejos. Estos descubrimientos fueron el punto de partida de una serie de exitosas investigaciones en radiocomunicación, pero el interés por la radio-detección habría aún de esperar.

En 1900, el famoso experimentador Nicola Tesla escribió en el Century Magazine que "por medio de las ondas de radio, un objeto en movimiento podría ser detectado y localizado".

En 1904 un ingeniero alemán, Christian Hülsmeyer, desarrolló una forma simple de radar para evitar colisiones entre barcos. Su invento obtuvo patentes en varios países, pero no había interés en el momento por tales dispositivos.

En 1925 el llamado "principio del pulso" fue desarrollado en Carnegie, Washington, D. C., por G. Breit y M. A. Tuve, mientras trabajaban con radioondas en la ionósfera. En la década de los treinta, los alemanes ya habían producido excelentes radiodetectores de barcos y aviones.

El desarrollo subsecuente del radar estuvo fuertemente ligado a la guerra. La necesidad de producir haces muy enfocados de gran energía era especialmente importante para la aviación, debido a la posibilidad de que la energía reflejada del suelo o del mar oscureciera los ecos, mucho más débiles, de los blancos buscados. Los haces muy concentrados de radiación se producen por medio de antenas muy grandes o de ondas de muy alta frecuencia. Puesto que los aviones no pueden llevar grandes antenas, se optó por la otra posibilidad, buscando un radio transmisor que produjera pulsos de muy alta potencia a longitudes de onda de unos cuantos centímetros.

A principios de 1940, los británicos desarrollaron el magnetrón de multicavidades, una válvula electrónica que entrega pulsos de 10 kilowatts de potencia, abriendo paso a una nueva época en la investigación y el uso del radar: la del radar de microondas.

económica, como lo son la pesca de cardúmenes, la cartografía del suelo oceánico (ecosonda) y la tristemente célebre caza de ballenas. El interior del mar es un mal transmisor de ondas electromagnéticas, en tanto que es un transmisor relativamente bueno de ondas de sonido. Esto ha permitido, a pesar de ser más difícil producir un haz de rayos acústicos que de luz o de ondas de radio, el desarrollo de un instrumento análogo al radar. El haz se logra haciendo la longitud de onda suficientemente pequeña (alta frecuencia) comparada con las dimensiones de la fuente. El sonar se puede usar pasivamente para detectar fuentes de sonido, tales como submarinos, ballenas o barcos, o puede enviar, como el radar, una señal para recoger su eco. De esta manera se utiliza en la detección de ballenas, objetos hundidos y cardúmenes.

El problema de abastecimiento de combustible es de la mayor importancia económica y está íntimamente relacionado al conocimiento de la geología (Burn, 1972). Para poder extraer petróleo del subsuelo es menester perforarlo, lo cual es costoso, ya que típicamente se deben perforar varios miles de metros.

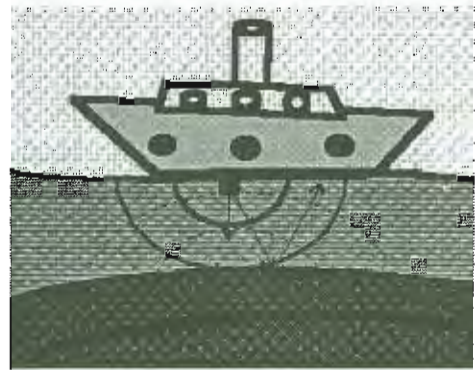


Figura 8. Sonar, la versión acuática del radar.

Lo ideal entonces es perforar el mínimo de veces posible. La selección de los sitios de perforación se basa en estudios geológicos y geofísicos, en algunos de los cuales la teoría de rayos es una de las principales herramientas. La Figura 9 muestra una técnica de exploración petrolera en el mar. Las ondas se generan en un dispositivo neumático colocado en el barco, y las reflexiones o ecos se registran en un sistema de sensores (hidrófonos) que son arrastrados por el barco para grabar reflexiones casi verticales. En esta aplicación, la teoría de rayos se combina con otros métodos como la teoría de inversión (Herman, *et al*, 1987) de datos o la migración de trazas sísmicas para producir una imagen (modelo) del medio capaz de explicar las observaciones (tiempo de tránsito y amplitudes) cuando se usa para resolver el problema directo. Esta imagen se logra después de modificar el modelo el número de veces necesario para que los datos reales y los resultados del modelo se parezcan. Éstos se comparan en cada cambio de modelo para tomar una decisión respecto a suspender el proceso o continuarlo.

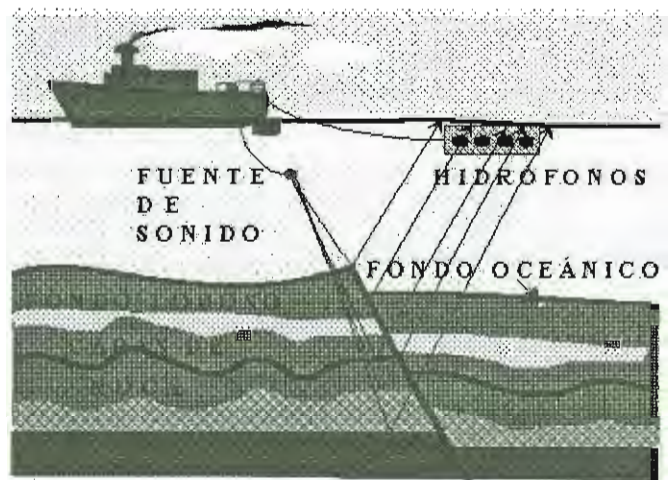
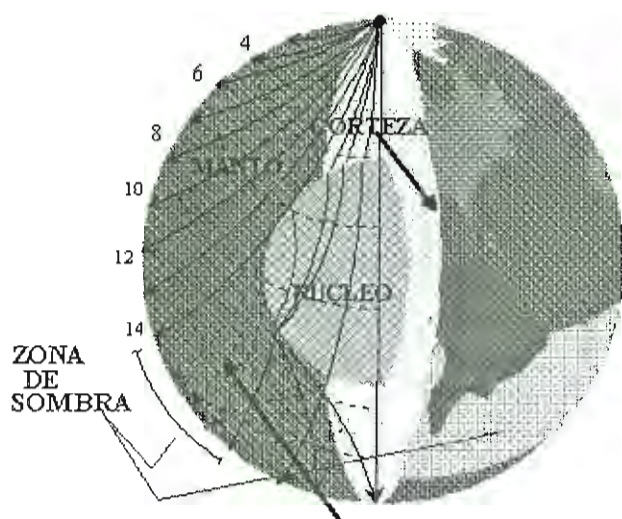


Figura 9. Exploración petrolera en la plataforma oceánica.

Para la década de los cincuenta, la estructura del interior de la Tierra (Figuras 10 y 11) ya era bastante conocida gracias al trabajo de muchos geofísicos, quienes compararon las observaciones de tiempos de recorrido y las amplitudes de grandes terremotos con los resultados obtenidos usando la teoría de rayos en modelos de la Tierra. Al principio, estos modelos eran de capas de velocidad constante, y se modificaban mediante

la técnica de ensayo y error. Aunque esta forma de trabajo es lenta y difícil, los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios. Pronto, se planteó la necesidad de refinar tanto las observaciones como la teoría, lo que llevó al uso de modelos más realistas, al diseño de nuevos instrumentos y a la investigación de nuevas metodologías de trabajo.

La Figura 10 presenta la distribución de rayos y frentes de la onda P para un terremoto cuyo foco está situado en el polo Norte. Nótese los rayos difractados en la zona de sombra, y las refracciones en la frontera núcleo-manto. Nótese también que la zona de sombras comienza en el rayo que pasa rasando el núcleo. La Figura 11 muestra un procedimiento estándar para la investigación sismológica de la corteza y del manto superior usando los tiempos de recorrido de las ondas producidas por explosiones.



RAYOS Y FRENTES DE ONDA DIFRACTADOS

Figura 10. La estructura de la Tierra y los rayos P asociados con ella.

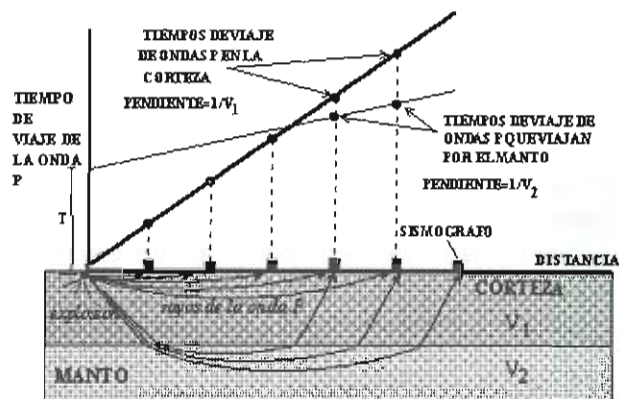


Figura 11. Investigación de la estructura de la corteza y el manto usando los tiempos de tránsito de las ondas P producidas por explosiones.

CONCLUSIONES

Cuando es aplicable, la Teoría de rayos consiste en la sustitución de una ecuación "completa" (la ecuación de onda) por dos ecuaciones que constituyen una aproximación de alta frecuencia a la solución de la primera. Resolviendo la ecuación eiconal se obtiene el tiempo de tránsito de la onda y los rayos, y la solución de la ecuación de transporte da las cantidades de la onda (amplitud, energía, etc.) en cualquier punto a lo largo de los rayos. Mientras mayor es la frecuencia, más se parece la solución de estas dos ecuaciones a la solución de la ecuación completa. Esto permite dos cosas: (1) crear las condiciones para que la solución sea aplicable en diferentes medios físicos y (2) habilitar esa solución para medios muy complejos, donde no es posible obtener la solución completa. En instrumentos como el radar, estas condiciones se logran generando señales de muy alta frecuencia y barriendo el medio para introducir un efecto direccional, como si se tratara de una linterna intermitente en rotación continua, con una velocidad de rotación adecuada para registrar respuestas dentro de un radio dado. En general, estas señales deben ser de gran potencia.



Figura 12. Dos ejemplos de imágenes creadas usando trazado de rayos.

La teoría de rayos ha sido superada por otros métodos en algunas de las aplicaciones aquí mencionadas, pero han surgido nuevas aplicaciones, tales como el diseño y la manipulación de objetos en tres dimensiones. El trazado de rayos y la programación por objetos se combinan en esa área para crear imágenes fotorrealistas. Dichas imágenes son indistinguibles de fotografías de muy alta calidad (Figura 12), y se pueden generar en computadoras personales ordinarias. Esta aplicación del trazado de rayos consiste en describir un mundo virtual de formas geométricas, colores, texturas, efectos de iluminación y una "cámara" (o un ojo) que registra lo que se ve y como se ve en el mundo virtual, incluyendo tantas fuentes de luz como sean necesarias y todos los efectos que sufren los rayos de luz al incidir sobre los objetos del mundo. La programación por objetos facilita la tarea para, con un conjunto de objetos básicos, generar prácticamente cualquier objeto. La Figura 12 presenta dos ejemplos de imágenes que pueden elaborarse con trazado de rayos.

Entre las metodologías que surgieron durante el desarrollo de la Geofísica (aunque ya conocida en otras áreas) encontramos la antes mencionada "Teoría de Inversión". Al desarrollarse ésta, fue necesario hacer una distinción básica entre el problema directo y el problema inverso. Aunque ambos tienen el mismo objetivo, que es conocer el medio de interés (o la fuente, o ambas), las estrategias son diferentes. En el problema directo el medio y la fuente se suponen conocidos y se predicen las observaciones. Estas son cantidades asociadas con la teoría: el tiempo de tránsito de la onda, su amplitud, etc.. En el problema inverso se pretende inferir la estructura del medio (o la fuente, o ambos) a partir de las observaciones. En general, este procedimiento consiste de algún tipo de minimización de las diferencias entre las observaciones y los resultados de un modelo. Desde su aparición y sistematización, la teoría de inversión ha experimentado un continuo e importante desarrollo y se ha convertido en un tópico altamente especializado, hasta el grado de existir una revista específicamente para ella. Trataremos este tema de una manera amplia en otro artículo.

REFERENCIAS

- Burn, C. A., 1972, Global Tectonics and world resources, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 56, pp. 79-78.
- Cerveny, V., and Ravindra, R., 1971, Theory of seismic headwaves, University of Toronto Press, Toronto.
- Crawford, F.S., 1963, Waves and oscillations. Vol. III del *Curso de Física de la Universidad de California*. Berkeley.
- Davis, J. L. and Annan, A.P., 1989, Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of soil and Rock Stratigraphy. *Geophysical Prospecting* 37 531-551, 1989.
- Enciclopedia Britanica, bajo RADAR.
- Herman, G.T., Tuy, H.K., Langenberg, K.J. and Sabatier, P.C., 1987, Basic Methods of Tomography and Inverse Problems. Ed. P. C. Sabatier, Adam Hilger, Bristol y Filadelfia.
- Ingard, U. and Kraushaar, W.L., 1960, Introduction to mechanics, matter and waves. Adisson-Wesley, Massachussets.
- Julian, B.R. and Gubbins, Db., 1972, Three dimensional seismic ray tracing, *Journal of Geophysical Resesarch*, Vol. 77, pp. 95-113.
- Kline, M. and Kay, I.W., 1965, Electromagnetic theory and geometrical optics. Series on pure and applied mathematics, Interscience Publishers.
- Luneburg, R.K., 1966, Mathematical theory of optics. University of California Press, Berkeley y Los Angeles.

SEGUNDO COLOQUIO INVESTIGACIONES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

17 AL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1996

José Gómez Valdés, Miguel Lavín y Gregory Hamman
Editores

Hace un poco más de siete años, 1989, se realizó el I Coloquio sobre Investigaciones en el Golfo de California. Fue un acontecimiento en el que sólo participaron ponentes del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Claudia Farfán, María Luisa Argote, Ricardo Fernández y Manuel Figueroa, con su trabajo organizativo, sembraron la semilla.

Desde entonces, de persona a persona se comunicaba la necesidad de continuar lo hecho en 1989. Los trabajos se acumulaban y el interés por el Golfo de California, por fortuna, iba en aumento. A principios de 1996, Miguel F. Lavín, sin duda uno de los investigadores experimentales que más esfuerzo ha dedicado a este bello mar, hace un llamado a océanógrafos y geofísicos para reunimos una vez más para intercambiar ideas sobre investigaciones en el golfo. Esta vez, la Unión Geofísica Mexicana se une al comité organizador, y juntos trabajamos en la preparación del coloquio.

Este segundo coloquio fue internacional e incluyente. Ponentes del Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Centro Regional de Investigación Pesquera de Mazatlán, National Severe Storms Laboratory, Universidad Autónoma de Baja California, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Northern Arizona University, University of Southern California, University of California in Santa Clara, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Universidad Nacional Autónoma de México y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, intercambiamos ideas, conversamos y discutimos de una manera abierta y propositiva.

De las 49 ponencias registradas, 16 fueron de Oceanografía Biológica y Pesquerías, 17 de Oceanografía Física, 16 de Geoquímica, Geología y Geofísica. También se organizaron dos mesas redondas y la sesión de carteles fue particularmente exitosa.

De la mesa redonda "La Meteorología en México", coordinada por Edgar Pavía, Michael W. Douglas, Miguel F. Lavín y Antonio Badán se identificó como el problema más serio la carencia de meteorólogos de todos los niveles que tiene nuestro país, entre otros puntos. De la mesa redonda "Física, Biología, Química, Geología y Geofísica en el Golfo de California", coordinada por el comité organizador, surgió la necesidad de intercambiar información, colaborar en artículos científicos, promover el intercambio de experiencias entre los estudiantes de estas disciplinas y elaborar un banco de datos, entre otras acciones a seguir.

Una encuesta *in situ* reveló que hay que continuar con este tema en un formato parecido al empleado en 1996, con una periodicidad de dos o tres años. Miguel F. Lavín, José Gómez Valdés, Gregory Hamman, Víctor Camacho y Arturo Martín Barajas fueron los responsables de este re-encuentro de investigadores y estudiantes de posgrado. La Unión Geofísica Mexicana y el CICESE apoyaron decididamente el acontecimiento, en particular, Víctor Manuel Frias C., Carlos Cabrera, Alvaro Armenta y Roberto Soto.

Los resúmenes que se presentan en esta memoria son todos los que fueron recibidos por los organizadores. En la página internet de la UGM: <http://www.ugm.org.mx/coloquio>, se puede encontrar información adicional sobre el acto.

OCEANOGRAFÍA BIOLÓGICA Y PESQUERÍAS

LA PESCA DE CAMARÓN EN EL GOLFO DE CALIFORNIA: SITUACIÓN ACTUAL, PELIGROS Y PERSPECTIVAS

Luis Eduardo Calderón Aguilera, Alberto Aragon Noriega,
Gerardo Castillo y Héctor Licon González
Laboratorio de Ecología y Pesquería de la Zona Costera, Depto. de
Ecología, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada,
B.C. México.

Desde hace casi 50 años cuatro especies de camarón, *Penaeus californiensis*, *P. stylirostris*, *P. vannamei* y *P. brevis*, se explotan comercialmente en el Golfo de California. Esta es la principal fuente de divisas para el país después del petróleo y de miles de empleos directos e indirectos en la región. En la temporada 1995-96 cerca de 586 barcos de los puertos de Guaymas, Yavaros, Puerto Peñasco, Santa Clara y San Felipe estuvieron pescando en el Golfo de California. La captura total aproximada fue de 7,300 toneladas métricas. La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) ha ido decreciendo en la última década, con una clara correlación negativa con el esfuerzo ($r = -0.57$; $p < 0.05$). La pesquería se encuentra sobrecapitalizada, es de bajo rendimiento (menos de 70 kg/hr de arrastre) y poco eficiente, 1 kg de camarón por 9 kg de fauna de acompañamiento. La mortalidad por pesca, sin considerar la producida por la flota de Mazatlán, está alrededor de 1.5. Bajo un esquema de pesca precautoria, para que quede un 10% de la población desovante, la mortalidad total no puede ser mayor de 2.3. Desde 1992 el camarón dejó de ser una especie reservada para cooperativas, por lo que la introducción de nuevos barcos del sector privado ha aumentado la presión de pesca. Lo anterior, aunado al aumento de la pesca de bahía, el uso de artes de enmalle y la captura de postlarvas silvestres para cultivo pueden poner en peligro a esta pesquería. La investigación sobre la pesca de camarón en el Golfo de California debe estar dirigida en dos sentidos principales: sobre el desarrollo de nuevas tecnologías de captura más selectivas y menos destructivas y sobre los factores ambientales y antropogénicos que influyen sobre el reclutamiento. En cuanto a éste último, nuestro grupo se encuentra realizando muestreos de postlarvas de camarón en el alto Golfo desde 1993 y cuenta con datos de muestreos realizados en la zona de Mazatlán desde 1988. La intención es desarrollar un modelo de reclutamiento utilizando a la abundancia relativa de postlarvas como una variable proximal, acoplada a la temperatura del mar, productividad primaria y corrientes.

ESTUDIOS SOBRE FAUNA SILVESTRE EN EL MAR DE CORTÉS

Eric Mellink
Depto. de Ecología, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada.
Ensenada, B.C., México

El CICESE ha realizado estudios sobre reptiles, aves y mamíferos desde hace unos 8 años. Desde el principio incluyó en éstos a poblaciones de diferentes especies en el Mar de Cortés. En muchos de estos estudios nuestros resultados reflejan las complejas interacciones entre los factores físicos y biológicos en las costas, islas y ambiente marino. Aquí presento someramente ocho casos que ilustran lo anterior. Algunos de éstos han sido o son actualmente tesis de integrantes del grupo. Estos casos son: 1) las aves anidantes en las Islas de San Jorge, 2) la dinámica de la comunidad de aves anidantes en Isla Montague, 3) la ecología de las colonias de anidación del gallito marino *Sterna antillarum*, 4) las interacciones entre el lobo marino (*Zalophus californianus*) y la pesca ribereña, 5) las poblaciones de ratones de campo (*Peromyscus spp*) y de chucualas (lagartijas, *Sauromalus spp.*) en islas, 6) la colonización de Isla Danzante por la lagartija *Callisaurus draconoides*, 7) la ecología reproductiva del pelicano (*Pelecanus occidentalis*) y, 8) las poblaciones de castor (*Castor canadensis*) en el delta del Río Colorado. Las limitaciones para interpretar de mejor manera nuestros hallazgos incluyen la falta de información sobre las variaciones en las poblaciones locales de ictiofauna costera, en tres escalas de tiempo: interanual, intra-anual y decadal; sobre el efecto de los factores físicos y de la pesca sobre la disponibilidad de alimento para diferentes especies; y sobre los niveles de marea en el Alto Golfo y los factores que la afectan localmente.

PARAMETROS FOTOSINTÉTICOS DEL FITOPLANCTON DE FILAMENTOS SUPERFICIALES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Gilberto Gaxiola-Castro¹, Saúl Alvarez-Borrego¹, Miguel F.
Lavin² y Alberto Zirino³
¹ Depto. de Ecología, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, B.C., México.
² Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret.
Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.
³ Naval Ocean System Center, San Diego, California, U.S.A. and
Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, Ensenada, Baja
California, México.

Estudiamos la variabilidad espacial de los parámetros fotosintéticos de fitoplancton dentro de filamentos termales en la parte central del Golfo de California. Los números de asimilación (PBm) y la eficiencia fotosintética del fitoplancton (B) fueron determinados con incubaciones de 14C de muestras colectadas de los niveles de luz de 100% y 50%. El contenido de clorofila *a*, la concentración de los nutrientes PO₄ y NO₃, el oxígeno disuelto y la pH fueron medidos para diferentes fracciones de tamaño de fitoplancton. Reportamos relaciones

lineales entre la temperatura y la concentración de los nutrientes, y entre la temperatura y la abundancia de células de fitoplancton. Se encontraron niveles más altas de PBM y B para las células de fitoplancton > 8 micras. Los valores promedio de estos parámetros fotosintéticos fueron: $1.530.96 \text{ mgC(mgChl}a\text{)-1h}^{-1}$ y $0.120.08 \text{ mgC(mgChl}a\text{)-1h}^{-1}$ (Wm-2)-1 para PBM y B, respectivamente. Nuestra hipótesis inicial que valores de PBM aumentan de aguas frías hacia aguas más calientes no está apoyado por estos datos. Debido a que la baja variabilidad de los parámetros fotosintéticos del fitoplancton, parece ser que los valores promedio pueden ser empleados durante el invierno para calcular la producción primaria mediante modelos que utilizan información derivada de imágenes por satélite.

PROYECTOS Y MISIÓN DEL CENTRO INTERCULTURAL DE ESTUDIOS DE DESIERTOS Y OCÉANOS (CEDO) EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

Carlos Navarro

Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos (CEDO)
Puerto Peñasco, Sonora México.

El Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos (CEDO), localizado en Puerto Peñasco, Sonora, tiene como misión el recopilar, generar y compartir información sobre el Alto Golfo de California y el Desierto Sonorense circundante, así como promover la conservación y el uso sustentable de sus recursos naturales y culturales. Localizado estratégicamente a la puerta en las recién creadas Reservas de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, y de El Pinacate y Gran Desierto de Altar, CEDO sirve desde 1987 como centro educativo y estación de campo para gran número de grupos escolares y universitarios, así como para investigadores nacionales e internacionales. Así mismo, desarrolla e implementa diversos programas y materiales científicos y educativos para una amplia gama de público multicultural, incluyendo residentes, estudiantes, organizaciones locales, científicas y turistas. CEDO fué un instrumentador clave en la implantación del Plan de Manejo de la Reserva del Alto Golfo. De igual forma, ha estado involucrado desde hace varios años en el monitoreo a largo plazo de la distribución y abundancia de los principales organismos entremareales de la región, así como en el monitoreo de las condiciones climáticas locales, esperando publicar próximamente sus primeros resultados. Contando entre sus instalaciones con una biblioteca especializada en la región, laboratorios húmedo y seco, museo con colecciones científicas y de enseñanza de organismos de la zona, microscopios, computadoras y dormitorios, CEDO ha colaborado estrechamente con un gran número de instituciones en el desarrollo de proyectos diversos, como el U.S. Fish and Wildlife Service en el monitoreo del Berrendo Sonorense (*Antilocapra americana sonoriensis*), la UNAM y el ITESM en la investigación sobre la biología y mortalidad incidental de la Vaquita (*Phocoena sinus*), y con el CICESE en la recopilación de datos oceanográficos y meteorológicos, entre otras muchas. Es así como CEDO se ha perfilado como un sitio de gran importancia estratégica, siempre dispuesto a juntar esfuerzos y

colaborar en proyectos de investigación científica e implantación de actividades sustentables en la parte Norte del Golfo de California, para obtener así mayores beneficios y resultados en esta zona de Reservas de la Biósfera.

EL HÁBITAT DE DESOVE DE LA SARDINA MONTERREY (*SARDINOPS SAGAX*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA-DISTRIBUCIÓN DE HUEVOS Y LARVAS; 1956-57 Y 1991-1991

M. Gregory Hamann

Depto. de Ecología, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

La distribución de huevos y larvas de la sardina monterrey en el Golfo de California fue estudiada utilizando los datos de 38 cruceros realizados durante los periodos de 1956-57 y 1971-1991. El hábitat de desove se describe con las condiciones termales bajo las cuales los huevos de estados I-III fueron encontrados. Se analizaron los datos de temperatura de las estaciones de muestreo en los cruceros y de una serie de tiempo del mareógrafo en Guaymas, Sonora, y también imágenes por satélite de la temperatura superficial del mar. La alta correlación encontrada entre la estacionalidad de temperatura medida en los cruceros y la observada en Guaymas permitió la elaboración de una serie de tiempo que representa el Golfo central, el cual fue utilizado para producir una climatología de la estacionalidad térmica entre 1952-1991. La sardina monterrey desova en el Golfo de California durante noviembre a mayo; la mayor intensidad de desove ocurre entre diciembre y enero. Los huevos y larvas fueron encontrados en todo el Golfo, pero hay más desove en el Golfo central, no siendo restringido a la costa, como anteriormente fue reportado. Las condiciones superficiales del Golfo de California son fuertemente estacionales en parte debido a la influencia del agua tropical del sur durante los meses de verano. Esta estacionalidad se encuentra reflejada en la distribución temporal de desove que no ocurre durante el verano. La duración del desove representada por la media ± 1 desviación estándar de la temperatura preferida muestra mucha variabilidad interanual la cual influirá la fuerza de la clase anual siguiente.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESARROLLO DE LA MORFOLOGÍA FUNCIONAL DE ALIMENTACIÓN EN LA SARDINA MONTERREY (*SARDINOPS SAGAX*) Y LA ANCHOVETA NORTEÑA (*ENGRAULIS MORDAX*)

Soledad Arocena Ponce de León y M. Gregory Hamann
Depto. de Ecología, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México

Se obtuvieron mediciones de diferentes variables que caracterizan el aparato filtrador y la boca de la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) y la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) en ejemplares de 60 a 200 mm y 30 a 125 mm de longitud estándar respectivamente. Se analizó la variación de cada variable a lo largo del desarrollo ontogénico de cada pez, realizándose comparaciones entre ambas especies. Las

características del aparato filtrador mostraron diferencias significativas entre ambos peces, aproximadamente a partir de los 60 mm de longitud estándar. La anchoveta tiene una boca relativamente grande y con dientes. Los arcos branquiales poseen branquiespinas relativamente largas y cuyo número aumenta hasta aproximadamente los 60 mm de longitud estándar y luego se vuelve constante. En la anchoveta las branquiespinas poseen espaciamientos mayores que en la sardina (para tallas similares), y presentan denticulos de longitudes, distribución y orientación variables. La sardina tiene una boca de tendencia tubular, sin dientes y de menores dimensiones. Los arcos branquiales presentan branquiespinas más numerosas que en la anchoveta, menos espaciadas, y con denticulos de tallas y distribución regulares. Se encontraron evidencias de que la anchoveta está adaptada para filtrar partículas de tallas relativamente mayores, así como un mayor volumen de agua por unidad de tiempo. En cambio la morfología de alimentación de la sardina parece tener una selectividad más orientada hacia las partículas más pequeñas. Concluimos que la sardina monterrey y la anchoveta norteña presentan capacidades de aprovechamiento del alimento disponible potencialmente diferentes. Con base en estas conclusiones se puede afirmar que difícilmente podría ocurrir desplazamiento competitivo entre estas especies. Por otra parte se puede plantear una hipótesis de una asociación lógica entre las condiciones climáticas, la disponibilidad de plancton y la abundancia de sardina y/o anchoveta. Si al predominar condiciones climáticas cálidas, la biomasa de zooplancton fuera reducida, serían más abundantes los taxones de plancton de tallas relativamente pequeñas, lo cual favorecería a la sardina. Mientras que un régimen climático más frío, llevaría a una mayor biomasa de zooplancton y favorecería a la anchoveta. Estas diferencias en el alimento disponible se verían reflejadas como variaciones en la fecundidad relativa y así afectarían la producción de la población.

LA PESCA Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL ALTO GOLFO

Oscar A. Pedrín O.

Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, Sauzal de Rodríguez, Baja California, México.

En el año de 1991 se presentó una severa crisis en la pesquería del camarón del Pacífico que se manifestó con rasgos intensos en el alto Golfo de California. En ese mismo tiempo, en víspera de la reunión de Río, cobró su mayor fuerza el embargo atunero y la demanda de protección hacia los mamíferos marinos que incluyó a la vaquita marina (*phocoena sinus*). De estas demandas de protección se derivó la reserva del alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. La crisis pesquera, además, fue determinada por las manifestaciones de la crisis económica y el resultado de los cambios de las políticas de fomento hacia las pesquerías. Dentro de las actividades económicas que inciden en la región del Golfo de California se encuentran la agricultura y la pesca, pero se considera que la pesca es la causante mayor de alteraciones ambientales. Se

considera que la acción de la variabilidad ambiental independiente de la actividad económica también ejerce su efecto y esto hace difícil separar los grados de efecto. Entre los casos mas visibles de alteraciones ambientales se encuentran la vaquita y la totoaba y así mismo la comunidad demersal, en el área de impacto de la flota camaronera.

DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO DE LAS COMUNIDADES PESQUERAS DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

Lilia Alemán Ramos¹ y Arnulfo Ochoa Sánchez²

¹ Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, Sauzal de Rodríguez, Baja California, México.

² Universidad Pedagógica Nacional, Unidad Tijuana, Baja California, México.

Previo la instauración de la *Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California* se llevó a cabo una evaluación cuyos objetivos de investigación buscaban identificar las repercusiones sociales del cierre del Alto Golfo a la actividad pesquera. Los resultados más sobresalientes fueron: La explotación de la totoaba posibilitó el desarrollo económico de la región, localmente se le asigna un valor social destacable frente a otras especies protegidas; El auge económico regional se agota debido al crecimiento de la flota pesquera, la reducción de los volúmenes de captura, aumento de los costos de producción y una práctica administrativa irregular; La crisis económica y desestructuración de las sociedades cooperativas empeora las condiciones de trabajo de los pescadores; Se observa un crecimiento sustancial de la flota ribereña; Los habitantes del Alto Golfo son portadores de una cultura pesquera tan importante como sus recursos naturales; La Reserva de la Biosfera impone una nueva forma de trabajo; Las industrias turística y maquiladora constituyen una alternativa limitada de desarrollo pues la pesca representa aún una fuente real de crecimiento económico, empleo y beneficio social.

COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE DIFERENTES REGIONES DENTRO DEL GOLFO DE CALIFORNIA A PARTIR DE INFORMACIÓN SATELITAL DE CONCENTRACIÓN PIGMENTARIA (CZCS) Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (AVHRR)

Juan Pedro Arias Aréchiga¹, Salvador E. Lluch Cota², Saúl Álvarez Borrego³ y Daniel B. Lluch Cota²

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

³ CICESE

El estudio del medio marino en el Golfo de California resulta relevante debido, entre otros factores, a la presencia de altos niveles de concentración fitoplanctónica que soportan grandes poblaciones animales entre las que destacan, por su importancia económica, recursos pesqueros masivos como la sardina monterrey y el calamar. Los trabajos encaminados a la

implantación de programas de manejo ambiental y a la explotación óptima de recursos pesqueros dependen, en gran medida, de la identificación de fenómenos oceanográficos en la mesoescala y su variabilidad espacio-temporal. Estos estudios han encontrado su principal limitante en la disponibilidad de datos oceanográficos suficientes. Como una fuente de información complementaria la implantación de sensores remotos permite, además de ampliar la cobertura geográfica, el muestreo sincrónico de variables de importancia ecológica. Para el presente trabajo, se extractaron los foteles correspondientes al Golfo de California de las composiciones mensuales regionales de concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS) y temperatura superficial del mar (AVHRR) de la base "USA_NASA_JPL_PODAAC_A005 ver 1". Las composiciones mensuales fueron transformadas a matrices numéricas y se promediaron por mes del año para construir patrones anuales por fotel. Con la finalidad de reconocer los diferentes tipos de estacionalidad dentro del Golfo se realizó un agrupamiento por conglomerados de los patrones por fotel y, una vez identificadas las cuatro principales regiones en la mesoescala, se calculó el comportamiento tipo como el promedio de los patrones anuales de los foteles incluidos en cada región y se graficaron los pixeles individuales en una serie anual. Entre los resultados más notables se encuentran la fuerte estacionalidad de la zona más norteña y una homogenización, tanto en pigmentos como en temperatura, durante los meses de verano en contraste con la mayor diferenciación de las regiones durante la parte invernal del año.

HÁBITAT DE DESOVE DE LA SARDINA MONTERREY EN EL GOLFO DE CALIFORNIA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LAS SURGENCIAS: EL COLAPSO PESQUERO DE 1990-1992

Daniel B. Lluch-Cota, Salvador E. Lluch-Cota y Daniel Lluch-Belda

Grupo de Pesquerías, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Km. 1 Carret. San Juan de la Costa, El Comitán, A.P. 128, La Paz, B.C.S., México

La pesquería de sardina del Golfo de California representa uno de los mayores retos para la investigación científica regional debido a las grandes variaciones en las capturas en periodos cortos, 300,000 a 10,000 tons en dos años. Entre las hipótesis más recurridas para comprender estas variaciones se encuentra el efecto atribuido a la actividad pesquera sobre los niveles poblacionales; sin embargo, la variabilidad ambiental como fuente de variación de la magnitud del desove y, por lo tanto, del tamaño de la población representa una alternativa que, a juzgar por resultados obtenidos en el estudio de otras pesquerías similares, vale la pena abordar. En el presente trabajo, se explora la relación entre la actividad de surgencia, según un índice construido para la región de Topolobampo, Sin. y la temperatura superficial del mar, a partir de la base de datos COADS, y la extensión de desove de sardina monterrey, derivada del porcentaje de estaciones positivas para huevos y/o larvas. Para

representar esta relación se construyó una superficie de respuesta expresada como la probabilidad de desove para la combinación de ambas variables ambientales. A partir de las series de tiempo de ambas variables ambientales se construyó una serie, 1970-1994, indicadora de hábitat disponible para el desove a partir del producto de las probabilidades individuales de desove para cada variable. La superficie resultante sugiere un "domo" de condiciones óptimas con cierto grado de efecto compensatorio entre variables: a valores extremos de una, sean bajos o altos, es posible registrar valores aceptables de extensión del desove si la otra se encuentra en valores óptimos (intermedios). La serie de tiempo generada refleja predictivamente las posibles causas del colapso pesquero de 1990-1992 como una disminución importante del hábitat de desove desde 1986 y hasta 1992. De manera adicional, la serie muestra un aumento en el hábitat disponible después de 1992, lo que coincide con información no publicada sobre una recuperación de las capturas en años recientes.

UN ESTUDIO DEL ÁREA DE DESOVE DE LA ANCHOVETA NORTEÑA (*ENGRULIS MORDAX*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA DE 1990-1994, USANDO IMAGENES POR SATÉLITE DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL

Yanira A. Green Ruiz^{1,3} y Alejandro Hinojosa Corona²

¹ Instituto Nacional de la Pesca, CRIP, Mazatlán, A.P. 1177, Mazatlán, Sin, México.

² Depto. de Geología, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México

³ Depto. de Ecología, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México

Se analizó la influencia de la temperatura del agua sobre la distribución y abundancia de huevos de la anchoveta norteña en el Golfo de California. Datos de la temperatura superficial del mar (TSM) fueron combinados con los análisis de patrones espaciales de los huevos planctónicos en cinco cruceros realizados durante 1990 a 1994, durante la temporada de desove de la anchoveta norteña. Se empleó un Sistema de Información Geográfica para analizar tanto los datos de los cruceros como las imágenes por satélite de TSM. El área principal de desove para la anchoveta norteña en el Golfo de California se encuentra entre el punto norte de Isla Angel de la Guarda y aproximadamente 30 millas al sur de Isla Tiburón, y todo el ancho del Golfo. Sobre la costa occidental del estado de California, EUA, la anchoveta norteña desova en temperaturas entre 11.5 y 17°C, pero en el Golfo de California temperaturas entre 15 y 17°C son preferidas. Con las imágenes por satélite pudimos relacionar los patrones de masas de agua y frentes térmicos con la distribución y abundancia de los huevos de la anchoveta norteña.

CULTIVO DE OSTRAS PERLERAS Y PRODUCCIÓN DE PERLAS EN BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Mario Monteforte

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Km. 1
Carret. San Juan de la Costa, El Comítán, A.P. 128, La Paz, B.C.S.,
México

La producción de perlas, a partir del cultivo extensivo de varias especies de Ostras Perleras, géneros *Pinctada* y *Pteria*, es actualmente una de las industrias acuícolas de mayor rentabilidad en el mundo. En este contexto, el potencial que posee México es indiscutible. La costa mexicana alberga cuatro especies productoras de perlas: *Pinctada radiata* y *Pteria colymbus* en el Mar Caribe, y *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* en la costa del Pacífico. El Golfo de California, particularmente la Bahía de La Paz, es donde la riqueza perlera ha sido tradicionalmente la más importante. La Paz y sus costas vecinas fueron durante largo tiempo uno de los principales centros perleros del mundo, hasta que la pesca intensiva e irracional agotó casi por completo los bancos naturales. Después de casi un siglo que ha durado la ausencia de México en el mercado perlero internacional, tras la destrucción de la "Compañía Criadora de Concha y Perla de Baja California" en 1915, primera experiencia mundial en el cultivo comercial de una especie productora de perlas, se cuenta actualmente en La Paz con adelantada y eficiente tecnología propia de nacaricultura y perlicultura, que colocan a México en un lugar preponderante en el mundo perlero. Esta situación permite vislumbrar un prometedor desarrollo socioeconómico, basado en la construcción y operación de granjas perleras regionales que exploten en forma racional y conservacionista un recurso que debiera ser considerado como Patrimonio Estratégico Nacional. Las actividades de perlería, llevadas a cabo bajo una cuidadosa planeación y ordenamiento que las hagan accesibles, confiables y atractivas al sector productivo mexicano, podrían incidir directa y positivamente a nivel local y regional, con profundas implicaciones a nivel nacional. En este trabajo presentaremos un análisis de la situación que prevalece en el mundo en relación al cultivo de Ostras Perleras y la producción de perlas, bajo el contexto de la planeación y ordenamiento de granjas perleras, como modelo ampliamente factible de desarrollo socioeconómico con enorme potencial, que podría ser aplicado en numerosas regiones de la costa mexicana.

DINÁMICA POBLACIONAL DEL CALAMAR GIGANTE *DOSIDICUS GIGAS* EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Unai Markaida y Oscar Sosa-Nishizaki

Depto. de Ecología, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, B.C. México.

El calamar gigante, *Dosidicus gigas*, es el recurso cefalópodo más importante de México. Su pesquería se inició en 1974 y ha presentado fuertes fluctuaciones debido tanto a la disponibilidad del recurso como al esfuerzo pesquero. En los

últimos tres años se han realizado las mayores capturas de esta especie en el Golfo de California alrededor de 40,000 tons por año. La mayor parte de la pesquería se realiza en la parte central del golfo, donde el calamar se concentra frente a Santa Rosalia en verano y otoño y frente a Guaymas en invierno y primavera. Actualmente la biología de este recurso no está suficientemente conocida. El objetivo de esta investigación es el caracterizar las estructuras por edades y tallas, los estadios de madurez, hábitos alimenticios y las variaciones espacio-temporales de los organismos capturados en la pesquería. Con base en esta información se pretende comprobar los patrones migratorios de la especie sugeridos anteriormente en el golfo. Para alcanzar este último objetivo es necesario adquirir información de los parámetros físicos y biológicos que determinen la abundancia y distribución del calamar gigante en esta región.

ACRECENTAMIENTO DE ARRECIFES NATURALES Y ARTIFICIALES PARA PESCA RECREACIONAL Y ARTESANAL EN SAN FELIPE, B.C., MÉXICO

A. Escofet, J.C. Burgueno y L.E. Calderon-Aguilera

Departamento de Ecología, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-
Ensenada, Ensenada, B.C. México.

Se realizó una prospección de pesca y buceo en condiciones climáticas y oceanográficas extremas, invierno 1991, para determinar la factibilidad de acrecentar dos arrecifes naturales. Roca Punta Estrella y Roca Shanghai, y uno artificial Barco hundido "Tlaloc", en la Bahía de San Felipe, B.C., México. El buceo fue obstaculizado y la pesca con anzuelo y agallera fue limitada en tiempo. En Punta Estrella y Roca Shanghai se capturaron nueve especies de peces con anzuelo y red agallera. La cabrilla pinta, *Paralabrax maculatofasciatus*, fue la más abundante y capturada exclusivamente con anzuelo. Con la red agallera, el roncador *Cheilotrema saturnum* fue el más importante; sólo la curvina de boca naranja, *Cynoscion xanthulus*, se capturó con ambas artes de pesca. La pesca en el barco hundido no fue positiva debido a la hora empleada 13:00 hrs, y a las condiciones ambientales. La pesca con red agallera solo fue posible en Punta Estrella. Registros de vientos por 10 años revelaron que las velocidades durante la prospección fueron muy altas, 4.5 Beaufort, las mareas vivas fueron las más altas de 1994, la corriente de marea fue intensa, no obstante la turbidez fue típica de invierno. Se determinó que los arrecifes de Punta Estrella y el barco hundido son factibles de acrecentar; Roca Shanghai no fue recomendado por la poca profundidad, cercanía con la costa y los sedimentos en suspensión que podrían azolver prematuramente las estructuras.

OCEANOGRAFÍA FÍSICA

COMPARACIÓN DE OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS COSTERAS Y MARINAS DE LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Leal-Lupercio, J.C. y M.F. Lavín

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-
Ensenada, Ensenada, B.C., México

Se comparan observaciones meteorológicas realizadas simultáneamente en San Felipe, B.C. y en el centro de la región norte del Golfo de California, durante el periodo del 9 de diciembre de 1994 al 21 de enero de 1995. La información de costa obtenida a 1.5 km tierra adentro, influenciada por la presencia física de la Sierra Kila, Punta Machorro, árboles y casas de esa zona árida, muestra pronunciadas fluctuaciones diurnas. En contraste, los datos de mar no muestran una influencia significativa en la frecuencia diurna. Además, el calentamiento diferencial tierra-mar y la orografía en cada región producen un sistema importante de brisas y efectos locales sobre la costa. Se exploran tres modelos que relacionan linealmente la diferencia de la rapidez del viento a través de la zona costera propuestos por Hsu (1981; 1986). Se encuentra que la temperatura del aire, la humedad relativa y la magnitud del viento medidos en San Felipe, B.C., están subestimados por un factor de 1.01, 1.04 y 2.57 respectivamente, en comparación con el forzamiento atmosférico mar adentro.

ESTUDIOS NUMÉRICOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA: UNA ORIENTACIÓN POR OBJETOS

José Gómez Valdés¹ y Jesús Favela²

¹ Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret.
Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

² Programa de Ciencias Computacionales, CICESE, Km. 107,
Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

En el Golfo de California, las observaciones de campo de los procesos físicos han mejorado significativamente en los últimos años, lo cual representa una buena oportunidad para realizar una cuidadosa verificación de modelos del océano costero aplicados a cuencas semi-cerradas. Simular las corrientes barotrópicas a través del estrecho del golfo, por ejemplo, es recomendable. En este estudio, simulaciones de la dinámica del transporte verticalmente integrado son ejecutadas en un ambiente orientado a objetos. El sistema consiste de cuatro modelos numéricos, donde cada modelo es verificado usando una clase simple cuya definición consiste de los parámetros del modelo y de los métodos numéricos. Después, se usan herencias para obtener el modelo de objetos. En un ambiente orientado a objetos, la comparación entre modelos es inmediata. Nuevas instancias, por ejemplo, la inclusión de más procesos físicos en los cuatro modelos o la inclusión de más modelos en el sistema, pueden adherirse sin alterar el núcleo del programa y como extensiones de los objetos ya definidos. Los resultados del

campo de elevaciones se acercan satisfactoriamente a los valores medidos a lo largo del golfo. Se examina el transporte barotrópico a través del estrecho.

UNA SIMULACIÓN NUMÉRICA SOBRE LA FORMACIÓN DE MASAS DE AGUA EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Manuel López

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-
Ensenada, Ensenada, B.C., México

Se realizó una simulación numérica utilizando batimetría, hidrografía de invierno y forzamientos, viento, flujos de calor y de agua, correspondientes a la parte norte del Golfo de California. Como resultado del enfriamiento y la evaporación, el agua en las regiones someras incrementa su densidad y se hunde. A profundidad, el agua de origen superficial se mueve ciclónicamente alrededor de la cuenca. En la parte norte del golfo, la salinidad decrece con la profundidad, y las aguas de origen superficial se identifican fácilmente por sus valores altos de salinidad y temperatura. El hundimiento a profundidades de 75 m ocurre fundamentalmente a lo largo de la plataforma continental nororiental que tiene pendientes relativamente suaves. Esta agua se mueve hacia la cabeza del golfo donde se hunde aún más debido a las pendientes más grandes en esa zona. El agua más densa que llega a la cabeza del golfo, se hunde hasta una profundidad de 115 m durante un forzamiento relativamente débil, unos 25 días después de terminados los eventos fuertes de forzamiento. A esa profundidad el agua viaja ahora hacia el sureste, a lo largo de la pendiente suroccidental (del lado de Baja California) a una velocidad de unos 8 cm/s. Agua de alta salinidad de origen superficial se logra detectar hasta profundidades de 230 m y hasta la punta norte de la Isla Ángel de la Guarda. El estado final de la simulación presenta fuertes frentes de fondo de temperatura y salinidad, los cuales tienen similitud cualitativa con observaciones. El incremento de salinidad produce un incremento de densidad que es como el 25% del incremento debido al enfriamiento. Sin embargo, el efecto del incremento de salinidad es significativo en producir aguas más salinas y más densas que se hunden a profundidades mayores.

EL PROYECTO PESCAR: UN REPORTE DEL ACTUAL ESTADO Y PLANES FUTUROS

Alfonso S. Mascarenhas Jr.¹, Reginaldo Durazo Arvizu¹,
Curtis A. Collins², Antonio Sanchez-Devora³

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, Km. 103
Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

² Naval, Postgraduate School

³ Estación Oceanográfica Ensenada, Secretaría de Marina

Con la finalidad de estudiar el intercambio de calor, sal y agua en la entrada del Golfo de California, el IIO/UABC inició en 1992 investigaciones en conjunto con la estación Oceanográfica de la Secretaría de Marina de Ensenada, y la

Naval Postgraduate School de Monterey, California, USA. Hasta la fecha se han realizado 8 cruceros oceanográficos en la entrada del Golfo de California. Los resultados de los cruceros 1 y 2 pueden ser resumidos como: "Las observaciones de transporte y corrientes en la entrada del Golfo de California en Abril y Diciembre de 1992 sugieren un flujo entrando en el Golfo a lo largo de Sinaloa y saliendo a lo largo de Baja California. Los transportes variaron de 5 a 10 Sv y las corrientes en la superficie excedieron los 30 cm/s; valores de 10 cm/s fueron observados a profundidades de hasta 1000 m. Los valores de la corriente geostrofica muestran una buena concordancia con aquellos observados. La salinidad en los 300 m de la capa superior es más alta en el lado de Baja California indicando modificación del Agua Subsuperficial Subtropical así como la presencia de Agua del Golfo. El mínimo de salinidad asociado a la Agua de Corriente de California fue encontrado a 50 m en la forma de núcleos angostos que solamente pueden ser mejor observados con lances de CTD menos espaciados. Los flujos de calor y sal en la capa superior de los 300 m, fueron estimados en 0.6×10^{12} W y 310 tons/s ambos hacia fuera durante mayo y 1.7×10^{12} W hacia dentro y 180 tons/s hacia fuera durante diciembre. Los datos de todos los cruceros se encuentran en fase de procesamiento, y los resultados del crucero PESCAR 5 están siendo presentados en separado en este mismo coloquio. Se pretende continuar los estudios en la entrada del Golfo a través de proyectos de apoyo.

CIRCULACIÓN GEOSTRÓFICA EN LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Laura Elena Carrillo Bibriezca

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Se realizan cálculos de velocidad geostrofica en la Región Norte del Golfo de California (RNGC), utilizando información hidrográfica de 1939 a 1995. Los cálculos de velocidad geostrofica se aplican sobre la superficie del área de la RNGC y sobre cortes transversales, utilizando 70 m como nivel de no movimiento para los cálculos en el plano horizontal y el fondo en el vertical. La circulación geostrofica encontrada es estacional; en primavera no se distingue ningún patrón de circulación; mientras que en verano, la señal en forma de un giro ciclónico sobre el centro de la RNGC, es fuerte y clara, presentando las mayores velocidades encontradas durante el año (~ 0.11 m/s). Al iniciar el otoño el patrón de circulación se invierte, observándose un giro anticiclónico sobre la región de Cuenca Delfín, con magnitudes de la velocidad menores a las encontradas en verano (hasta un orden de magnitud menor, ~ 0.03 m/s). Conforme se avanza a condiciones de invierno, el patrón anticiclónico se muestra débil y no claro, debido a que prevalecen condiciones barotrópicas sobre la capa superficial de esta región. Los eventos El Niño parecen cambiar el patrón de circulación en la RNGC durante el invierno, sin embargo, la forma en que la circulación es afectada no parece seguir un patrón. Se propone un modelo conceptual de la circulación para la RNGC con base en los resultados encontrados en este trabajo,

y en las recientes modelaciones numéricas sobre esta región.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OBSERVACIONES DE CORRIENTES Y TEMPERATURA EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Cuauhtémoc Turrent Thompson y Manuel López Mariscal
Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México

Se analizaron 15 días de datos de corrientes y temperatura muestreados por seis instrumentos anclados en la parte norte del Golfo de California, durante el verano de 1990. El anclaje se localizó al este de la Isla Ángel de la Guarda, sobre 440 m de profundidad, e incluyó correntímetros a 75, 110, 150, 250, 350 y 428 m. El flujo medio en los primeros 150 m fue hacia la boca del golfo, y hacia la cabeza en los instrumentos más profundos. Las fluctuaciones de la corriente están fuertemente alineadas con el eje longitudinal del golfo, y la desviación estándar en esa dirección es de dos a cuatro veces mayor que en la dirección transversal al golfo. La corriente fluctuante esta dominada por las mareas semidiurnas, y las elipses componentes de la banda semidiurna aumentan ligeramente en magnitud y excentricidad con la profundidad. La forma, tamaño y sentido de rotación de las elipses componentes de las frecuencias diurna e inercial, así como la disminución hacia el fondo de la energía de esa banda en los espectros vectoriales, sugieren la existencia de una superposición de oscilaciones inerciales con el flujo inducido por la marea diurna. Todos los modos empíricos calculados presentaron una estructura baroclínica con excepción del primer modo empírico de la velocidad a lo largo del golfo (v). La estructura vertical de este modo es completamente barotrópica, explica el 85% de la varianza de la corriente longitudinal al golfo y está asociada a las mareas semidiurnas. El segundo modo empírico de v, así como el primer y segundo modos de la temperatura, también resultaron importantes, explicando el 8.4%, 50% y 27% de la varianza de sus campos, respectivamente. El comportamiento temporal de estos modos casi no presenta energía en la banda diurna, pero sí presenta energía significativa en la banda semidiurna y en la de su primer armónico (M4). La presencia de picos significativos en las frecuencias semidiurnas y en la frecuencia M4, asociados a una estructura baroclínica de los campos de velocidad y temperatura, sugiere la existencia de una marea interna.

PROYECTO DE MODELACIÓN TRIDIMENSIONAL DE TODO UN PROCESO ANUAL DE LA CIRCULACIÓN BAROCLÍNICA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Noel Carbajal
Tijberg 2, 2716 LH, Holanda

El Golfo de California es probablemente la única parte de los mares de México que reúne actualmente las condiciones necesarias para el estudio hidrodinámico-numérico de todo un proceso anual de la circulación baroclínica. Las razones son las

siguientes: la cantidad de datos hidrográficos actual, seguramente permitiría alimentar satisfactoriamente a un modelo tridimensional de 15 a 20 niveles. Los flujos de calor entre la superficie del Golfo de California y la atmósfera han sido estimados en los últimos años. Existe ya un modelo tridimensional, el cual considera descargas de agua dulce, flujos de calor océano-atmósfera, forzamientos debido al viento y mareas. El modelo es apropiado para regiones con grandes cambios batimétricos. Además existen varios grupos dedicados al estudio de la física del golfo. Este factor es importante, puesto que la inmensa tarea que representa la preparación y simulación de todo un proceso anual, requiere una estrecha colaboración entre varios grupos o gentes. La información obtenida sería igualmente inmensa y tendría muchos beneficios prácticos. Los resultados podrían, por ejemplo, usarse en estudios biológicos como el transporte de larvas y en la pesca por su relación con las surgencias de agua. El gran número de fenómenos físicos involucrados daría cabida a la realización de tesis de maestría y doctorado. Creo que una empresa de esta envergadura debiera ser considerada en los próximos 10 años. Las razones para la realización de este proyecto se discuten en este trabajo. Con el fin de mostrar la eficacia y logros, se dan algunos ejemplos de la aplicación muy satisfactoria del modelo tridimensional empleado en diversas investigaciones de la circulación en el Golfo de California.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA E IRRIGACIÓN DEL DESIERTO DE ALTAR

Jose Luis Siller Franco
SILLER Y ASOCIADOS, México, D.F.

Aprovechamientos potenciales de la energía hidrocinética, que portan las corrientes de mareas del extremo norte del Golfo de California: Con el extraordinario diferencial de mareas, que llega a alcanzar los 10.0 m, en el extremo Norte del Golfo de California, se inunda una superficie de marismas superior a los 1,000 Km², que con un tirante medio de 5.0 m, forman un embalse del orden de los 5,000'000,000 de metros cúbicos, que divididos entre las 6:12 horas que teóricamente toman el flujo o el reflujo, arrojan un gasto medio de 225,000 m³ seg⁻¹, y un máximo de 450,000 m³ seg⁻¹, enorme torrente varias veces superior a la suma de los gastos de todos los ríos del mundo juntos; caudal, que por definición, en ciertas zonas debe moverse a velocidades de varios metros por segundo, y por tanto portar una gran carga hidrocinética que puede ser aprovechada económicamente a través de módulos motrices que pueden accionar a generadores de diversos tipos de energía, como pueden ser los eléctricos, bombas, compresores, etc. El módulo convertidor motriz más elemental que puede existir para el efecto, es el de una hélice sumergida, cuyo eje permanezca siempre enfilado con dirección de la corriente: tal dispositivo pudiera estar cimentado en el fondo, o bien suspendido de un cuerpo flotante anclado al propio lecho marino, mediante unos tirantes, que con la holgura necesaria, partan de sus extremos anterior y posterior, que le permitan quedar siempre alineado

con ambos sentidos de la corriente, y tomar los diferenciales de altura de marea. Desde luego la segunda alternativa es la más viable y económica. El diseño de tal módulo motriz, obviamente deberá ser el óptimo que resulte, de acuerdo con la velocidad de la corriente, y de las condiciones del sitio elegido; en principio la hélice sería de paso fijo; su diámetro, para efectos prácticos, pudiera variar entre los 5.0 y los 20.0 m, y la proyección de sus palas, cubriría toda la sección circular. Dichas palas pueden ser fabricadas de cualquier material adecuado, como metal, madera o plástico con alma metálica o concreto aligerado reforzado, recubierto con una capa de neopreno o de algún otro material resistente a la abrasión. Este último material se propone para las de gran tamaño, mismas que se pueden fabricar próximas al sitio de instalación. En uno de los extremos de la flecha de la hélice, será siempre posible conectar, directa o a través de un mecanismo de transmisión, al generador eléctrico, a la bomba, al compresor, etc., que se pretenda accionar con esta fuerza motriz, mismo que pudiera quedar instalado sobre la cubierta del cuerpo flotante, o también sumergido. La generación directa de energía eléctrica, a partir del presente tipo de energía disponible, no es práctico, porque las velocidades de las corrientes parten de cero, llegan a un máximo siguiendo una curva que dependerá de las características del lugar, y al terminar el flujo o el reflujo, llegarán nuevamente a cero, para que un nuevo ciclo semejante se inicie en sentido contrario. Por lo tanto, y para el caso particular de la zona del Golfo de California que nos ocupa, la mejor manera para convertir a la hidrocinética en eléctrica a régimen comercial constante, consiste en acoplar directamente a la flecha de la hélice de cada módulo motriz, una bomba impulsora de pistones radiales conectados a un anillo tubular del mismo diámetro exterior de la tal hélice, del que mediante una condición flexible, el agua así bombeada, pasa a una de las ramas de un árbol de tuberías sumergidas, cuyo tronco conducirá al producto del grupo de módulos, hasta un vaso regulador localizado en la serranía costera de San Felipe o en la de Las Pintas, del que se alimentaría una hidroeléctrica común a régimen constante. A efecto de irrigar miles de hectáreas de tierras aptas que existen vírgenes en el Desierto de Altar en el colindante Sonora, se emplearía un procedimiento similar de bombeo y conducción del agua salada hasta varias decenas de kilómetros tierra adentro, extrayendo derivaciones a campos en donde se aplique la conocida técnica de desalado mediante evaporación solar, en una región en donde el asoleamiento es muy intenso a todo lo largo del año. Dado que en ambos casos se estaría utilizando una fuente de energía gratuita, de permanencia ilimitada, y la reciente legislación mexicana sobre la materia, permite la concesión a particulares para su aprovechamiento, en el momento presente se requiere contar con los estudios que permitan conocer la potencialidad probable de las mejores zonas costeras de dicho Golfo, y por consiguiente la elaboración de los ante-proyectos iniciales en los que se basarían las respectivas promociones de inversionistas. Para la generación de energía eléctrica, la legislación mencionada es muy clara, e indica que tal energía se vendería únicamente a la Comisión Federal de Electricidad; y para el caso de la irrigación, tal vez el cliente fuera la Comisión Nacional del Agua, aunque tal legislación pudiera ser adaptada para que los concesionarios

la pudieran vender directamente a los usuarios, ya deslavada, o sin tratamiento, para que éstos la desalen a su conveniencia. Pueden existir varias otras alternativas, entre las que se pudiera mencionar, la de la asociación de vecinos consumidores, que instalen y operen su propia infraestructura. Como es lógico suponerlo, para el asunto de la irrigación del Desierto de Altar, se requeriría también el consiguiente estudio de potencialidad agrícola, pecuaria, piscícola, salinas, etc., a fin de determinar los cultivos o actividades más rentables para ésta enorme región a la que con este regalo de la hidrocínética que le ha hecho la Naturaleza, se le abren nuevos horizontes, que finalmente habrán de favorecer a todo el País. En virtud de que desconozco las características oceanográficas de la zona, y tan sólo supongo que las corrientes de mareas son muy intensas, a efecto de establecer un punto de partida que permita fijar las bases para los aprovechamientos anotados, a continuación se calcularán las potencias y rpm respectivas que se obtendrían de hélices de paso fijo, de 20.0 m. de diámetro, constituidas por ocho palas con 45° de ángulo de ataque, y cuya proyección cubra toda la sección. Para dichos cálculos, consideré, el que dada la condición reversible de las corrientes, tanto en el flujo como en el reflujo, se parte de velocidad 0.0, y considerando que ambas velocidades serían iguales, y sus incrementos lineales, resulta en términos generales, que la eficiencia de éstas es en promedio del 0.28. La fórmula que se estableció para el cálculo de la potencia, es el siguiente:

$$Kh = 0.008 p D^2 V^3 E \quad (1)$$

donde

kh = energía hidrocínética en KW

p = densidad del agua del mar

D = diámetro de la hélice en m

V = velocidad de la corriente en m. seg⁻¹

E = Eficiencia

Un módulo motriz tendría las siguientes capacidades en KW y en HP a las velocidades de giro que también se anotan, para E = 0.85, y p = 1.03.

VELOCIDADES DE CORRIENTE

De	1.0m seg ⁻¹	1.5m seg ⁻¹	2.0m seg ⁻¹	2.5m seg ⁻¹	3.0m seg ⁻¹
20.0m	2.80 KW	9.46 KW	22.41 KW	43.78 KW	75.64 KW
	3.75 HP	12.68HP	30.04 HP	58.69 HP	101.40 HP
	1.06 rpm	1.59 rpm	2.12 rpm	2.65 rpm	3.18 rpm

NOTA: Estos cálculos se refieren a las velocidades máximas de las corrientes en el sitio de instalación. Se considera que la bomba impelente y las conducciones, tienen una eficiencia conjunta de 0.95, y que para el caso de la planta hidroeléctrica, ésta sería de 0.8, tomando en cuenta las pérdidas de agua por infiltración y evaporación. Ante los anteriores resultados, se puede concluir, el que a menos de que en zonas costeras de la Baja California, con isóbatas de -22.0 a -30.0 m, existan velocidades máximas de corrientes superiores a los 3.0 m seg⁻¹, sería antieconómica su instalación; pero para el caso de la irrigación del Desierto de Altar, cada bomba podrá entregar un gasto medio de 154 lts seg⁻¹, hasta la elevación +50.0 m,

instalado en una velocidad máxima de corriente de 3.0 m seg⁻¹. Como estimación preliminar conservadora, considero que un módulo para bombeo, instalado, pudiera tener un costo de 135,000 Dlls., al que habría que agregar el de la infraestructura de tuberías de conducción y el de los campos de desalado.

RESPUESTA RESONANTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA A ONDAS LARGAS DE MAREMOTOS

Francisco J. Sandoval¹ y Salvador F. Farreras²

¹ Department of Oceanography, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA.

² Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Se analiza la influencia de la batimetría y la forma del contorno en la respuesta resonante del Golfo de California a ondas de tsunamis de varias frecuencias y direcciones de incidencia. La distribución de amplitudes de onda a lo largo de la costa y en el interior de la cuenca, se obtiene de una forma matricial discreta (aproximada) de la solución integral de Weber a la ecuación bidimensional de Helmholtz para un fluido no-viscoso irrotacional. Se ajustan 420 segmentos rectos al contorno real, y el interior del dominio se cubre con una red de solución de 350 puntos. Los resultados muestran un desplazamiento hacia frecuencias bajas en la respuesta de amplitud relativa, don dos máximos bien definidos aumentando en magnitud, a medida que la orientación de los frentes de onda incidentes varía de normal a paralela a las costa del Golfo. Los patrones de isoclinas para las amplitudes relativas de las dos frecuencias de máximos con los típicos unimodal y bimodal del primero y segundo modos armónicos de oscilaciones transversales. Estos dos modos corresponden también a las frecuencias más exitadas por cuatro tsunamis recibidos previamente en las costas del Golfo, de acuerdo a los espectros de energía de sus registros. Un tercer máximo que aparece en las soluciones teóricas y en los espectros, fue identificado anteriormente como un modo resonante de la plataforma continental vecina a la boca del Golfo de California. Se comparan las soluciones para un fondo plano de profundidad media con las correspondientes a un fondo de profundidad variable ajustada cuadráticamente por mínimos cuadrados a la batimetría real del Golfo. Las soluciones para profundidad variable muestran más modos de oscilación en frecuencias bajas, con mucha amplificación en las bandas de marea diurna y semidurna, pero no difieren sustancialmente con las soluciones para fondo plano en el rango de frecuencias de tsunamis. La amplificación resonante de estas frecuencias de mareas corresponde a la excitación de modos armónicos longitudinales en el Golfo, como han demostrado otros autores.

OBSERVACIONES LAGRANGIANAS DE CORRIENTES EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

Reginaldo Durazo¹, Miguel F. Lavín², Emilio Palacios²,
María Luisa Argote² y Laura Carrillo²

¹ Facultad de Ciencias Marinas, UABC, A.P. 453, Ensenada, B.C.,
22839, México

² Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret.
Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Los estudios con modelos numéricos y aproximaciones geostróficas en el Alto Golfo de California han sugerido que la circulación consiste de un patrón reversible de giros, ciclónico en verano y anticiclónico en invierno. Durante septiembre 1995, cinco flotadores del tipo ARGOS/WOCE fueron liberados sobre cuenca Delfin. La deriva de los flotadores mostró la presencia de un giro ciclónico con velocidades del orden de los 30 cm/s. Cuatro de las boyas fueron recuperadas y lanzadas de nuevo en marzo 1996; en esta ocasión las trayectorias señalaron la presencia de un giro anticiclónico pero desplazado hacia el NW respecto de la posición del giro de verano. La escala espacial de los giros observados fue de 80-100 km con un período de rotación de alrededor de 7 días. Las observaciones mostraron que el giro de verano es baroclínico, bien definido y muy estable mientras que el de invierno mostró características tanto baroclínicas como barotrópicas. El análisis de datos hidrográficos históricos sugieren que el giro observado en septiembre es una estructura permanente del verano. La situación para el invierno permanece todavía indefinida y está siendo objeto de investigaciones.

CIRCULACIÓN ANUAL EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Emilio Beier y Pedro Ripa

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-
Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Las elevaciones del nivel del mar obtenidas a partir de estaciones mareográficas costeras y el flujo horizontal del calor calculado a partir de datos hidrográficos históricos en el Golfo de California son reproducidas satisfactoriamente con un modelo lineal de dos capas en la frecuencia anual. La parte principal de la dinámica obtenida se puede explicar por medio de una onda interna atrapada a la costa que se propaga a lo largo de toda la costa del golfo. Los forzamientos principales por medio de los cuales toda la variabilidad es explicada son: el esfuerzo del viento en la superficie del golfo y el Océano Pacífico que excita una onda interna en la boca. El calentamiento superficial, también considerado, tiene un efecto menor en la circulación total. La respuesta del golfo es similar a la observada, es decir, una capa superficial muy energética, con circulación ciclónica en verano y anticiclónica en invierno, comparada con una circulación débil y opuesta en la capa de fondo. Los resultados de la simulación muestran que la variabilidad transversal al golfo es tan importante como la longitudinal. En particular, en ambas estaciones del año se observa un giro bien definido en la parte norte del golfo, entre la cabeza y la región de las grandes islas.

HIDROGRAFÍA Y DINÁMICA DEL PACÍFICO TRANSICIONAL MEXICANO

Juan Manuel Lopez Bojorquez y Armando Trasviña

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-
Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Se obtuvo una climatología mensual de la región comprendida entre 105-112°W y 16-23°N, aplicando un algoritmo de interpolación óptima en datos históricos (1939-1990) de temperatura y salinidad. La base de datos proviene de la National Oceanographic Data Center (NODC); un 80% de los datos de temperatura son de batitermógrafos mecánicos y un 60 % de los de salinidad provienen de STD. Se obtuvieron mapas de temperatura y salinidad en 10 capas con una resolución espacial de 0.1x0.1 ; estas capas están comprendidas desde la superficie hasta los 600 m. Se calcularon velocidades geostróficas relativas a 550 m de profundidad para toda el área de estudio. Se calculó temperatura, salinidad y velocidad geostrófica en dos secciones verticales, una a lo largo de los 23°N, y otra, de Cabo San Lucas (CSL) a Cabo Corrientes. Se calcularon tendencias interanuales en cada capa. El valor máximo de tendencia interanual se encontró en la capa de los 55-85 m, con un valor de 2.34 C para los 51 años de datos. Se encontró la presencia de las siguientes masas de agua: Agua de la Corriente de California (ACC), Agua del Golfo de California (AGC), Agua Tropical Superficial (ATS) y Agua Subtropical Subsuperficial (AStSs). El ACC entra en la zona durante el periodo febrero-junio, con un máximo en el mes de junio. El AGC tuvo su mayor presencia hacia el exterior del golfo en los meses agosto y septiembre (verano), aunque puede decirse que su presencia en la zona es mínima. El ATS fluye del sureste durante el periodo septiembre-diciembre, alcanzando su máxima presencia en diciembre. El AStSs tuvo su mayor presencia durante verano y la mínima durante invierno. Los flujos geostróficos superficiales provenientes de la región tropical, presentan su mayor aporte durante verano y otoño. Durante invierno y primavera la mayor parte del flujo presente en superficie proviene de regiones templadas. Durante otoño (octubre y noviembre) se presenta un flujo de origen tropical, el cual fluye hacia el noroeste. Este flujo está presente al oeste de CSL y transporta aguas cálidas y salinas hacia latitudes altas. En la boca del Golfo de California se presentan dos flujos durante invierno, uno de salida al oriente de la boca y otro de entrada al occidente de la misma, patrón presente hacia finales de la estación. Durante primavera y verano el flujo es de entrada, el cual es debido principalmente al aporte del ACC en primavera y al aporte del AStSs en verano. Durante otoño el flujo de entrada es por el occidente de la boca y el de salida por el oriente de la misma.

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA A PARTIR DE IMAGENES DE AVHRR

L. Soto M., A. Parés-Sierra y G. Marinone M.

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Catorce años, 1983-1996, de imágenes infrarojas de satélite son usadas para examinar la variabilidad de la temperatura superficial en la región del Golfo de California. Un estudio estadístico preliminar permite identificar patrones de temperatura superficial muy definidos, tanto en la parte norte, central y sur del golfo. En la zona norte se infiere a partir de perfiles de temperatura promediada transversalmente (y contornos espaciales), la formación de giros, los cuales varían su sentido estacionalmente. En la zona adyacente a las islas se encuentran mínimos de temperatura superficial en la mayor parte del año, haciéndose máximos en verano. La zona sur es muy compleja, caracterizándose por la formación de meandros y giros que se desplazan hacia el interior del golfo. Además, se encuentra una marcada diferencia de temperatura entre la cabeza y la boca del golfo. A partir de anomalías de temperatura en la serie de los catorce años se encuentra señales interanuales, las cuales son amplificadas en la parte norte de golfo. Análisis de funciones empíricas ortogonales (FEOs) fue aplicado a la secuencia de imágenes de mensuales de AVHRR. La estructura temporal de los dos primeros FEOs, describen un ciclo anual muy marcado, representando el primer modo un calentamiento y enfriamiento simultaneo en todo el golfo y el segundo una oscilación norte-sur. Además, se analiza para la secuencia de imágenes mensuales filtradas con filtro de paso bajo, encontrándose señales de tipo interanual.

COMPORTAMIENTO DE LOS CAMPOS HIDROGRÁFICOS Y FLUJOS DE CALOR Y MASA EN EL CANAL LAS BALLENAS

Rosario de Lourdes Romero Centeno y María Luisa Argote Espinoza

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

La viariabilidad interanual y estacional de los campos hidrográficos en el Canal de Ballenas (CB) es analizado usando datos de 31 campañas oceanográficas; y tambien se discuten las diferencias que presenta con respecto a las regiones que lo rodean, regiones norte, este y sur. En el CB se observan únicamente aguas con temperaturas (T) $> 11^{\circ}\text{C}$ y salinidades (S) > 34.70 ups, debido a que el umbral ubicado en su extremo sur, umbral de San Lorenzo, cuya profundidad es de aproximadamente 400 m, impide el flujo de las masas de agua profundas de la región sur. Durante eventos de "El Niño" se observan variaciones notables en las características T-S del CB y las regiones adyacentes, que consisten en: a) temperaturas altas por lo menos en los primeros 200 m de la columna de agua, b) salinidades relativamente bajas en niveles superficiales,

y c) salinidades relativamente altas sobretudo en niveles subsuperficiales y profundos. La gran profundidad a la cual se observan algunas de estas anomalías en el CB y la región norte es sorprendente, además de que no concuerdan con la idea de una invasión anómala de la masa de Agua Superficial Ecuatorial hacia el interior del Golfo de California. El análisis de los datos hidrográficos indica que en el CB la mezcla vertical es más intensa que en las regiones adyacentes, siendo la responsable de mantener las temperaturas superficiales más bajas durante todo el año y transferir más rápida y eficientemente el calor hacia niveles subsuperficiales. Esto ocasiona que el calor almacenado en los primeros 200 m de columna de agua en el CB sea menor que en las regiones adyacentes, y que el desfase entre el ciclo anual de calentamiento superficial y en subsuperficie (aprox 50 m) sea mucho menor que el observado en las regiones norte y sur. También como resultado de esta transferencia vertical de calor, el CB presenta el menor rango anual de temperaturas superficial y le mayor a profundidades entre los 50 y 100 m en comparación con los que se presentan en las regiones adyacentes. El campo de salinidad muestra importantes variaciones no estacionales asociadas a la influencia de procesos de tipo advectivo-difusivo en las cuatro regiones. Aparentemente, la intensa mezcla vertical en el CB es también responsable de que el desfase entre el ciclo anual de salinidad en superficie y a 40 m de profundidad sea muy pequeño en relación al observado en las regiones norte y sur. La variabilidad de los campos hidrográficos en los primeros 200 m de la columna de agua en la región este es similar a la observada en el CB, sugiriendo que ambas regiones son afectadas por procesos de mezcla semejantes en estos niveles. En contraste, por debajo de los 200 m la región este muestra la penetración de aguas más frías y menos salinas provenientes de las región sur que no se observan en el CB. Las características de temperatura, salinidad y densidad observadas por debajo de los 200 m en el CB y la región norte son muy similares, y coinciden con las que se observan en la región sur entre los 150 y 300 m de profundidad. Tales características corresponden a la masa de Agua Subsuperficial Subtropical, que se hunde después de pasar sobre el umbral de San Lorenzo y llena las cuencas más profundas de ambas regiones. En contraste, la intensa mezcla vertical en el CB provoca marcadas diferencias con la región norte en los niveles superficiales. Las estimaciones de los flujos de calor a través de la superficie muestran que las cuatro regiones ganan calor en promedio anual, indicando que deben exportar calor hacia las aguas adyacentes mediante flujos laterales. Este resultado y el hecho de que el flujo neto de calor a través de la superficie no sea suficiente para explicar la tasa de calentamiento observada, implican que los procesos advectivos influyen significativamente sobre las variaciones anuales del campo de temperatura. El flujo lateral entre el CB y la región sur, sugerido por las diferencias en los campos de densidad, consiste en un sistema de dos capas, con el flujo de la capa superior dirigido hacia la región sur y el de la capa profunda hacia el CB. La interface entre las capas se encuentra aproximadamente entre los 300 y 400 m de profundidad. Este esquema de circulación coincide con mediciones de corrientes hechas sobre el umbral de San Lorenzo. La hidrografía también sugiere una circulación

de dos capas entre el CB y la región norte durante algunos meses del año, pero no existe un patrón de circulación definido como entre el CB y la región sur. Utilizando un modelo de cajas, que considera a los procesos advectivos y de intercambio con la atmósfera como los más importantes en la determinación de los campos de temperatura y salinidad en el CB, se estima la magnitud y dirección de los flujos entre el CB y las regiones norte y sur. En general, los resultados del modelo concuerdan con la circulación sugerida por la hidrografía, sobretudo entre el CB y la región sur. con los flujos obtenidos se estima satisfactoriamente el campo de temperatura, pero no el de salinidad.

OCEANOGRAFÍA FÍSICA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA: ACTUALIDAD Y PERSPECTIVAS

M.F. Lavín

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

En los últimos años hemos aprendido ciertos aspectos importantes de la oceanografía física del Golfo de California, y otros ya conocidos han sido cuantificados y explicados. Sin embargo, aún quedan interrogantes sumamente importantes que debemos atacar en la próxima década. **MAREAS:** Han sido estudiadas exhaustivamente con modelos, respaldados por datos de nivel del mar. Aunque se han publicado algunos armónicos de las corrientes de marea, siguen siendo insuficientes para calibrar modelos numéricos y para otras aplicaciones. Ya existen estos datos, pero no han sido publicados. Se ha avanzado en la cuantificación del efecto de la mezcla vertical causada por las corrientes de marea como disipación y frentes. Hace falta generar conocimientos de aplicación práctica. **HIDROGRAFÍA:** Aparentemente, Sverdrup dijo casi todo al respecto en 1941, basado en una sola campaña... pero también hizo lo mismo para todos los océanos! Pero hemos seguido refinando y cuantificando sus descripciones. En los 60s, Roden y Groves hicieron la primera serie estacional de campañas. El siguiente esfuerzo observacional sostenido fué en los 80s, por SIO y CICESE. En los últimos 2 o 3 años, CICESE se ha concentrado en la parte norte del golfo y en el archipiélago, mientras que en la zona de la boca, observaciones intensivas han sido realizadas por la UABC y el Naval Postgraduate School, Monterey, Ca., y también por CICESE. Se ha publicado muy poco de los últimos estudios, pues son muy recientes. **MASAS DE AGUA:** Las masas de agua que se encuentran dentro del golfo han sido descritas con creciente refinamiento; el esfuerzo más reciente para estandarizar los nombres de las masas de agua, cuantificar su volumen y su variabilidad estacional -fue hecha por Torres (1993)-, usó casi todos los datos disponibles hasta el final de los 80s. Las variaciones interanuales de las masas de agua han sido analizadas en varias ocasiones, pero hacen falta más datos para resolver adecuadamente las interrogantes que surgen. **FORMACIÓN DEL AGUA DEL GOLFO:** Es generalmente aceptado que el Agua del Golfo de California (AGC) se forma por la transformación cerca de la superficie del Agua Subtropical

Subsuperficial (ASTs). Esto puede ocurrir en todo el golfo durante todo el año, pero especialmente en la parte norte. donde ocurre la mayor evaporación. No se han cuantificado las proporciones contribuidas al AGC por las diferentes regiones en las diferentes épocas del año. Existe cierta confusión con el agua que se forma por convección vertical durante el invierno en la parte norte del golfo: este agua sólo es uno de los componentes del AGC. Se encontró que puede haber convección invernal tanto en años El Niño como en años no-Niño. **FRENTES:** Los frentes térmicos más importantes en el interior del golfo son generados por el mezclado vertical causado por las corrientes de mareas, y por las surgencias costeras causados por el viento. En años recientes se han estudiado más los frentes de marea, sobre todo los que se encuentran sobre los umbrales del archipiélago y en la zona somera cerca de la cabeza del golfo. Los frentes de surgencia han sido estudiados sobre todo por percepción remota: se sabe que frecuentemente se generan chorros que salen de las puntas, y que son más evidentes en las costas del lado continental en otoño/invierno que del lado de la península en verano; no está claro por qué. Los frentes de masas de agua que infestan la zona de la boca han sido muestreados sólo recientemente (después de Roden), y todavía no se publican los resultados. **TERMODINÁMICA:** Para la segunda mitad de los 80s ya se había logrado armar un ciclo anual con los datos de todas las campañas oceanográficas históricas complementadas con otras hechas expofeso. Usando observaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, complementadas con otras hechas por SIO y CICESE, fué posible analizar la termodinámica del golfo a escala estacional y en promedio anual. **BALANCE DE CALOR (ANUAL Y ESTACIONAL):** Se encontró que el golfo gana calor a través de la superficie en promedio anual, lo cual implica que la circulación termohalina (en promedio anual) debe ser al revés que en el mar Mediterráneo: con salida de agua (pobre en nutrientes) cerca de la superficie y entrada de agua (rica en nutrientes) a profundidad: se ha propuesto que ésta es la razón, junto con la mezcla por mareas, de la riqueza biológica del golfo. Sorprendentemente, el balance de calor en la frecuencia anual reveló un importante forzamiento a través de la boca, con amplitud dos veces mayor que la del forzamiento por la superficie. No se ha demostrado cómo es generado este forzamiento. **BALANCE DE SAL:** Ya Roden había detectado una variación semianual en el contenido de sal del golfo, y estudios más recientes la siguen encontrando; este tema necesita ser estudiado más, y ya hay algunos estudios planeados. **CIRCULACIÓN:** El estudio de la circulación (o sea de las corrientes residuales, sin las de mareas) en el Golfo de California ha avanzado poco en la última década, al menos observacionalmente. Ha habido varios modelos barotrópicos, un par de modelos baroclínicos y varios estudios con cálculos geostroficos. Esta situación está a punto de cambiar: hay varios modelos baroclínicos en desarrollo, y en los últimos años se han realizado observaciones directas tanto en la boca del golfo como en la zona entre las islas y en la parte norte (Cuencas Delfín y Wagner). **CIRCULACIÓN TERMOHALINA:** Esta es la circulación generada por el intercambio de calor y agua (evaporación) a través de la superficie. Es costumbre describir

la circulación termohalina con base en la distribución de las masas de agua. En el caso del Golfo de California, se ha usado como trazador principalmente al AGC, pues su alta salinidad la hace fácil de detectar. De esta forma, se acepta generalmente que dicha agua se forma en la parte norte, y luego fluye hacia la boca pegada al lado de la península (a una profundidad entre 50 y 100 m). Al salir del golfo, el AGC se mezcla con otras masas de agua, pero su poco volumen hace su influencia casi nula. Esta descripción clásica está siendo refinada con observaciones recientes. Como se mencionó arriba, la circulación termohalina debe ser inversa a la del Mediterráneo, en promedio anual. Se ha propuesto que esta circulación consiste de tres capas: una entre 0 y 50 m de profundidad que cambia de dirección de acuerdo al régimen de vientos, otra entre 50 y 250 m con flujo hacia afuera y otra de 250 a 500 m con flujo hacia adentro; sin embargo la existencia de este esquema de circulación todavía no ha sido demostrada satisfactoriamente, pues la variabilidad natural no ha sido muestreada suficientemente. Este importante tema está abierto, esperando respuestas. **CIRCULACIÓN ESTACIONAL:** Generalmente se considera que el viento es el principal agente forzante de la circulación en el golfo. Y como el viento tiene una fuerte estacionalidad, se espera y acepta que la circulación será estacional también: en verano, con vientos del SE, habrá corrientes entrantes del lado del continente y salientes del lado de la península, y al revés en invierno, con vientos del NO. Los resultados de modelos baroclínicos están de acuerdo con este esquema, pero parece ser que el forzamiento estacional por la boca del golfo es más importante que el viento. La única comprobación directa de este esquema fue obtenida recientemente con trazadores lagrangeanos en la parte norte del golfo. **MESOESCALA, GIROS Y CHORROS:** La presencia en el golfo de giros, chorros (o filamentos) y otras estructuras de mesoescala fue detectada primero en imágenes de satélite. Sólo hay uno o dos estudios de estas estructuras, y casi no hay nada publicado. Los giros del tamaño del ancho del golfo fueron observados directamente en la boca del golfo a principios de los 70s, y fueron detectados otra vez con geostrofia en los 80s y al principio de los 90s. Actualmente todos sabemos que los giros están allí, esperando que alguien los estudie como se merecen. **ONDAS INTERNAS:** Este es otro tema que ha sido muy poco estudiado: Ondas atrapadas a la costa: Estas ondas se descubrieron, inesperadamente, frente a Guaymas durante los 80s. Se las describió y se han hecho modelos de su generación por tormentas, pero no ha habido más observaciones directas. Solitones internos: Estas ondas internas son generadas por las corrientes de marea al pasar sobre los umbrales del Canal de Ballenas y las Islas San Lorenzo y San Esteban. A pesar de ser muy interesantes, y de haber datos disponibles se les ha estudiado poco. Sus principales rasgos fueron descritos primero con imágenes de SAR y posteriormente con datos de CTD y ADCP. Mareas Internas: Todas las condiciones para su existencia en el golfo parecen estar presentes. Se les menciona frecuentemente en la literatura, pero nadie ha probado su existencia. **EL NIÑO:** Este fenómeno tiene importantes efectos sobre las aguas del golfo, y los rasgos generales de dichos efectos han sido descritos como una invasión de agua ecuatorial que

puede llegar hasta la zona de las islas. Las anomalías sobre la meteorología y sobre la formación del agua del golfo en la parte norte no han podido ser clarificadas: aparentemente los efectos son diferentes en cada evento El Niño, pero no hay datos de suficientes eventos para detectar algún patrón. **EL ALTO GOLFO:** Uno de los pocos antiesteros de buen tamaño que hay en el mundo, una reserva de la biósfera con especies en peligro de extinción, y ha permanecido olvidado por los oceanógrafos desde hace 20 años. Pero esta situación también está cambiando; en años recientes se han hecho esfuerzos observacionales y de modelación, y hay planes para el futuro. **LA BOCA:** Esta zona también ha estado algo olvidada por los oceanógrafos desde hace un par de décadas, pero desde hace unos 4 años se han estado realizando programas observacionales muy interesantes. **EL ARCHIPIÉLAGO:** Esta zona sí ha sido muy visitada, pues suceden allí fenómenos muy interesantes, como frentes, solitones, intercambio de aguas, etc. El Canal de Ballenas fue objeto de un minucioso estudio que demostró que allí sólo se encuentran las masas de agua AGC y ASsSt, y que sí es afectada por eventos El Niño.

MODELACIÓN DE CORRIENTES RESIDUALES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES TAMAÑOS DE MALLA

Gerardo García Silva y S.G. Marinone

Depto. de Oceanografía Física, CICESE, Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

En este trabajo se estudia el efecto de la resolución horizontal en la modelación de las corrientes residuales producidas por la marea (M_2) en el Golfo de California. Se utiliza un modelo numérico, bidimensional, verticalmente integrado, que resuelve explícitamente las ecuaciones de momentum y continuidad por el método de diferencias finitas. Los tamaños de malla usados (11 en total) van desde 14 x 14 hasta 2 x 2 km. Los resultados muestran que la modelación de la marea y de las corrientes residuales fue consistente con los diferentes tamaños de malla. En la parte norte del golfo se obtuvo un patrón de circulación residual bien definido, alineado a las isóbatas, mientras que en el archipiélago, la presencia de un giro anticiclónico bien formado fue evidente al noroeste de la isla Tiburón. En el resto del golfo, no se encontró un patrón de circulación residual apreciable. Las velocidades máximas de las corrientes residuales para todas las batimetrías se obtuvieron en el archipiélago, con velocidades de hasta 18 cm/s; en cambio, las magnitudes de la velocidad en la parte norte del golfo fueron para todas las mallas, del orden de 1 cm/s. Finalmente, la malla de 3 x 3 km es suficiente para obtener una buena resolución del campo de velocidad residual en la parte norte del golfo.

GEOQUÍMICA Y PROCESOS SEDIMENTARIOS

BIOGEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS TRAZA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA: LA NECESIDAD DE LOS ESTUDIOS MODERNOS Y DE LA COOPERACIÓN CIENTÍFICA

Evgueny Shumilin, Diana Escobedo Urias

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN),
Playa El Conchalito, A.P. 592, La Paz, Baja California Sur, 23000,
México.

El Golfo de California es un ambiente marino muy atractivo e interesante para los estudios de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y sus perturbaciones en el enfoque del proyecto Interacción Tierra-Océano en la Zona Costera (LOICZ) del Programa Internacional Geósfera- Biósfera. Tiene muchos rasgos especiales tales como la actividad hidrotermal en la cuenca de Guaymas, la existencia de muchas fallas y fracturas tectónicas activas, el clima árido en mayor parte de las cuencas de drenaje terrestre, una diferencia grande entre las costas este y oeste en el tamaño del aporte terrestre y en la composición de las rocas, los cambios ambientales en el alto Golfo debidos al impacto antropogénico sobre el Río Colorado y su delta; las surgencias de las aguas y otras fenómenos hidrológicos relacionados con los eventos "El Niño" en una parte adyacente del Océano Pacífico, alta productividad biológica y biosedimentación en gran parte del Golfo y sus bahías. Debido a la falta general de estudios geoquímicos marinos en México este aspecto importante no ha sido estudiado en extenso ni sistemáticamente. Para desarrollar el conocimiento relacionado con el tema, el CICIMAR ha iniciado recientemente los estudios del destino de los elementos traza en la zona costera de Baja California Sur con atención especial a las bahías semicerradas de la parte suroeste del Golfo de California. Los datos ya obtenidos mediante la aplicación del método de análisis con la activación neutrónica permiten tener una idea preliminar de los niveles de contenido y de las distribuciones espaciales de elementos K, Rb, Cs, Ca, Sr, Ba, Fe, Cr, Co, Sc, La y otros del grupo de las tierras raras, Sb, As, Zr, Hf, Th y U en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción, Laguna de La Paz, así como de las distribuciones verticales de estos elementos en algunos núcleos de los sedimentos obtenidos en las cercanías de los abanico-deltas de Santa Rosalía, Loreto, El Coyote y San Juan de La Costa. Las concentraciones de los elementos traza, Cr, As y Sb, los elementos ligeros del grupo de las tierras raras, asociadas a las descargas antropogénicas son típicos de los sedimentos marinos de las áreas vírgenes. La existencia de anomalías geoquímicas refleja el carácter heterogéneo de la composición litológica y mineralógica de los sedimentos y está relacionada con la diferente contribución de los materiales terrígenos y biogénicos. Por ejemplo, los sedimentos superficiales del área adyacente a la playa Santispac en Bahía Concepción están enriquecidos en Ca, Sr y U y empobrecidos

en Cr, Co, Sb, La, Ce, Eu, Zr, Hf y Th debido a la prevalencia de los carbonatos biogénicos, hasta 98 % de CaCO_3 . Al contrario, el área de Bahía Concepción adyacente a la costa oriental está caracterizada por el enriquecimiento relativo de los sedimentos superficiales en Co, Se y As, y otros elementos usualmente incluidos en la composición de los minerales pesados, abundantes en la costa caracterizada por las rocas volcánicas y metamórficas. El enriquecimiento de algunas muestras de los sedimentos en Fe, hasta 24 % y en As (25.1 ppm, 46.8 ppm) puede ser causada por el aporte de los fragmentos de las rocas relacionados con la mineralización antigua de Fe-oxihidróxidos y fosforitas en la cuenca de drenaje terrestre. Las peculiaridades del proceso de acumulación de los elementos traza en los sedimentos de las zonas del Golfo de California adyacentes a los abanico-deltas dependen considerablemente de las características del área de drenaje terrestre y del ambiente marino. Anomalías positivas del contenido de Eu en relación a otros elementos del grupo de tierras raras muestran la posibilidad de la influencia de las fuentes hidrotermales de la cuenca de Guaymas sobre la composición del material sedimentario en las cercanías de Santa Rosalía y Loreto. Variaciones considerables de las distribuciones verticales de los contenidos de los elementos traza en los sedimentos laminados de los núcleos, obtenidos al frente de El Coyote y San Juan de La Costa, así como la existencia de unos mínimos del contenido de Eu en los sedimentos, normalizado con la lutita, pueden ser causados por aportes episódicos en avalancha del material terrígeno empobrecido en Eu durante actividad hidrotermal antigua o cambios periódicos de las condiciones de la depositación del material sedimentario biogénico en Bahía de La Paz. El extender los estudios biogeoquímicos a otras partes del Golfo de California, especialmente a las áreas adyacentes al delta del Río Colorado, a los estuarios de los ríos y las bahías de la costa oriental debido a que son fuertemente impactados antropogénicamente por la aplicación de grandes cantidades de agroquímicos en su extensa zona agrícola (Topolopampo etc), así como a la cuenca de Guaymas conocida por sus fuentes hidrotermales es necesaria y exige la cooperación urgente de los especialistas relacionados.

PROCEDENCIA Y DISPERSIÓN DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES EN EL DELTA DEL RÍO COLORADO Y PLATAFORMA ADYACENTE DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

José D. Carriquiry B. y Alberto Sánchez G.

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, Km. 103
Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México.

Con la finalidad de determinar los patrones de dispersión de los sedimentos de fondo en la región N del Alto Golfo de California (AGC), y sus potenciales fuentes de abastecimiento, se llevaron a cabo estudios texturales y mineralógicos de la fracción arenosa de 68 muestras colectadas en distintos ambientes sedimentarios coexistentes en esta región (rio, estuario, océano, playas, planicies deltaicas y desierto). Los

resultados obtenidos de las tendencias espaciales de las propiedades texturales, asociadas al patrón de transporte neto y dispersión de los sedimentos, indican que existe un transporte neto de sedimentos frente a la zona oceánica adyacente a la estructura deltaica, en dirección NE-SW. Otro aspecto relevante es el transporte litoral presente frente a las costas de Sonora y Baja California. El transporte neto de sedimentos a lo largo de la costa de Sonora es en dirección SE-NW, introduciendo material del océano hacia el interior del estuario a través del canal de Sonora. En contraposición, el transporte neto y la dispersión a lo largo de la costa de Baja California es en dirección N-S. El patrón de transporte neto y la dispersión de los sedimentos en ambas regiones, canales y oceano, presentan una dirección contraria a las manecillas del reloj; este patrón está en plena concordancia con estudios anteriores sobre la circulación y el balance de materiales en el sistema. Los estudios mineralógicos indican que los sedimentos de esta zona presentan dos fuentes principales de abastecimiento, definiendo con ello, dos provincias, la de Sonora y la de Baja California, caracterizadas por asociaciones de Granate-Zircon (Gr-Zr) y Hornblenda-Epidota-Piroxeno (Hb-Ep-Px), respectivamente. En particular, la asociación Hb-Ep-Px refleja la dominancia de los aportes históricos del río Colorado e indicando, con ello, que los sedimentos de la estructura deltaica están siendo sujetos a intensos procesos de retrabajamiento y erosión/resuspensión, una vez que la fuente principal, río Colorado, no abastece sedimentos a la región. En cambio, la asociación de Gr-Zr refleja los aportes locales de los depósitos arenosos de la Mesa y Gran Desierto de Sonora. Apartir del análisis factorial se definieron los end-members, que dan origen a cada provincia: Mesa y Gran Desierto de Sonora, a la provincia de Sonora, y río Colorado, a la provincia de Baja California.

RECONOCIMIENTO SUPERFICIAL DE UNIDADES GEOMORFICAS EN EL DELTA DEL RIO COLORADO (APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS, LANDSAT MSS)

Jorge Torres Rodríguez¹ y José D. Carriquiry²

¹ Grupo de Ciencias de la Computación, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B. C. México.

² Depto. de Geología y Geoquímica, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, Km. 103, Carret. Tijuana-Ensenada Ensenada, Baja California, México

No obstante la existencia de técnicas para discriminar tipos de cubierta en el terreno utilizando imágenes Landsat MSS, las planicies deltaicas son casos problemáticos en términos de calibración debido a su naturaleza intrincada, amplia cobertura espacial y el alto dinamismo de los procesos que las gobiernan. En este trabajo se plantea como una alternativa a este problema la aplicación de técnicas de detección de cambio, basándose en el análisis multitemporal de componentes principales y en la aplicación de métodos para la clasificación de imágenes multispectrales. La metodología consistió en utilizar un par de imágenes Landsat tomadas en diferentes fechas, esto con el fin de detectar los límites y cobertura de las unidades geomórficas en base a los cambios de reflectividad en la superficie del terreno.

El análisis de la región deltaica inferior del Río Colorado permitió la identificación de las principales unidades que componen al sistema. A partir de los resultados se generó un nuevo modelo de la distribución espacial de unidades geomórficas que incorporó a la mayoría de las unidades descritas en modelos anteriores y mejoró sustancialmente el nivel de entendimiento de la morfología regional, especialmente en la zona de planicies costeras. Por otra parte, el trabajo es una muestra de la utilidad de los sensores remotos en estudios geomorfológicos a nivel regional, así como de su viabilidad en aplicaciones a problemas que requieren del monitoreo periódico en zonas de amplia cobertura espacial y con ambientes de difícil acceso.

ORÍGEN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS SEDIMENTOS DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA: ÁCIDOS GRASOS COMO BIOMARCADORES

Víctor F. Camacho Ibar y Juan A. Chávez Vargas
División de Geoquímica Ambiental, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, A.P. 453, Ensenada, Baja California, 22830, México.

Durante el presente siglo las descargas del Río Colorado hacia el Golfo de California han sido drásticamente disminuídas. El consumo creciente de agua para la agricultura y uso doméstico en los Estados Unidos, ha causado una disminución en la descarga media anual de agua dulce de $\sim 21 \times 10^9$ m³ en el periodo 1910-1920 a 0.85×10^9 m³ en el periodo 1960-1970 (Baba et al., 1991). Como consecuencia, el aporte de sedimentos, carbono orgánico y materiales disueltos del Río Colorado hacia el Alto Golfo de California (AGC) se han reducido también drásticamente. Van Andel (1964) reportó que para el periodo 1911-1935 la descarga media anual de sedimentos fue de 161×10^6 toneladas mientras que para el periodo 1935-1951 fue de 15×10^6 toneladas. La descarga de sedimentos del Río Colorado en el presente debe ser prácticamente nula. La poca agua que llega a territorio mexicano es destinada en su totalidad a la agricultura en el valle de Mexicali, y solamente existe un flujo importante de agua dulce hacia el AGC durante los años de lluvia excesiva. Lamentablemente, sabemos muy poco de los efectos que ha tenido el corte en el flujo del Río Colorado en los procesos biogeoquímicos del AGC. A pesar de que es evidente la transformación del Estuario del Río Colorado hacia un sistema hipersalino, el contenido de nutrientes y la producción primaria y secundaria se mantienen muy elevadas. Por otro lado, se sabe actualmente de la importancia de la zona costera en el ciclo global del carbono, e.g. el 80% del enterramiento del C en el ciclo global ocurre en esta franja, sin embargo, desconocemos el potencial papel que juega el carbono que se depositó en zonas como el Delta del Río Colorado y que seguramente está siendo reciclado por la erosión en el presente. Para empezar a estudiar sistemáticamente este problema, en 1995 dimos inicio al proyecto "Efecto de las descargas del Río Colorado en la geoquímica de sedimentos recientes en el Alto Golfo de California". Entre los objetivos de este proyecto se

encuentran: (1) determinar las fuentes principales del material orgánico presente en los sedimentos superficiales del AGC y (2) en base al análisis de n=FAcleos sedimentarios, determinar los cambios en el abasto de material orgánico terrígeno, debido a la disminución del flujo de las aguas del Río Colorado hacia el AGC durante el presente siglo. Nuestra hipótesis central es que posiblemente la composición química de los sedimentos del AGC ha sido alterada por la disminución en los aportes del Río Colorado. Se sospecha que ocurrieron cambios composicionales en la materia orgánica sedimentaria de esta zona, debido a que la calidad de la materia orgánica aportada por el río (alóctona) debió ser diferente a la materia orgánica producida localmente por la producción autóctona (fitoplanctónica, bacteriana y zooplanctónica). El este estudio pretendemos estimar los cambios composicionales de la materia orgánica haciendo uso de herramientas químicas y geoquímicas. Los lípidos sedimentarios, e.g. los ácidos grasos y los esteroides, se utilizan para diferenciar entre el material orgánico alóctono derivado de plantas vasculares terrestres y el material autóctono producido por fitoplancton o bacterias, así como fuentes no biogénicas como el intemperismo de sedimentos antiguos o aportes directos de combustibles fósiles (Wakeham et al., 1991). Por ejemplo, los ácidos grasos saturados, monocarboxílicos y de cadena larga (24-30 átomos de carbono) generalmente se atribuyen a plantas vasculares terrestres, mientras que los ácidos 15:0 iso- y anteiso-, anteiso-17:0, 17:0 y 18:1w7 se atribuyen a bacterias (Wakeham y Beier, 1991). La abundancia de ácidos grasos polienicos con 18 carbonos se asocia a grupos fitoplanctónicos de prymnesiofitas o dinoflagelados, los 20:5 y 22:6 a dinoflagelados y los 16:1 y 20:5 a diatomeas. Los 4-metil-esteroides, incluyendo el dinosterol, han sido usados como indicadores de aportes de material orgánico por dinoflagelados (ver Jasper y Gagosian, 1993, y referencias). Los ácidos grasos y los esteroides también han sido utilizados como indicadores de efectos antropogénicos, en particular, para indicar zonas de influencia de descargas residuales domésticas (e.g. Quemeneur y Marty, 1992). A la fecha contamos con resultados preliminares sobre la distribución de ácidos grasos en 40 muestras de sedimentos superficiales del AGC, cubriendo desde la zona somera del Delta del Colorado hasta las Grandes Islas. Estos sedimentos se colectaron durante 2 cruceros en agosto de 1995, y los análisis geoquímicos se realizaron en el periodo junio-agosto de 1996 tras varios meses de estandarización del método. Durante este Coloquio presentaremos la discusión preliminar de los datos hasta ahora generados y los objetivos del proyecto a mediano plazo.

GEOQUÍMICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y ÁREAS ADYACENTES: AVANCES Y PERSPECTIVAS (PROYECTO INSTITUCIONAL UNAM)

Federico Páez Osuna

Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera, Estación Mazatlán, Instituto de Ciencias de Mar y Limnología, UNAM.

Desde el punto de vista geoquímico el Golfo de California ha despertado un gran interés debido a que en él se presentan una gran variedad de procesos sedimentológicos, tectónicos, redox y de productividad masiva peculiares. Bajo tal contexto surge en 1985 el proyecto institucional denominado "Geoquímica de los sedimentos del Golfo de California" cuyo inicio se marcó con la realización de la campaña oceanográfica Bermejo-1 y la idea de culminar dos tesis doctorales sobre la geoquímica de los metales pesados en los sedimentos y la química de las aguas intersticiales; por esos mismos años se aprovecharon las oportunidades de muestrear en tres campañas más el PALEO-1, PALEO-2 y CORTES-2. Luego con la campaña oceanográfica de 1989 denominada BANDERAS-1 realizada en áreas adyacentes a la boca del Golfo de California se modificó el título del proyecto por el de la presente plática. En esta última campaña se trabajó también la química de las aguas intersticiales. En los últimos seis años, el proyecto ha tomado un giro hacia el estudio de algunas áreas adyacentes del Golfo de California y particularmente el personal involucrado ha sido como sigue: Quím. Humberto Bójorquez Leyva del ICML, UNAM, M. en C. Yovani Montaña Ley del ICML, UNAM y Dr. Federico Páez Osuna del ICML, UNAM, Responsable del proyecto. Asociados al proyecto han habido 5 tesis de maestría y 5 de doctorado, de las cuales hasta la fecha solamente han terminado 4. A partir de las actividades del proyecto se han logrado estructurar 18 publicaciones científicas y 4 artículos de divulgación. Además de procesar una diversidad de información obtenida a partir de los cruceros realizados, las perspectivas a futuro son la de continuar trabajando en las áreas adyacentes al Golfo de California, particularmente en las lagunas costeras de la región continental, sobre el comportamiento del fósforo en los sedimentos y los procesos de mezcla estuarina, evaluar la dinámica de los nutrientes, establecer además de la concentración de algunos metales pesados, incluido mercurio, su asociación con las fracciones geoquímicas. Otro aspecto que se pretende a mediano plazo abordar es el de la mineralogía de los sedimentos lagunares, sobre todo la identificación y semicuantificación de arcillas como herramienta para entender procesos lagunares.

**PROCEDENCIA Y DISPERSIÓN DE LOS SEDIMENTOS
RECIENTES EN EL DELTA DEL RIO COLORADO Y
PLATAFORMA ADYACENTE DEL ALTO GOLFO DE
CALIFORNIA**

Hector Bustos-Serrano¹, Armando Trasviña-Castro² y Robert
Lee Petty³

¹ Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Km. 103, Carret. Tijuana-
Ensenada, Ensenada, B.C., 22830, México.

² CICESE, Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C.,
22830, México.

³ Instituto de Ciencias Marinas, Universidad de California-Santa
Barbara, Santa Barbara, CA, 93106, EUA.

Se colectó agua de mar en la superficie, 2 m, la termoclina, 95 m, y el fondo, 1000 m, en enero de 1994, cubriendo tres transectos en la boca del Golfo de California. El primero de Cabo San Lucas a Isla Socorro (Revillagigedo), el segundo de Isla Socorro a Bahía de Banderas (Puerto Vallarta) y el tercero de Puerto Vallarta a Cabo San Lucas. Se cubrió una distancia aproximada de 1500 km en aguas principalmente oligotróficas. Se analizaron con la técnica de flujo continuo (FIA) los siguientes nutrientes: nitratos, NO_3 , nitritos, NO_2 , amonio, NH_4 y fosfatos PO_4 .

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO Y MINERALÓGICO EN
EL SISTEMA FLUVIO-LAGUNAR RÍO CULIACÁN-BAHÍA
DE ALTATA-ENSENADA EL PABELLÓN, SINALOA,
MÉXICO**

María de Jesús Green Ruiz

Laboratorio de Geología Marina, Instituto de Ciencias del Mar y
Limnología, UNAM, Estación Mazatlán.

Las características geoquímicas de los sedimentos son indicadores sensibles de la naturaleza de las áreas de origen de los materiales y pueden ser entonces utilizadas en los estudios de origen-transferencia-distribución de los materiales. La Bahía de Altata y Ensenada El Pabellón, situadas en la parte norte de las costas de Sinaloa, han sido desde hace muchos años asiento de importantes pesquerías de camarón y de ostión. Este sistema lagunar está asociado a la desembocadura del Río Culiacán y conectado a una cuenca de drenaje agrícola importante. Los estudios con carácter geológico realizados en esta zona son pocos y se han estudiado algunas características geoquímicas de los sedimentos dentro de programas de contaminación. Sin embargo, no se han determinado los mecanismos de transferencia de los materiales que provienen o pueden provenir de una fuente tan importante como el Río Culiacán. Este trabajo tiene como objetivos: el efectuar a partir del análisis de muestras de sedimento superficial un estudio sedimentológico general con vistas a determinar los caracteres de la sedimentación reciente en un ambiente lagunar y los factores que intervienen en esta sedimentación, el determinar el origen de los sedimentos (fuentes continentales próximas u orígenes lejanos). Y el estudiar la transferencia de los materiales y su evolución espacial.

IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS DEL INTERIOR DE LA TIERRA: PARTE II

Enrique Gómez Treviño
CICESE, Ensenada, Baja California, México

Parte I: (Geos, Vol. 16, No. 3, 152-154)

Parte II.

Esta segunda parte está dedicada a explicar los fenómenos naturales así como los medios artificiales que permiten que fluya corriente eléctrica en el interior de la Tierra. Como vimos en el número anterior, nos interesa poder estimar la conductividad eléctrica de los diferentes materiales del subsuelo. Debido a que esta propiedad se define en términos de la capacidad que tiene un material dado para conducir la corriente eléctrica, es imprescindible que nos planteemos el problema de cómo hacer para que fluya corriente eléctrica a grandes profundidades.

3. ILUMINANDO EL SUBSUELO

En la primera parte de este trabajo establecimos un paralelo entre el fenómeno de la visión y la utilización de métodos electromagnéticos para obtener imágenes del subsuelo. Aunque la analogía entre ambos procesos no es completa, la seguiremos utilizando pues es más rica de lo que hasta ahora se ha mencionado. Consideremos con más detalle el caso de la visión: para poder ver un objeto es necesario que exista una fuente de luz; el Sol es una fuente natural y las linternas de mano son fuentes artificiales. De la misma manera, para obtener imágenes del subsuelo se pueden utilizar fuentes naturales o artificiales. En el caso de la visión, el objeto iluminado refleja o dispersa la luz de la fuente de acuerdo con sus características particulares, en el caso de los métodos geofísicos que nos ocupan, es necesario inducir corriente eléctrica en el subsuelo y la distribución de la corriente en el interior de la Tierra dependerá de su composición y estructura. En ambos casos se requiere iluminar la región de interés con el fin identificarla, lo que dependerá de la respuesta a la iluminación. En el primer caso, la respuesta se percibe a través de los ojos, mientras que en el segundo, mediante dispositivos diseñados para tal efecto. En un número posterior trataremos la parte de la percepción o medición de la respuesta de la Tierra a la iluminación. En el presente número consideraremos solamente la parte correspondiente a la iluminación y describiremos el uso de fuentes naturales y artificiales.

3.1 FUENTES NATURALES

Todos sabemos que es el Sol la fuente natural de luz más importante para nuestra visión. Desafortunadamente, las radiaciones electromagnéticas que conforman la luz no penetran en la Tierra mas allá de unos pocos milímetros, por lo que no se ajustan a nuestros propósitos. La longitud de onda de estas radiaciones es tan pequeña que ni siquiera llega a alcanzar un

milímetro. La historia es similar para el caso de las ondas de calor que nos llegan del Sol, las cuales también son radiaciones electromagnéticas. Para investigar el interior de la Tierra necesitamos radiaciones cuya longitud de onda varíe desde alrededor de un metro hasta cientos de kilómetros. Desafortunadamente, el Sol no emite radiaciones importantes en estas longitudes de onda. Sin embargo, por una coincidencia bastante fortuita, resulta que es al Sol, a nuestro viejo amigo el Sol, a quien debemos la fuente natural más importante para iluminar el interior de la Tierra. Ésto se debe a una serie de fenómenos cuya combinación produce las radiaciones que necesitamos. El Sol emite partículas cargadas como protones y electrones que, aunque raras veces llegan a la superficie de la Tierra, son capaces de generar ondas electromagnéticas al quedar atrapadas a gran altura sobre ésta. El campo magnético terrestre captura a estas partículas y las mueve de tal forma que se producen corrientes eléctricas fluctuantes en las altas capas de la atmósfera. Estas corrientes actúan como antenas transmisoras de ondas electromagnéticas que penetran en el subsuelo hasta grandes profundidades. Los geofísicos captan en la superficie los efectos de estas corrientes y, después de procesar e interpretar sus mediciones, obtienen imágenes de las profundidades. En un número posterior veremos la naturaleza de estos efectos y como se miden, así como lo que hay que considerar para convertir las mediciones en imágenes.

El método electromagnético más conocido que utiliza fuentes naturales es el magnetotelégrafo. Siguiendo con nuestra analogía con el fenómeno de la visión, el uso del método magnetotelégrafo corresponde a ver a plena luz del día. Los métodos que utilizan fuentes artificiales, según veremos más adelante, corresponden a ver de noche con la ayuda de bombillas eléctricas o linternas de mano. Lo anterior no significa que es preferible ver de día que de noche. Todo depende de que es lo que se quiere ver. Hay cosas que se ven mejor de noche con iluminación especial, así también, de noche podemos iluminar sólo lo que quiere ver, y eliminar efectos perturbadores de objetos sin interés. Así sucede con los métodos electromagnéticos, en algunos casos funcionan unos mejor que otros. En el caso del método magnetotelégrafo, su principal ventaja es que no es necesario producir artificialmente corrientes en el subsuelo, ya que se basa en la existencia de corrientes que circulan naturalmente por toda la Tierra. Estas corrientes se producen por las mencionadas radiaciones que provienen de las altas capas de la atmósfera; contribuyen también los rayos o descargas eléctricas entre las nubes y la superficie terrestre.

Según lo anterior, la naturaleza hace circular en el interior de la Tierra corrientes eléctricas que pueden utilizarse para obtener imágenes del subsuelo. La profundidad de penetración

está controlada exclusivamente por el periodo de alternancia de las corrientes. Junto con la circulación de corriente alterna en la tierra ocurre un fenómeno disipativo que limita la profundidad de penetración. El efecto es tal que la profundidad de penetración aumenta al aumentar el periodo de oscilación de la corriente. Esta propiedad se aprovecha para controlar en el proceso de interpretación de la profundidad de penetración de las mediciones. Normalmente se realizan mediciones a periodos que van desde una centésima de segundo hasta centenares de segundos. Sin embargo, si se quiere obtener información a centenares de kilómetros de profundidad, se requieren mediciones con periodos de muchos días. A la fecha, el método magnetotélúrico es el único que permite obtener información sobre la conductividad de la tierra más allá de los mil kilómetros de profundidad.

3.2 FUENTE ARTIFICIALES

Por diversas razones, en muchos casos resulta mas conveniente iluminar solamente la región de interés, sobretodo para evitar los efectos perturbadores de áreas circunvecinas o de regiones que, aunque alejadas de los puntos de interés, por su tamaño o propiedades eléctricas producen efectos indeseables en las mediciones. En estos casos se recurre al uso de fuentes artificiales para inducir corrientes en el subsuelo. Generalmente se explota el principio de inducción electromagnética descubierto por Faraday a mediados del siglo XIX. Este principio se puede ilustrar considerando lo que comúnmente se conoce como métodos electromagnéticos en el dominio del tiempo. Si un cable conductor como el de las conexiones domésticas se conecta a una pila, se establece una corriente continua que genera un campo magnético estático a su alrededor. Ésto se puede comprobar fácilmente con el uso de una brújula pues el campo magnético se extiende tanto en el aire como en la Tierra. El circuito no induce corrientes eléctricas en conductores vecinos mientras la pila se mantenga conectada. Ésto lo comprobó Faraday muy a su pesar, pues esperaba que tal fenómeno existiese. Esto es, que un campo magnético estático produjera un campo eléctrico. Lo que finalmente descubrió fue que era necesario desconectar la pila para que se produjeran corrientes en conductores vecinos. Después de desconectada la pila todo volvía a la normalidad: las corrientes inducidas también desaparecían. Dicho de otra forma, resultaba posible inducir corrientes en conductores vecinos a través del aire o del vacío, pero solamente a condición de variar la corriente en el circuito emisor. En el ejemplo citado la variación en el tiempo se da en el momento de desconectar la pila. Sin embargo, el mismo fenómeno se puede producir haciendo que por la espira circule corriente alterna, ya que también ocurre que su campo magnético varía en el tiempo. Los métodos que utilizan corriente alterna se conocen como métodos electromagnéticos en el dominio de las frecuencias. En general, ya sea en el dominio del tiempo o en el de las frecuencias, la corriente eléctrica que circula en el subsuelo evita las zonas de baja conductividad y tiende a concentrarse en las altamente conductoras. En la práctica se suelen utilizar espiras de entre un metro y un kilómetro de diámetro, dependiendo del tipo de aplicación. En los métodos

aéreos, por ejemplo, las espiras por lo regular son pequeñas y están formadas por un gran número de vueltas para aumentar su área efectiva.

Como en el caso de las fuentes naturales, la circulación de corriente alterna en la Tierra trae aparejado un fenómeno disipativo que limita la profundidad de penetración. El efecto es tal que la profundidad de penetración aumenta al aumentar el periodo de oscilación de la corriente. En el presente caso también se aprovecha esta propiedad para controlar la profundidad de penetración. La situación ahora es un tanto más complicada, pues la profundidad de penetración depende también de la separación entre la espira que produce el campo magnético y el dispositivo de medición. En los métodos del dominio del tiempo, el lapso transcurrido desde que se desconecta la corriente en la espira juega el papel del periodo. Ésto significa que a medida que transcurre el tiempo la corriente en la Tierra alcanza mayores profundidades. Típicamente, las mediciones se realizan desde tiempos tan cortos como una milésima de segundo hasta uno o varios segundos. En el dominio de las frecuencias normalmente se seleccionan periodos dentro de este mismo margen.

Pasemos ahora a lo que sin duda es la manera mas sencilla de hacer que circule corriente en la Tierra. El método consiste en utilizar una pila eléctrica y conectar sus polos a varillas metálicas clavadas en el suelo. La corriente se dirigirá del polo positivo de la pila a través del cable de conexión, hacia la varilla correspondiente. De la varilla pasará a la Tierra, dispersándose en todas las direcciones, menos hacia arriba, pues el aire es un aislante. En su camino hacia el polo negativo, la corriente encontrará rocas con diferente conductividad eléctrica. Tratará de evitar aquellas que tengan valores pequeños de conductividad y tenderá a concentrarse en las altamente conductoras. Este procedimiento es uno de los más utilizados actualmente, además de ser el más antiguo y sencillo. En la práctica se utilizan separaciones múltiples entre varillas que van desde unos pocos metros hasta centenares de kilómetros en algunos casos, aunque normalmente la máxima separación no es mayor a uno o dos kilómetros. La separación máxima se determina con base en la profundidad que se desea alcanzar, lográndose mayor profundidad de penetración aumentando la separación entre los puntos de inyección. También, dependiendo de la separación y de la conductividad eléctrica del terreno, se llegan a inyectar a la Tierra desde unos cuantos miliAmperios hasta decenas de Amperios, con voltajes máximos entre las varillas de corriente de hasta 3,000 voltios. En muchos equipos comerciales se sustituye la corriente continua por corriente alterna de baja frecuencia. Generalmente las mediciones resultan idénticas a las de corriente continua, ya que el fenómeno de inducción electromagnética es muy débil en la mayor parte de los casos. Sin embargo, es importante tomar precauciones al respecto, sobre todo en terrenos muy conductores y cuando se utilizan separaciones muy grandes.

Este procedimiento para obtener información sobre las propiedades eléctricas del subsuelo surgió a principios de siglo en Francia, como una solución a una necesidad eminentemente

práctica relacionada con la búsqueda de minerales metálicos. Una vez planteado el problema y concebida la idea de su solución, bastaron unos cuantos cálculos y algunas pruebas de campo, junto con mediciones a escala en el laboratorio, para que Conrado Schulumberger, el inventor del procedimiento, inaugurara una serie de desarrollos y problemas relacionados con la elaboración de imágenes eléctricas del subsuelo. A pesar del tiempo transcurrido, quedan algunas cuestiones importantes por resolver, sobre todo las relacionadas con los aspectos matemáticos de la formación de imágenes en medios tridimensionales. Algo se ha logrado en los últimos años pero falta mucho por hacer.

En el presente número hemos considerado el problema de cómo hacer para que circule corriente eléctrica en el subsuelo.

Resulta relativamente fácil medir la conductividad eléctrica de una muestra de roca en el laboratorio; aunque hay que tomar muchas precauciones para hacerlo correctamente, hay que tomar en cuenta que se trabaja directamente con la muestra, por lo que hacerle pasar una corriente no representa mayor dificultad, o por lo menos el tipo de dificultad es diferente al caso de las rocas que se encuentran a grandes profundidades. Éste es precisamente el caso que nos ocupa. Nuestro problema consiste en obtener imágenes del subsuelo mediante la medición a distancia de la distribución de conductividad eléctrica. Resulta pues imprescindible que seamos capaces, desde la superficie de la Tierra, de hacer que circule corriente eléctrica a grandes profundidades y después resolver el problema de cómo captar en la superficie misma los efectos de tales corrientes. Ésto lo veremos en el próximo número.

SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO

GRUPO RESNOM

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

Apdo. Postal 2732, Ensenada, Baja California, México.

E-mail resnor@cicese.mx

Este Boletín de Información Sísmica tiene como objetivo difundir las localizaciones de los sismos registrados por la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), en la región norte de Baja California y áreas adyacentes con magnitudes $M \geq 3.5$ en el periodo comprendido de Enero a Marzo de 1997.

La localización de los temblores se realiza con el programa HYPO71 (Lee y Lahr, 1995), en combinación con los modelos de corteza propuestos por Reyes (1979) para el Valle de Mexicali y por Nava y Brune (1982) para el Macizo Roco en Baja California Norte. La profundidad de los eventos (PROF) se reporta en kilómetros y cuando la fija el operador se indica con un asterisco. El error cuadrático medio (RMS) lo calcula el programa HYPO71 con los residuales de los tiempos de viaje. En la tabla de coordenadas epicentrales también se indica el número de lecturas empleadas para la localización de los eventos. La magnitud MD se estima con la duración del registro usando las relaciones empíricas propuestas por González y García (1986).

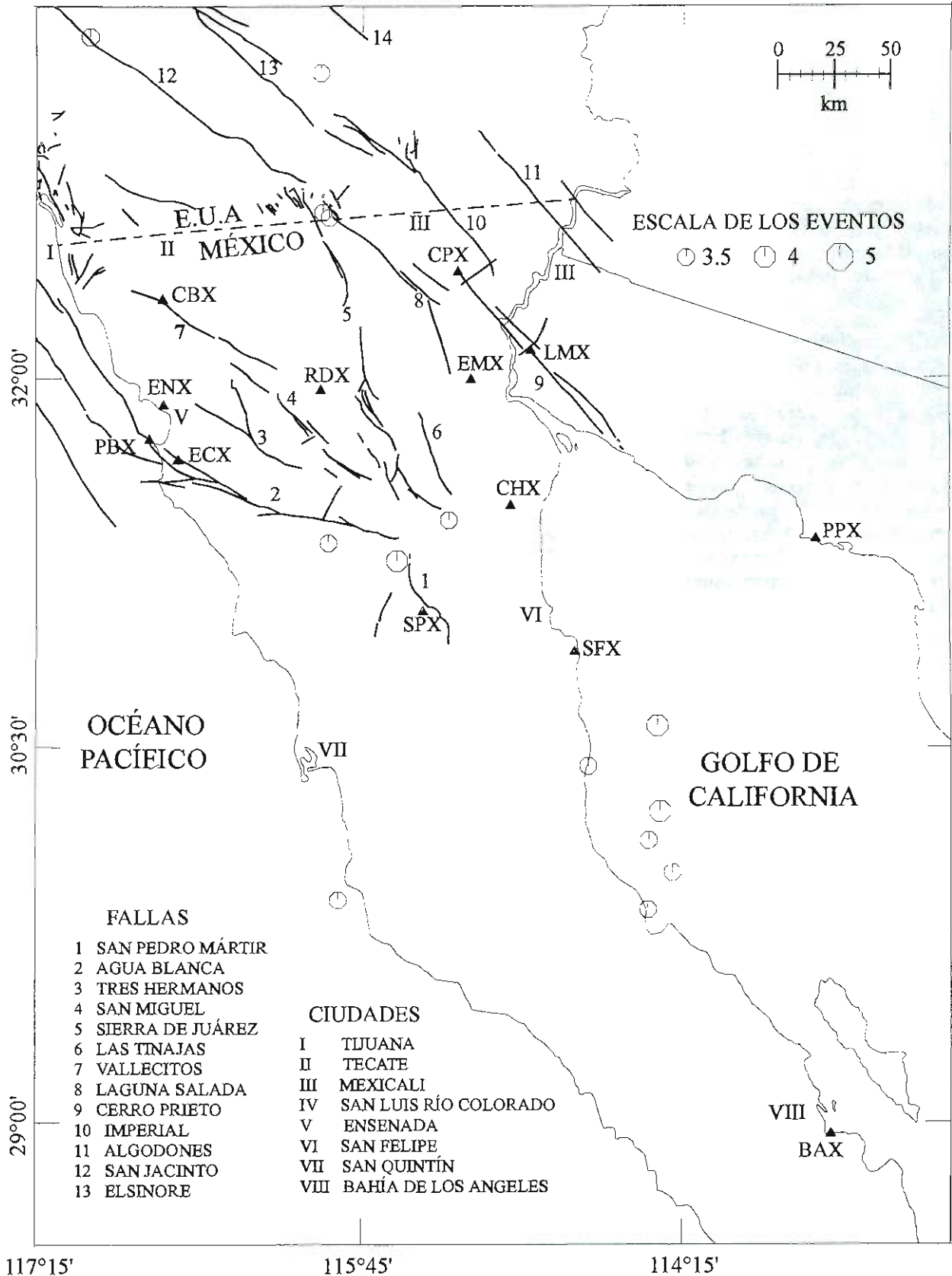
REFERENCIAS

- González-G., J. J. y García-A., R., 1986, Escala de magnitud-coda para estaciones sísmográficas en el norte de Baja California. Resumen extenso en Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana, p. 399-406.
- Lee, W. H., and Lahr, J. C., 1975, HYPO 71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U. S. Geological Survey, Open-file rept., 75-311.
- Nava, F. A. and Brune, J.N. 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, A., 1979, Estudio de microsismicidad del sistema de fallas transformadas Imperial-Cerro Prieto, Informe Técnico GEO79-01, CICESE, 114 p.

DIA	TIEMPO			COORDENADAS		PROF.	M ₀	RMS	NO	REGIÓN
	HR	MN	SEG	LAT. N	LON. O					
ENERO 1997										
09	13	28	49.47	31 20.26	115 53.18	15.82	3.8	0.24	16	Localizado a 52 km al noroeste de SPX (sur de la Falla Agua Blanca).
13	11	29	38.51	33 23.19	116 59.63	8.00*	3.6	0.04	10	Localizado a 123 km al norte de CBX (Falla Elsinore, EUA.).
13	16	9	35.36	33 13.94	115 55.42	8.80	3.7	0.29	12	Localizado a 107 km al norte de CPX (entre las Fallas San Andrés y San Jacinto, E.U.A.).
14	23	55	32.36	31 15.62	115 34.06	15.69	4.1	0.15	19	Localizado a 26 km al norte de SPX (norte de la Falla San Pedro Mártir y Sentido en el Valle de la Trinidad).
28	5	54	0.19	31 25.46	115 18.94	13.37	306	0.23	18	Localizado a 26 km al oeste de CHX (sur de la falla Sierra Juárez).
FEBRERO 1997										
02	0	19	16.12	32 38.82	115 52.77	14.46	3.6	0.27	16	Localizado a 60 km al noroeste de CPX (norte de la Falla Laguna Salada, EUA.).
02	2	26	0.01	30 15.06	114 18.96	10.79	4.4	0.18	12	Localizado a 82 km al sur de SFX (frente a las costas del Golfo de California.).
05	7	54	23.72	29 51.43	114 22.12	7.40	3.6	0.04	6	Localizado a 178 km al sur de SFX (frente a las costas del Golfo de California.).
05	7	58	16.69	30 7.82	114 22.12	7.11	3.8	0.19	8	Localizado a 151 km al sur de SFX (frente a las costas del Golfo de California.).
05	8	15	33.55	30 0.19	114 15.28	8.00	3.7	0.33	12	Localizado a 159 km al sur de SFX (frente a las costas del Golfo de California.).
05	8	23	5.58	30 26.09	114 39.24	10.00*	3.6	0.14	8	Localizado a 102 km al sur de SFX (frente a las costas del Golfo de California.).
05	10	21	36.95	30 35.73	114 19.58	10.00*	4.0	0.19	8	Localizado a 105 km al sureste de SFX (frente a las costas del Golfo de California.).
07	6	59	48.70	33 30.18	116 32.94	12.00	3.8		26	Localizado al sur de California E.U.A.
12	3	5	1.43	32 39.76	115 54.47	15.50	3.5	0.25	16	Localizado a 63 km al noroeste de CPX (norte de la Falla Laguna Salada, E.U.A.).
23	3	43	31.70	33 45.30	115 59.40	5.00	3.9		31	Localizado al sur de California E.U.A.
MARZO 1997										
09	13	51	56.32	29 53.45	115 50.14	8.00	3.8	0.27	18	Localizado a 132 km al sur de SPX (Frente a las costas de B.C.).
18	15	24	47.40	34 57.42	116 48.98	10.00	5.4		89	Localizado al sur de California E.U.A.
18	16	19	24.40	34 56.46	116 58.44	10.00	3.7		32	Localizado al sur de California E.U.A.

GRUPO RESNOM: Cecilio J. Rebollar Bustamante, Luis Orozco León, Julia del Carmen Sánchez Rodríguez, Oscar Gálvez Valdez, Francisco J. Farfán Sánchez, Ignacio Méndez Figueroa, Luis Inzunza Romero, Ruth Eaton Montañó

SISMICIDAD ENE-MAR/97



DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1997

Una vez más hemos construido una base de datos de la Unión Geofísica Mexicana. Esta vez, además de contener los nombres, direcciones y años en los cuales una persona ha pagado su cuota, le hemos asignado al miembro un número de afiliación que permitirá efectuar búsquedas más eficientes acerca de su estatus. La base contiene información sobre los ingresos de la UGM, lo que permite llevar la contabilidad relacionada con cada uno de los miembros, de instituciones aportadoras de recursos y de otras personas que efectúan otros tipos de pagos (inscripciones a congresos, revistas, libros, etc.).

Con base en este directorio se efectuarán los envíos de los números de **GEOS** y parte de los de **GEOFÍSICA INTERNACIONAL** de manera que, en vista de que este directorio es nuevo, es probable que la captura de las direcciones contenga algunos errores. 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.

Por lo anterior, los invitamos a que verifiquen si sus datos están correctos y completos y, en caso de que exista algún error u omisión, nos lo hagan saber vía correo electrónico o a la dirección que aparece en esta revista.

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



Rolando Labacha

Miembro # 999

Reunión Anual 1997
Puerto Vallarta, México
3-7 de Noviembre

E-mail: ugm@cicese.mx
Internet: <http://www.ugm.org.mx>

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997

No.	Miembro	Nombre	Institución	División ó Instituto	Departamento ó Facultad	E-mail
1	678	Aceves Quesada Fernando	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
2	20	Aguirre Díaz Gerardo J	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	gjad@servidor.unam.mx
3	16	Alaniz Álvarez Susana A	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	alaniz@servidor.una.mx
4	19	Alatrste Vilchis David Rey	UNAM	Geofísica	Ingeniería	adavid@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
5	668	Alba V. Luis Manuel	UNAM	Geofísica		
6	4	Álvarez Borrego José	CICESE	Física Aplicada	Óptica	josea@cicese.mx
7	3	Álvarez Borrego Saúl	CICESE	Oceanología	Ecología	
9	676	Álvarez Manilla Alfonso				
8	267	Álvarez Sánchez Luis G.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	lalvarez@cicese.mx
10	8	Aragón Arreola Manuel de Jesús		Canteras El Taco	Geología	
11	18	Arellano Gómez Víctor Manuel	IIE	Geotermia		vag@axp2.iie.org.mx
12	287	Axen Gary	UCLA		Earth and Space Sciences	gaxen@ess.ucla.edu
13	296	Bandy William L.	UNAM	Geofísica		
14	28	Barajas Díaz Pablo	ITESO			
15	30	Baragan Reyes Rosa María	CPE	Geotermia		
16	26	Bermúdez Angulo María Luisa	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	maria@gea.iingen.unam.mx
17	37	Bohnel Harald	UNAM	Geofísica		
18	27	Bravo Cabrera José Luis	UNAM	Geofísica	O. de Radiación Solar	jibravo@tonatihu.igeofcu.unam.mx
19	32	Buendía Carrera Enrique	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
20	632	Bulgakov Sergey N	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	sbulgakov@udg.serv.uncar.udg.mx
21	325	Campos Enríquez Oscar	UNAM	Geofísica	Exploración	
22	581	Cañón Tapia Edgardo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ccanon@cicese.mx
23	52	Carbajal Noel	U UTRECHT			oceaan@pi.net
24	557	Carbonell Ramón	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	rcarbonell@ija.csic.es
25	321	Cárdenas Soto Martín	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	martin@hemes.iingen.unam.mx
26	331	Carrasco Núñez Gerardo	UNAM	Geología		gerardoc@servidor.unam.mx
27	330	Carreño Ana Luisa	UNAM	Geología		anacar@servidor.unam.mx
28	663	Castrejón Israel				
29	645	Castrejón Pineda Hector Ricardo	UNAM	Ciencias de la Tierra	Ingeniería	root@saabe.fi-a.unam.mx
30	47	Castro Escamilla Raúl	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	
31	45	Castro Goresa Renato	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
32	664	Charre Meza Adolfo Salomé	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	acharre@cicese.mx
33	624	Cifuentes Gerardo	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo y Exploración	gercifue@tonatihu.igeofcu.unam.mx
34	558	Córdoba Barba Diego	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
35	58	Corona Ruiz Martín	CPE	Campo Geotérmico Cerro Prieto		
36	566	Correa Mora Francisco	UNAM	Geofísica	Geoquímica y Exploración	pancho@tonatihu.igeofcu.unam.mx
37	59	Cruz Castillo Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	
38	559	Dalobcic Juan José	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	jddalobcic@ija.csic.es
39	342	Davydova Belfiskaya Valentina	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	vdavydov@udg.serv.uncar.udg.mx
40	69	De Cserna Zoltan	UNAM	Geología		
42	82	Delgado Argote Luis Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ldelgado@cicese.mx
41	75	Delgado Cervantes Juan Antonio	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jdelgado@cicese.mx
43	454	Diego Orozco Arturo	IMP	Exploración y Producción	Geofísica	arturo@orton.expl.imp.mx
44	573	Elias Herrera Mariano	UNAM	Geología	Geología Regional	elias@servidor.unam.mx
45	86	Esparza Hernández Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	fesparza@cicese.mx
46	87	Espindola Castro Juan Manuel	UNAM	Geofísica		jme@tonatihu.igeofcu.unam.mx
47	92	Fabriel Beauville Hubert	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	hfabriel@cicese.mx
48	346	Farreras Sanz Salvador	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	sfarrera@cicese.mx
49	91	Ferrari Podraglio Luca	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	luca@servidor.unam.mx
50	137	Filonov Anatoly E.	UDG		Física Matemáticas	aifilonov@udg.serv.uncar.udg.mx
52	679	Flores Cruz Fernando				
51	348	Flores Luna Carlos Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	cflores@cicese.mx
53	675	Forsythe Lance	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	forsythe@cicese.mx
54	96	Frez Cárdenas José	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	jofrez@cicese.mx
55	108	Galicía Pérez Marco Antonio	UCOL			galicia@volcan.ucol.mx
56	578	Gallegos Cruz Apolonio	IPN	Ciencias Básicas	Física	
57	101	García Abdellem Juan	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jgarcia@cicese.mx
58	104	García Arthur Rosalia	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	arthur@cicese.mx
59	368	García García Fernando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		dire@imvica.atmosfey.unam.mx
60	100	Garduño Montoy Víctor Hugo	UMICH			
61	119	Gaviño Juan H.	UCOL			gavinho@volcan.ucol.mx
62	122	Głowacka Ewa	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	glowacka@cicese.mx
63	121	Gómez Treviño Enrique	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica	egomez@cicese.mx
64	112	Gómez Valdés José	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jgomcz@cicese.mx
65	672	González Fernández Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mindundi@cicese.mx
66	113	González García José Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	javier@cicese.mx
67	370	Gräf Ziehl Federico	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	fgrae@cicese.mx
68	570	Green Ruiz María de Jesús	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Geología Marina	mgreen@mar.icmyf.unam.mx
69	111	Guerero García José C.	UNAM	Geología		josec@servidor.unam.mx
71	572	Hernández Bernal María del Sol	UNAM	Geología	Geología Regional	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
70	564	Hernández Treviño Teodoro	UNAM	Geofísica	Exploración y Geomagnetismo	tht@tonatihu.igeofcu.unam.mx
72	669	Hughes Simon	UNAM	Geofísica		
73	127	Huidobro González Adolfo	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	lermo@inti.iingen.unam.mx
74	132	Jiménez Jiménez Zenon	UNAM	Geofísica	Sismología	zenon@igeofcu.unam.mx
75	135	Kostoglodov Vladimir	UNAM	Geofísica	Sismología	vladimir@ollin.igeofcu.unam.mx
76	640	Kotsarenko N. Y.	UNAM	Geofísica		
77	136	Kouzoub Nikolai	UANL		Ciencias de la Tierra	nkouzoub@ccr.dsi.uanl.mx
78	655	Kuraica Ogic	KINEMETRICS	Sales Manager		sales@kmi.com
79	598	Lares Reyes María Lucila	CICESE	Oceanología	Ecología	llares@cicese.mx
80	141	Lavín Peregrina Miguel F.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	mlavin@cicese.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
1	678	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
2	20	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36000	376
3	16	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36000	376
4	19	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
5	668	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
6	4	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
7	3	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
9	676	Circuito Jardín #356-3	Alamos 3ª	Querétaro	Querétaro	México	76160	
8	267	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
10	8	2170 SE 17th Street Suite 202		Ft. Lauderdale	Florida	USA	33316	
11	18	Reforma #113	Palmira	Cuernavaca	Morelos	México	62490	
12	287	UCLA - Box 951567		Los Angeles	California	USA	90095-1567	2732
13	296	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
14	28	Manuel M. Dieguez #539		México	Distrito Federal	México		
15	30	Reforma #113	Palmira	Cuernavaca	Morelos	México	62490	1475
16	26	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70472
17	37	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
18	27	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
19	32	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
20	632	Av. Vallarta #2602	Juárez	Guadalajara	Jalisco	México	44130	
21	325	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
22	581	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
23	52	Tijberg #2, 2716 LH		Zoetermeer		Holanda		
24	557	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
25	321	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70472
26	331	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
27	330	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
28	663							
29	645	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
30	47	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
31	45	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
32	664	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
33	624	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
34	558	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
35	58	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	México	Baja California	México	21100	
36	566	Circuito Exterior, CU.	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
37	59	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
38	559	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
39	342	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jalisco	México	44421	
40	69	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
42	82	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
41	75	KM 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
43	454	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	Distrito Federal	México	7730	
44	573	Circuito Exterior, CU	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
45	86	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
46	87	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
47	92	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
48	346	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
49	91	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36090	376
50	137	García Barragán y Corregidora		Guadalajara	Jalisco	México	44421	407
52	679	Antonia Nava s/n Esc. Pri. Makaronko	Carmen Serdán	México	Distrito Federal	México	4910	
51	348	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
53	675	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
54	96	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
55	108	Apartado Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Colima	México	28200	275
56	578	Tc #950	Iztacalco	México	Distrito Federal	México	8400	
57	101	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
58	104	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
59	368	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
60	100	Av. Rey Taracuri #374-D	Villabell	Morelia	Michoacán	México	58090	
61	119	Apartado Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Colima	México	28200	275
62	122	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
63	121	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
64	112	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
65	672	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
66	113	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
67	370	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
68	570	Explanada de la Azada y Crestón		Mazatlán	Sinaloa	México	82040	
69	111	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
71	572	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
70	564	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
72	669	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
73	127	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
74	132	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
75	135	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
76	640	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
77	136	Pedro Noriega #569 Sur		Linares	Nuevo León	México	67700	
78	655	222 Vista Avenue		Pasadena	California	USA	91107	
79	598	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
80	141	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997 (continuación)

No.	Miembro	Nombre	Institución	División ó Instituto	Departamento ó Facultad	E-mail
81	399	Lázaro Octavio	UNAM		Ingeniería	
82	404	Lermo Javier	UNAM	Ingeniería		lermo@intu.iisgen.unam.mx
83	602	Lira Herrera Héctor	CFE	Residencia Gral. Cerro Prieto	Estudios	
85	146	López Mariscal Juan Manuel	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	malopez@cicese.mx
84	145	López Martínez Margarita	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	marlopez@cicese.mx
86	398	Lozada Zumacta Manuel	IMP	Exploración Geofísica		manuel@orion.expl.imp.mx
87	615	Machain Castillo María Luisa	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología		machain@mar.icm.unam.mx
88	653	Magaña Rueda Víctor	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		victor@belenos.atmosfou.unam.mx
89	138	Malenzuela Wong Raúl	UNAM	Geofísica	Sismología	
90	175	Marinone Moschetto Silvio Guido L.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	marinone@cicese.mx
91	677	Marquez González Alvaro	UCM	Petrología y Geoquímica	Ciencias Geológicas	alvaromg@eucmos.sim.ucm.es
93	673	Martín Atienza Beatriz	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	mindundi@cicese.mx
92	2	Martín Barajas Arturo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	amartin@cicese.mx
94	156	Martínez Serrano Raymundo G	UNAM	Geofísica		rms@geofisica.igeofcu.unam.mx
95	630	Martínez Zatarain Alejandro	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	amartinc@judgserv.cencar.udg.mx
96	667	Mathes Miguel				
97	436	Mejía Trigo Adán	UABC	Investigaciones Oceanológicas	Oceanografía Física	amcija@bahia.cns.uabc.mx
98	164	Méndez Delgado Sostenes	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	smendez@cicese.mx
99	95	Michaud Francois	U PARIS VI	Pierre el Marie Curie		micho@ccrv.obs-lyfr.fr
100	167	Montesinos Silva Genaro	UGTO	Ciencias Agrícolas	Agronomía	genaros@dulcinea.ugto.mx
101	421	Morán Zeneno Dante Jaime	UNAM	Geología		dinigl@servidor.unam.mx
102	173	Morandi Soana María Teresa	U DE LOS ANDES	Laboratorio de Geofísica	Ciencias	maria@cicns.ula.ve
103	619	Monera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	Geofísica	Sismología y Vulcanología	carlosm@diin.igeofcu.unam.mx
104	608	Moya Juan Carlos	U COLORADO		Geological Sciences	moya@creep.colorado.edu
105	434	Murieta José Luis				
106	177	Nava Pichardo Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	fnava@cicese.mx
107	670	Nava Sánchez Enrique H.	USC		Earth Sciences	cnava@usc.edu
108	181	Nieto Samaniego Ángel Francisco	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	afns@servidor.unam.mx
109	182	Núñez Comú Francisco Javier	UDG	CUC, Vallarta	Geografía y Organización Terr.	fcomu@vallarta.cuc.udg.mx
110	183	Ocampo Torres Francisco Javier	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ocampo@cicese.mx
111	452	Ochoa De la Torre José Luis	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jchoa@cicese.mx
112	455	Oda Noda Bertha	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	
113	568	Orozco Esquivel María Teresa	UANL	Ciencias de la Tierra		morozco@ccr.dsi.uanl.mx
114	665	Orta Francisco				
115	191	Pacheco Alvarado Francisco Javier	UNAM	Geofísica	Sismología	javier@ollin.igcof.cu.unam.mx
116	201	Pavía López Edgar	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	epavia@cicese.mx
117	202	Paz Moreno Francisco A.	USON	Geología		fpaz@geologia.uson.mx
118	200	Pereyra Díaz Domitilo	U VERACRUZANA	Meteorología Aplicada	Instrumentación Electrónica	dperreym@speedy.coacade.uv.mx
119	671	Prieto Mendoza Jesús José	UABCS			jprieto@calafia.uabcs.mx
120	207	Quintero Legorreta Odranuel	UNAM	Geología	Geología Regional	odranuel@servidor.unam.mx
121	674	Ramírez Hernández Jorge	UABC	Ingeniería	Ciencias de la Tierra	jramirez@ciam1.mxl.uabc.mx
122	496	Ramírez Ruiz Juan José	UCOL	Observatorio Volcanológico		
123	211	Ramírez Trajo Ana Rosa				
124	212	Ramírez Vázquez Carlos Ariel	UCOL	CICBAS	RESCO	carlosr@cig.ocol.mx
125	208	Randall Roberts John	UGTO			
126	213	Rebollar Bustamante Cecilio J	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	rebollar@cicese.mx
127	215	Reyes Dávila Gabriel Ángel	UCOL	CICBAS	RESCO	gabrielr@cig.ocol.mx
128	560	Romero Pascual Mercedes	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	romero@eucmos.sim.ucm.es
129	218	Romo Jones José Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jromo@cicese.mx
130	475	Ronquillo Janillo Gerardo	IMP	Estudios Geológicos	Investigación Sismológica	gerardo@orion.expl.imp.mx
131	611	Rosales Alvarez Julio	CFE	C. Geotermico Cerro Prieto	Exploración	
132	575	Rosas Elguera José	UDG	Ciencias de la Tierra		jrosas@quantum.ucting.udg.mx
133	639	Rubio Culebras Eduardo	ICT-CSIC	Jaime Almera		erubio@jaicic.es
134	242	Sabina Ciscar Federico	UNAM	IIIMAS	FENOMEC	fjs@uxmym1.iiimas.unam.mx
135	228	Saldaña Flores Ricardo	IMP	Fuentes Alternas de Energía	Fuentes No Convencionales	rsf@p.fie.org.mx
136	226	Sánchez Monclús Alfredo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	asanchez@cicese.mx
137	241	Santamaría Saldaña Dora Elva	CFE			
138	527	Sarmiento López Citlali	IMP	Proceso Registros Geofísicos		
139	230	Schaaf Peter	UNAM	Geofísica	Palcomagnetismo	pschaaf@tonatihu.igcof.cu.unam.mx
140	1	Singh Shri Krishna	UNAM	Geofísica		kshri@ollin.igeofcu.unam.mx
141	235	Steinich Birgit	UNAM	Geología	Geoquímica	birgit@trex.igeofcu.unam.mx
142	519	Stock Joanne M.	CALTECH	Seismology		jstock@gps.caltech.edu
143	515	Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	Geofísica		gerardo@ollin-igcof.cu.unam.mx
144	502	Suter Max	UNAM	Geología		suterm@aoi.com.us
145	249	Taran Yuri	UNAM	Geofísica	Vulcanología	utaran@tonatihu.igcof.cu.unam.mx
146	245	Terezhchenko Irina	UDG	CUCI	Física	itershe@judgserv.cencar.udg.mx
147	532	Tolson Gustavo	UNAM	Geología		tolson@servidor.unam.mx
148	528	Trasviña Castro Armando	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	trasvi@cicese.mx
149	254	Vázquez González Rogelio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	rvazquez@cicese.mx
150	545	Velasco Climaco Nector	IMP			nvelasco@cicese.mx
151	543	Verma Jaiswal Mahendra Pal	CFE	Investigaciones Eléctricas	Geotermia	
152	171	Victoria Morales Alfredo	UNAM		Ingeniería	
153	540	Vidal Villegas Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	vidalv@cicese.mx
154	547	Villanueva Urrutia Elba Elsa	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	eevu@mvica.atmosfou.unam.mx
155	648	Villegas García Cesar José	UANL	Geofísica	Geofísica	
156	255	Villalón Cruz Francisco Javier	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
157	259	Wong Ortega Víctor	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	vwong@cicese.mx
158	376	Yussiro Guzmán Sergio				
159	262	Zarate Del Valle Pedro F.	UDG	Ciencias de la Tierra	Civil y Topografía	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
160	261	Zobin Vyacheslav M.	UCOL	Observatorio Volcanológico		vzobin@cig.ocol.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
81	399	Ciruito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
82	404	Ciruito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
83	602	C. Pascualitos-Pescadores Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	Baja California	México	21100	
85	146	Km. 170 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
84	145	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
86	398	Eje Central Lazaro Cardenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	Distrito Federal	México	7730	
87	615	Ciruito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70305
88	653	Ciruito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
89	138	Ciruito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
90	175	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
91	677	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
93	673	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
92	2	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
94	156	Ciruito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
95	630	Av. Vallarta #2602	Juárez	Guadalajara	Jalisco	México	44100	
96	667	Campos Elíscos #345, Piso 16	Polanco	México	Distrito Federal	México	11550	
97	436	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	453
98	164	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
99	95	La Darse B-P #48		Paris	Paris	Francia		
100	167			Irapuato	Guanajuato	México	36500	311
101	421	Ciruito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
102	173		La Hechicera	Mérida	Yucatán	Venezuela	5101	
103	619	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
104	608	1300, 30th, A1-24		Boulder	Colorado	USA	80303	
105	434	Nogueria #1		Jalapa	Veracruz	México	91000	
106	177	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
107	670			Los Angeles	California	USA	90007-0740	
108	181	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36000	376
109	182	Mariano Barcoña y Av. Maestros		Guadalajara	Jalisco	México	44260	
110	183	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
111	452	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
112	455	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
113	568	Carret. Cerro Prieto Km. 3	Hacienda de Guadalupe	Linarés	Nuevo León	México	67700	104
114	665	Campos Elíscos #345, Piso 16	Polanco	México	Distrito Federal	México	11550	
115	191	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
116	201	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
117	202	Apartado Postal No. 847		Hermosillo	Sonora	México	83000	847
118	200	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Veracruz	México	91090	136
119	671	Retorno Mango #1855	Infonavit	La Paz	Baja California Sur	México	23070	
120	207	Ciruito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
121	674	Benito Juárez s/n		Mexicali	Baja California	México	21900	
122	496	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastian	Colima	Colima	México	28045	
123	211	Manglar #151	Villa Nova	Ajijic	Jalisco	México		343
124	212	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Colima	México	28045	21694
125	208	Mineral de Valenciana #2	Marfil	Guanajuato	Guanajuato	México	36250	42
126	213	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
127	215	25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Colima	México	28045	21694
128	560	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
129	218	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
130	475	Eje Central Lazaro Cardenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	Distrito Federal	México	7730	
131	611	C. Pascualitos-Pescadores Km. 26.5		Mexicali	Baja California	México	21100	
132	575	Av. Revolución #1500		Guadalajara	Jalisco	México	44840	
133	639	Luis Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
134	242	Ciruito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	20726
135	228	Reforma #113	Palmita	Temixco	Morelos	México	62490	1475
136	226	Km. 107 Carrete. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
137	241	Zamango #17	Tulychaulco	México	Distrito Federal	México		16700
138	527	56x31 s/n atrás del hospital Pemex		Ciudad del Carmen	Campeche	México		
139	230	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70472
140	1	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
141	235	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
142	519	2824 Shakespeare Drive		San Marino	California	USA	91108	
143	515	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
144	502	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
145	249	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
146	245	Av. Revolución #1500	S. R.	Guadalajara	Jalisco	México		4079
147	532	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	99074
148	528	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
149	254	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
150	545	56x31 s/n atrás del hospital Pemex		Ciudad del Carmen	Campeche	México		2732
151	543	Apartado Postal No. 1-475		Cuernavaca	Morelos	México	62091	1-475
152	171	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
153	540	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
154	547	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
155	648	Sierra Nevada #207	Villas del Valle	Garza García	Nuevo León	México	66288	
156	255	Ciruito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
157	259	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
158	376	Atotonilco #88	Felipe de Jesús	México	Distrito Federal	México	07510	
159	262	Av. Revolución #1500		Guadalajara	Jalisco	México	44410	4021
160	261	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastian	Colima	Colima	México	28045	

TERCERA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA EN BAJA CALIFORNIA

Enrique Gómez Treviño

División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California, 22860 México

E-mail: egomez@cicese.mx

La Unión Geofísica Mexicana organiza cada año, con la colaboración del CICESE, un concurso estatal de Ciencias de la Tierra entre estudiantes de bachillerato del Estado de Baja California. El objetivo del concurso es difundir y promover los conocimientos de las Ciencias de la Tierra entre futuros profesionistas de las más diversas especialidades, con el fin de formarles una cultura básica sobre el planeta que habitan, y que seguramente seguirán habitando, cuando les toque desarrollar sus actividades profesionales. A la fecha solo se han realizado concursos en Baja California. La UGM está promoviendo extender esta práctica a otros estados de la República.

La tercera olimpiada se llevó a cabo el sábado 7 de junio de 1997 en las instalaciones del CICESE. El evento fue inaugurado por el Dr. Francisco Javier Mendieta Jiménez, Director General del CICESE. Estuvo también presente el M.C. José Manuel Romo Jones, Director de la División de Ciencias de la Tierra del mismo centro de investigación. Por parte de la Unión Geofísica Mexicana asistieron el Dr. José Gómez Valdés, vicepresidente de la UGM, el Dr. Juan García Abdeslem, tesorero, y el M.C. Luis Delgado Argote, secretario de difusión.

El primer lugar en esta tercera versión de la olimpiada le correspondió a Oscar Osuna Sánchez del Colegio de Bachilleres de Baja California (COBACH). El segundo lugar lo obtuvo Gerardo Sánchez Bon del Centro de Estudios Tecnológicos del Mar (CET del Mar). Miguel Fco. Navarro García del Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios (CBTIS) No. 41, obtuvo el Tercer lugar.

Esta vez se contó con la participación de ocho preparatorias. Presentaron el examen 73 estudiantes de los cuales 20 pasaron a la etapa final. A cada uno de los concursantes se les otorgó un diploma de participación y una camiseta con el logotipo de la UGM a cada uno de los 20 finalistas. Cangureros con el logotipo consolaron a los que no pasaron a la segunda etapa. El primer lugar se hizo acreedor a un cheque por una cantidad de \$1,000.00, el segundo por \$750.00 y el tercero por \$500.00. Se obsequiaron además, conjuntos de libros a los tres primeros lugares. En la convocatoria se recomienda que los estudiantes que deseen participar se inscriban en el equipo de un profesor. A los maestros de los ganadores se les entregó un cheque por una cantidad igual a la mitad de lo que ganaron sus estudiantes.

En Baja California como en los demás estados de la República no existe un modelo único de escuela preparatoria. Existen varios sistemas más o menos equivalentes en lo que se refiere a las ciencias básicas como Física, Química, Biología o Matemáticas. En relación con las Ciencias de la Tierra no existe

uniformidad. En algunos casos se ofrece la materia de Geografía en la que se incluyen aspectos básicos de Geología y Geofísica. Sin embargo, en la mayor parte de los sistemas de bachillerato no se tocan estos temas. Esta situación nos presenta la oportunidad de influir en la educación media de nuestro país, aunque no necesariamente a través de propuestas de cambios en los planes de estudio, al menos no por ahora.

Por lo pronto, podemos empezar por crear conciencia de la importancia de las Ciencias de la Tierra en los niveles de bachillerato. Esta será una labor larga y difícil y tendremos que demostrar que no podemos permitirnos el lujo de ignorarlas. Tendremos que encontrar ejemplos, muchos ejemplos, de actividades de la vida diaria en las que podríamos haber actuado mejor de haber tenido un mejor conocimiento del ambiente natural. Esto es, que determinados conocimientos básicos de las Ciencias de la Tierra representan una importante preparación para la vida. Además, tendremos que expresarlo en una forma interesante mediante preguntas, de tal manera que el solo hecho de presentar el examen sea ya de por sí toda una experiencia de aprendizaje.

En años anteriores simplemente se indicaba que el examen consistiría en preguntas sobre la Atmósfera, los océanos y la Tierra sólida. Este año, decidimos poner a disposición de los estudiantes un cuestionario extendido del cual se extrajo el examen de 100 preguntas para la eliminatoria. El cuestionario se entregó sin respuestas, por lo que los estudiantes que se tomaron la molestia de investigar las respuestas, ya sea solos, o con la ayuda de sus maestros, tuvieron mayores oportunidades de pasar a la etapa final. A los 20 finalistas se les aplicó un examen de 35 preguntas nuevas. Ésto es, de preguntas que no estaban en el cuestionario que se les entregó. De esta manera, tratamos de eliminar cualquier desventaja que pudieran tener aquellos finalistas que por una razón u otra no tuvieron acceso al cuestionario. De hecho, en este año el estudiante que obtuvo el segundo lugar nunca vió el cuestionario que entregamos.

Cualquier sugerencia relacionada con el tema de las olimpiadas de Ciencias de la Tierra favor de dirigirla al autor del presente reporte a la dirección arriba indicada, o por correo electrónico a egomez@cicese.mx.

PREMIOS DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

La Unión Geofísica Mexicana a través de su programa de reconocimientos, provee la oportunidad para que sus miembros identifiquen y premien las contribuciones científicas importantes que realicen sus colegas. Con este fin la Unión otorga la medalla Manuel Maldonado-Koerdell por logros significativos en investigación científica, la medalla Mariano Bárcena por méritos académicos y labores de fortalecimiento para la misma Unión y los premios Francisco Medina representa un estímulo para jóvenes investigadores. A la par de lo anterior, se cumple con el objetivo de resaltar la importancia que han tenido destacados naturalistas como Manuel Maldonado-Koerdell y Mariano Barcena en el desarrollo de las Ciencias de la Tierra en México.

Medalla Manuel Maldonado-Koerdell

Esta medalla se otorga mediante concurso cada dos años en años impares. La convocatoria contempla que los candidatos deben ser nominados por un miembro de la Unión o por una institución de investigación y/o educación superior del país. La carta de presentación debe incluir una exposición razonada de los méritos del candidato. El jurado lo nombra la mesa directiva y en el dictamen se toma en cuenta primordialmente la investigación hecha en México por el candidato, el impacto científico de su línea de investigación y la labor docente desarrollada.

Historial de premiaciones:

Jaime Urrutia Fucugauchi	1991
Enrique Gómez Treviño	1991
Pedro M. Ripa Alsina	1993
Shri Krishna Singh	1993
Cinna Lomnitz Aronsfrau	1995

Manuel Maldonado-Koerdell. Nació en Mazatlán, Sin., y m. en el D.F., (1908-1973). Estudió Biología Marina, Geografía y Lenguas en la U.N.A.M., además de Zoología, Anatomía comparada de vertebrados, Historia de la Biología y Bioquímica en las Universidades de California y Washington. Doctor en Zoología, Paleontología de vertebrados y Geología Histórica en la Escuela de Graduados de la Universidad de Kansas. Fue profesor en las escuelas nacionales de Ciencias Biológicas y de Antropología, Superior de Ingeniería y Arquitectura, así como en el México City College; Jefe de la sección de Historia Natural del Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Nuevo León (1944), Paleontólogo en la Dirección de Prehistoria del INAH (1952-55), investigador en el Instituto Nacional de la Investigación Científica (1955) y secretario general de la Unión Geofísica Mexicana (1960-72). Fue jefe del Departamento de Paleontología de la Gerencia de Exploración de PEMEX (1951-52) y Geólogo de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (1954). Autor de Manual de Laboratorio para Anatomía Comparada (1940), Bibliología Geológica y Paleontológica de la América Central, e Informe sobre la situación de los trabajos Geofísicos de los Países Centroamericanos.

Medalla Mariano Bárcena

Esta medalla la otorga la mesa directiva de la Unión a miembros que se han distinguido por una larga trayectoria académica y de investigación, y por sus acciones en favor del fortalecimiento de la Unión Geofísica Mexicana. Con esta distinción pretendemos reconocer la labor de nuestros maestros eméritos. En este caso no hay periodicidad para el otorgamiento de la medalla.

Historial de premiaciones:

Julián Adem Chahin	1993
Cinna Lomnitz Aronsfrau	1994

Mariano Bárcena. Nació en Ameca y m. en Guadalajara, Jal. (1842-1899). Estudió en la Academia de San Carlos (1864-65). En 1866 ingresó en la Escuela Nacional Preparatoria, donde fue discípulo de Gabino Barreda y Leopoldo Río de la Loza. Pasó a la Escuela de Minas. Era estudiante de Ingeniería cuando Maximiliano le otorgó la Orden de Guadalupe (1866) y en el cuarto año de la carrera fue admitido como miembro de la Sociedad Filomatemática Mexicana. En 1871 lo fue de la Sociedad Mexicana de Historia Natural y al año siguiente, ya titulado de Ingeniero, se le extendió diploma como socio honorario de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Descubrió y clasificó especies vegetales y dio nombre a dos especies fósiles. Se le debe el conocimiento de una variedad de Mercurio. Realizó exploraciones en el volcán El Ceboruco, de las cuales dejó varios testimonios. Fundó en 1877 y dirigió hasta su muerte, el Observatorio Meteorológico. En 1888 fue nombrado secretario de Gobierno de Jalisco y al año siguiente, a la muerte de Ramón Corona, gobernador del Estado (noviembre de 1889 a octubre de 1890). Al término de su mandato

fue senador. Recibió distinciones en México y en el extranjero. Realizó investigaciones en los campos de la Antropología, la Botánica y la Mineralogía y en cada uno hizo descubrimientos y aportaciones. Escribió tratados de Geología, Paleontología y Litología, una Noticia Geológica del estado de Aguascalientes, las obsidias de México, Datos para el estudio de las rocas mesozoicas de México y sus fósiles y, sobre el llamado Hombre del Peñón, una Noticia acerca del hallazgo de restos humanos prehistóricos en el Valle de México.

Premios Francisco Medina

Francisco Medina Martínez (1947-1995). Durante casi dos décadas, Pancho fue piedra angular de la UGM. Todos los que ocupamos distintas funciones de la Mesa Directiva de la Unión fuimos sus colaboradores. Presidió la UGM con discreción desde la siempre magra tesorería, lo que no evitó que editara **GEOS**, organizara religiosamente las reuniones anuales, manejara una correspondencia continua con otras sociedades y personas, y apoyara, tanto a estudiantes como a científicos para que participaran en las actividades de la Unión. Su paciencia y confianza lo mantuvieron como editor de este boletín, el cual sostenía con traducciones, comentarios, reseñas y escasas colaboraciones por parte de los miembros de la UGM. Su trabajo como editor era casi solitario y artesanal, pero persistente. Preocupado por los científicos en formación y por la divulgación del quehacer de los geocientíficos de la comunidad entre los estudiantes, nos convocó a escribir en las monografías de la Unión Geofísica Mexicana, de las cuales fue responsable de las dos primeras (Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México y La Sismología en México: Diez Años Después del Temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985) y organizó las dos siguientes sobre Oceanografía y la estructura del Chicxulub. Esa inquietud por estimular a los jóvenes lo llevó a organizar la Primer Olimpiada en Ciencias de la Tierra, en junio de 1995, donde se convocó, como experimento, a los estudiantes de bachillerato en Baja California. Este experimento fue un éxito y ahora vemos que algunos de los participantes en este concurso han iniciado licenciaturas relacionadas con las Ciencias de la Tierra. La experiencia de Pancho y sus publicaciones en temas sobre geofísica, geoquímica, volcanología y geología planetaria, lo hicieron un eslabón interdisciplinario entre los científicos de la Tierra. Los logros de su actitud abierta y confiada nos dio la confianza para seguir con la tarea de formar una comunidad activa, propositiva y comprometida en el planteamiento de nuevas formas de interacción entre los estudiosos de la Tierra, no importa el nivel en que se encuentren, ni su especialidad. Un valioso y continuo homenaje a Pancho será el otorgamiento de los premios **Francisco Medina** a las mejores tesis de licenciatura y posgrado que se realicen en nuestro país.

CONVOCATORIAS

La Unión Geofísica Mexicana abre a concurso los premios:

Medalla Manuel Maldonado-Koerdell, 1997. Para científicos que hayan realizado labores de investigación y docencia en México, en cualquiera de las áreas de las Ciencias de la Tierra. Se invita a la comunidad científica del país a proponer candidatos de acuerdo con las siguientes bases:

1. Los candidatos deberán ser nominados por un miembro de la UGM o por una institución de investigación y/o educación superior del país.
2. La carta de presentación deberá incluir una exposición razonada de los méritos del candidato. También se deberá presentar una copia de su curriculum vitae.
3. La fecha límite para presentar candidaturas es el 30 de agosto de 1997.

El jurado tomará en cuenta primordialmente la investigación hecha en México por los candidatos, el impacto científico mundial de sus trabajos y la labor docente desarrollada. El dictamen del jurado es inapelable.

Premios Francisco Medina, 1997. A las mejores tesis de licenciatura, maestría y doctorado en Ciencias de la Tierra. Estos premios se concursarán bianualmente, se invita a los interesados a presentar sus candidaturas de acuerdo con las siguientes bases:

1. Para el nivel de licenciatura, podrá concursar cualquier persona que no haya cumplido 25 años a la fecha de cierre de esta convocatoria; para los casos de maestría y doctorado, los candidatos deberán tener 30 y 35 años o menos, respectivamente.
2. Los trabajos de tesis que concursen deben haberse realizado en México. El examen de defensa debe haberse presentado entre el 1ro. de septiembre de 1995 y el 30 agosto de 1997, en una institución mexicana acreditada.
3. Los candidatos deberán presentar una copia de su tesis, su curriculum vitae y los documentos legales que acrediten el cumplimiento de las bases 1 y 2 de esta convocatoria.
4. Para posteriores concursos, un candidato sólo podrá concursar en un nivel superior.
5. En la selección de las tesis premiadas se tomarán como principales criterios la originalidad, su rigor y su importancia científica, serán los principales criterios. El dictamen del jurado será inapelable.

6. Los premios se otorgarán durante la reunión anual de la UGM.

Las candidaturas con la documentación completa se pueden entregar personalmente o enviarse por correo a:

Juan Manuel Espíndola
Instituto de Geofísica, UNAM
Circuito Exterior, Cd. Universitaria
C.P. 04510, México, D.F.
Tel: 91(5)622-4113
Fax: 91(5)550-2486

Victor Manuel Frías C.
Depto. de Geología, CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada
C.P. 22860, Ensenada, B.C., México
Tel: 91(61)744-501/08, Ext: 26035
Fax: 91(61)744-933

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

REUNIÓN ANUAL 1997

Puerto Vallarta, Jal. México
3-7 de Noviembre de 1997

La reunión anual de la UGM proporciona un foro donde los estudiantes, académicos y profesionales de las Ciencias de la Tierra presentan y discuten los resultados de la investigación que se realiza en o acerca de México, así como otros tópicos de interés actual para nuestra comunidad.

Las ponencias tendrán una duración de 15 minutos, incluyendo tiempo para discusión, en sesiones regulares y sesiones especiales sobre los siguientes temas:

- Ingeniería Sísmica
- Geofísica Matemática
- Geofísica de Exploración
- Tectónica
- Estratigrafía
- Geología Estructural
- Vulcanología
- Geoquímica
- Geohidrología
- Petrología
- Sismología
- Paleomagnetismo Terrestre
- Ciencias del Mar
- Ciencias de la Atmósfera
- Sensores Remotos
- Climatología
- Cambio Global
- Física Espacial
- Planetología

El formato del resumen está disponible vía Internet en la siguiente dirección: <http://www.ugm.org.mx>

Favor de enviar su resumen en disquette o por E-mail a:

Victor M. Frías Camacho
Geología/CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, B.C., C.P. 22860, México
Tel: 91(61) 744-501 al 08, Ext: 26035
Fax: 91(61) 744-933
E-mail ugm@cicese.mx

En caso de dificultad para enviar su resumen en el formato y forma mencionada, puede hacerlo por correo. No se aceptarán resúmenes enviados por FAX.

Fecha límite para recibir resúmenes - Agosto 31, 1997

Sede: Hotel Sheraton Baganvillas
Puerto Vallarta, Jal. México

Reservaciones:

Tel: 91 (322) 30-404
Fax: 91 (322) 20-500

Costo por habitación doble o sencilla:
\$ 520.00 + impuestos

Para reservaciones comunicarse al hotel y hacer mención de la Reunión Anual de la UGM.

Las cuotas, incluyendo el libro de resúmenes son:

Inscripción	Miembros AGU o UGM	\$ 600.00
a la	No miembros	\$ 850.00
Reunión	Estudiantes	\$ 300.00
	Costo de resumen	\$ 100.00
	Membresía Investigador	\$ 200.00
	Membresía Estudiante	\$ 150.00

Registro en el hotel sede desde el 2 de Noviembre.
Todos los pagos se efectuarán durante el registro en el hotel

VII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA
CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., MÉXICO
22 AL 24 DE SEPTIEMBRE DE 1997

ORGANIZADO POR:

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

INSTITUTO NACIONAL DE GEOQUÍMICA, A.C.

El Instituto Nacional de Geoquímica, A.C. (INAGEQ) y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México organizan el **VII Congreso Nacional de Geoquímica**, por lo que invitan a los profesionales y estudiantes relacionados con las geociencias y Ciencias Químicas aplicadas a la Tierra, a participar activamente con trabajos a fin de difundir los logros más recientes en las siguientes especialidades

- | | | |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| • Geoquímica Analítica | • Geoquímica Ambiental | • Geoquímica de Isótopos |
| • Geoquímica de Marina | • Geoquímica del Petróleo | • Geotermoquímica |
| • Hidrogeoquímica | • Biogeoquímica | • Interacción Fluido-Roca |
| • Petrología | • Mineralogía | • Vulcanología |
| • Geocronología | • Exploración Geoquímica | • Química de la Atmósfera |
| • Tectónica | | |

Los interesados podrán participar enviando el resumen de su ponencia (una cuartilla sin bibliografía) o Trabajo extenso (6 a 12 cuartillas) al:

Presidente del Comité Organizador
Quím. RUFINO LOZANO SANTA CRUZ
Instituto de Geología, UNAM
Circuito de la Investigación Científica s/n
Cd. Universitaria, México, D.F. 04510
Tel: 91(5)622-4319
Fax: 91(5)622-4317
E-mail: rufino@servidor.unam.mx

Presidente del INAGEQ
Dr. DANTE J. MORÁN ZENTENO
Instituto de Geología, UNAM
Circuito de la Investigación Científica s/n
Cd. Universitaria, México, D.F. 04510
Tel: 91(5)622-4308
Fax: 91(5)550-6644
E-mail: dirigl@servidor.unam.mx

Los Trabajos extensos serán sometidos a un arbitraje formal. El Comité Organizador solicitará su presentación (oral o cartel), dando prioridad a los trabajos extensos para su presentación oral. Los autores deberán tomar en cuenta las recomendaciones en los Vols. 1 y 2 de Actas INAGEQ. Cada contribución deberá ser acompañada de un pago de \$50.00 pesos para gastos de impresión, si el primer autor y ponente es estudiante, el pago será de \$25.00.

Los Trabajos extensos presentados por alumnos de licenciatura y postgrado concursarán por premios a los mejores trabajos estudiantiles.

OBJETIVOS DEL CONGRESO

- i) Ofrecer un Foro de discusión a los profesionales de la Geoquímica y áreas afines.
- ii) Dar a conocer los avances más recientes de la Geoquímica en México
- iii) Favorecer el intercambio de experiencias y conocimiento entre los profesionales de área.
- iv) Promover la participación activa de estudiantes en las Geociencias.

ACTIVIDADES

Además de las ponencias, la sesión de cartel y los cursos, se presentarán conferencias magistrales que serán dictadas por expertos de prestigio internacional en el campo de su especialidad.

COSTO DE LA INSCRIPCIÓN AL CONGRESO

Socios	\$250.00
No socios	\$350.00
Estudiantes socios	\$100.00
Estudiantes No socios	\$150.00

La cuota incluye:

- Asistencia al Congreso
- Actas INAGEQ
- Constancia de participación a ponentes
- Servicio de cafetería
- Derecho a inscribirse a los cursos

Costo de inscripción a cualquiera de los cursos:

Socios profesionales	\$600.00
Socios estudiantes	\$300.00

Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA

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

GEOFÍSICA APLICADA

Exploración Geofísica
Simulación Numérica
Problemas Inversos
Electromagnetismo
Geofísica Marina
Geohidrología

SISMOLOGÍA

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. 91(61)745-050 Ext. 23001

Fax: 91(61)744-880

<http://www.cicese.mx>



CICESE



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
Metodos 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 Cuaunahuac #8532, Progreso, Morelos, México. C.P. 62550.



El Instituto de Geofísica y la Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado del CCH de la UNAM ofrecen a todos los profesionales en Física, Geofísica, Geología, Ingeniería, Química, o alguna área académica afín, los Posgrados de Maestría y Doctorado de Geofísica dentro de las siguientes áreas:

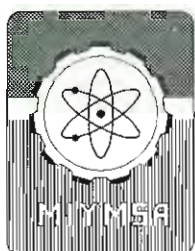
AGUAS SUBTERRANEAS
EXPLORACIÓN GEOFÍSICA
SISMOLOGÍA Y FÍSICA DEL INTERIOR DE LA TIERRA
ESTUDIOS ESPACIALES
MODELACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL DE SISTEMAS GEOFÍSICOS

Informes: Instituto de Geofísica, UNAM
Cd. Universitaria
México, 04510, D.F.
Tel. 662-4130 y 622-4137 Fax. 550-2486

SISTEMAS DE INGENIERIA SISMICA Y DINAMICA ESTRUCTURAL



**REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA LA REPUBLICA
MEXICANA:**



**MEDIDORES INDUSTRIALES Y
MEDICOS, S.A. DE C.V.**

ODESA #1110
COL. PORTALES
03300, MEXICO, D.F.

FAX: (5) 605-9181 PHONE: (5) 604-0058 605-6312

Física del Mar

Un programa de posgrado

CICESE



Departamento de Oceanografía Física
Apartado postal #2732. Ensenada, B.C., México
Tel. 52 (667) 450-50 Ext. 4010. Fax 52 (667) 451-54

ATLAS NACIONAL DE MÉXICO

Obra en tres tomos que presenta la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, donde la labor de más de 300 especialistas quedará reunida en una colección de 160 cartas (alrededor de 600 mapas) editados a todo color por el Instituto de Geografía.

Volumen I

I. Mapas Generales

- 1.- Mapas Generales
- 2.- Desarrollo histórico de la expresión cartográfica
- 3.- Desarrollo histórico del levantamiento cartográfico

II. Historia

- 1.- Época prehispánica
- 2.- Época colonial
- 3.- Siglo XIX
- 4.- Movimientos armados
- 5.- Historia de las divisiones político-administrativa

III. Sociedad

- 1.- Distribución de las poblaciones y características demográficas
- 2.- Migraciones
- 3.- Sistema urbano
- 4.- Vivienda
- 5.- Educación
- 6.- Cultura
- 7.- Salud
- 8.- Tipología sociodemográfica

Volumen II

IV. Naturaleza

- 1.- Geología
- 2.- Tectónica
- 3.- Relieve
- 4.- Clima
- 5.- Agroclimatología
- 6.- Hidrogeografía
- 7.- Edafología
- 8.- Biogeografía
- 9.- Oceanografía
- 10.- Regionalización física

V. Medio ambiente

- 1.- Influencia del hombre en el medio ambiente
- 2.- Estado de los componentes naturales del medio ambiente
- 3.- La población y el medio ambiente
- 4.- Evaluación del patrimonio natural y cultural
- 5.- Síntesis del medio ambiente

Volumen III

VI. Economía

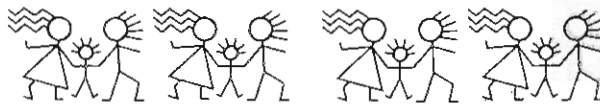
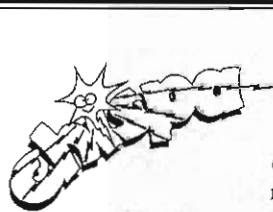
- 1.- Energía, agua y suelo, bases de la actividad económica
- 2.- Agricultura
- 3.- Ganadería
- 4.- Actividad forestal
- 5.- Pesca
- 6.- Energía Eléctrica
- 7.- Economía petrolera
- 8.- Minería
- 9.- Industria
- 10.- Transporte y comunicación
- 11.- Turismo
- 12.- Comercio y servicios
- 13.- Asimilación económica del territorio
- 14.- Regionalización económica

VII. México en el mundo

- 1.- Relaciones internacionales
- 2.- Comercio internacional
- 3.- México en el mundo

Informes y ventas:

Instituto de Geografía, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
A.P. 20-850, México, 01000, D.F.
Tel.: 91(5)548-9779, Fax: 91(5)548-4086



CHISPA es una revista diseñada y hecha en México, a la altura de las mejores del mundo. Enseña al niño a través de entretenimiento y diversión y lo estimula para interesarse por todo lo que le rodea.

Es mucho más que una enciclopedia en fascículos, es novedosa, periodística, destaca lo insólito, interesa y entusiasma con aventuras, juegos, experimentos, humor y un gran cariño por los niños.

Sirve para hacer las tareas de la escuela. Los maestros la ven como una ayuda. Para usted puede ser un medio más de convivencia familiar.

CHISPA sirve al niño por su precisión científica y por su alta calidad psico-pedagógica, porque en su elaboración intervienen científicos y expertos en todas las áreas del saber.

INNOVACION Y COMUNICACION S.A DE C.V.

		Revista \$ 12.00 Precio Pácto Ejemplar atrasado \$ 10.00
Tlaxipec No. 6, Col. Campestre C.P. 01040, México, D.F. o Apdo. Postal 19-456 C.P. 03810, México, D.F. Tel. 662-00-46 Fax: 662-71-91		Suscripción anual México \$ 110.00 (10 números) Estados Unidos, Canadá, Centroamérica y el Caribe 45.00 USD Resto del mundo 48.00 USD
Cheque N° _____ Giro Postal N° _____ Cheque bancario certificado N° _____ Nombre _____ Calle _____ N° _____ Colonia _____ Ciudad _____ C.P. _____ Estado _____ Tel. _____		



ICSA

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

POLÍTICA EDITORIAL

GEOS es el boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, se publica trimestralmente y en él caben artículos y notas de investigación, 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 manuscritos 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 de investigación sometidos a *GEOS* deberán ser enviados en original y dos copias, escritos a doble espacio con un tipo de 12 puntos. Todas las contribuciones deberán ser sometidas en Español y dirigidas al Editor de *GEOS*. Si el manuscrito sometido es relevante, el Editor Principal lo enviará a un miembro del Comité Editorial del boletín, quien seleccionará dos o tres especialistas para revisar el manuscrito. Los revisores remitirán sus comentarios al editor de área, quien los enviará al Editor Principal, junto con su recomendación. El Editor Principal puede rechazar, aceptar, o solicitar modificaciones al manuscrito, para lo cual remitirá a los autores los comentarios de los revisores y del editor de área.

Publicar en *Geos* es gratis, sin embargo, 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). Todas las contribuciones deberán incluir: título, resumen, introducción, una sección de métodos, una sección de resultados y una sección de discusión y conclusiones.

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

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 se deberán incluir 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 referirse al texto.

DISCUSIÓN 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.

BIBLIOGRAFÍA

Todas las referencias deberán ser agrupadas en orden alfabético de autores, bajo el encabezado REFERENCIAS. Si un autor es referenciado más de una vez el mismo año, utilice el sufijo, a, b, etc. para distinguir referencias. Aquellos manuscritos que no han sido aceptados para publicación no deberán incluirse en las referencias. Solamente cuando el manuscrito sea de divulgación, 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 solo 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*, 35, 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, 61-67.

Ripa, P., y Velázquez, G., 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, 32, 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*, 85, 269-284.

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

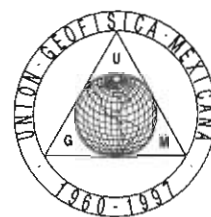
Por consideraciones de costo, únicamente se publicarán figuras en blanco y negro. Si las ilustraciones son elaboradas a mano, utilice tinta negra sobre papel albanene o mylar. Si las ilustraciones son elaboradas en computadora utilice una impresora láser.

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 de área. 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: _____

1.- ¿Contiene el trabajo datos o ideas originales que ameriten su publicación en una revista especializada? ¿Como la clasificaría? 1) Investigación, 2) Divulgación, 3) Noticia

1 2 3
☐ ☐ ☐

SI NO

2.- ¿Son válidas las observaciones y conclusiones?

☐ ☐

3.- ¿Son pertinentes y comprensibles el título y el resumen?

☐ ☐

4.- ¿Son necesarias y adecuadas las tablas y figuras presentadas?

☐ ☐

5.- ¿Son buenas la organización y presentación del trabajo?

☐ ☐

6.- ¿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)

MONOGRAFÍAS DE PRÓXIMA APARICIÓN

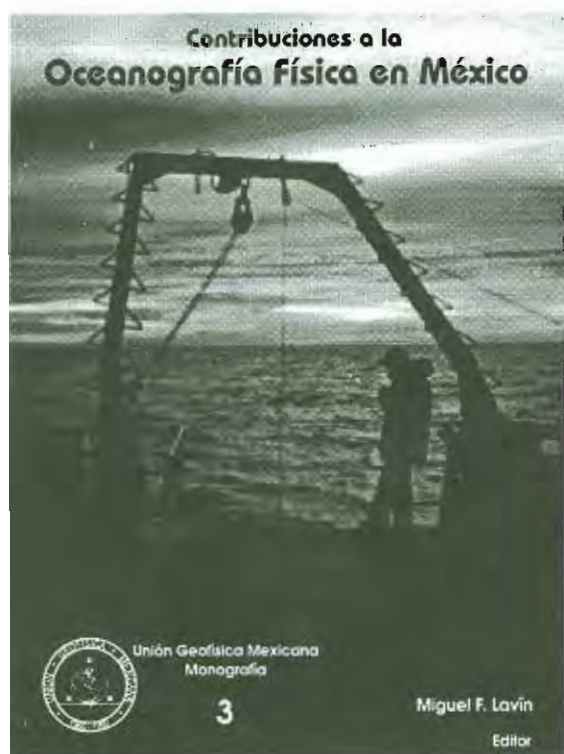


Tabla de Contenido

Prefacio

Lista de Autores

Parte I: Océano Pacífico Oriental

- 1 Oceanografía Física del Océano Pacífico Nororiental
- 2 Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec: La circulación costera inducida por el viento
- 3 Ondas y Dinámica Oceánica
- 4 Tsunamis en México
- 5 La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano

Parte II: Golfo de California

- 6 Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California
- 7 Estructura Hidrográfica y Circulación del Golfo de California: Escalas Estacional e Interanual
- 8 Evidencias de un remolino ciclónico de mesoescala en la parte sur del Golfo de California

Parte III: Golfo de México y Mar Caribe

- 9 Circulación y estructura termohalina del Golfo de México
- 10 Mareas y circulación residual en el Golfo de México
- 11 Aspectos de la Oceanografía Física Regional del Mar Caribe
- 12 Modelación Numérica del Golfo de México y Mar Caribe

Parte IV: Glosario

- 13 Glosario de Términos Oceanográficos

Contenido

Prólogo

Introducción

- 1 Catastrofismo, historia de una idea
- 2 La problemática de la extinción y el origen del evolucionismo
- 3 El período de extinción masiva contemporáneo
¿Podemos ponerle números?
- 4 ¿Dónde quedó el límite K/T?
- 5 Dinoflagelados a través del límite Cretácico-Terciario
- 6 Patrones de extinción (y radiación) en invertebrados a través del límite Cretácico-Terciario
- 7 La extinción de los rudistas
- 8 Los ostrácodos en la frontera del Cretácico-Terciario
- 9 El registro fósil de los neoselacios en el límite K/T
- 10 La extinción de los dinosaurios
- 11 ¿Qué pasó con los mamíferos en el límite Cretácico-Terciario?
- 12 El impacto de un asteroide y la Palinología en el límite Cretácico-Terciario
- 13 Muerte masiva vs. extinción de las plantas en la frontera del K/T
- 14 Asteroides y chubascos cometarios
- 15 Los primeros estudios del cráter de Chicxulub
- 16 El secreto de Chicxulub: algunas consideraciones geofísicas
- 17 Volcanes vs. cráteres de impacto; el caso del Chicxulub
- 18 El límite Cretácico-Terciario y el cráter de Chicxulub
- 19 Las rocas de impacto del cráter Chicxulub y el límite Cretácico-Terciario en México y áreas vecinas de América del Norte y el Caribe
- 20 El cráter del Chicxulub y la extinción de los dinosaurios
- 21 El límite K-T y su exploración en el cráter de Chicxulub



Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana que la cuota para 1997 es de \$ 150.00 (CIENTO CINCUENTA PESOS 00/100 M.N.).

Favor de hacer llegar su cuota a:

ó

Favor de hacer llegar su cuota a:

Juan García Abdeslem
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada
Ensenada, 22860, Baja California

Araceli Chaman
Instituto de Geofísica, UNAM
Depto. de Posgrado
Ciudad Universitaria
México, D.F., Del. Coyoacán, 04510

Con un cordial saludo.

M.C. Luis A. Delgado Argote
Secretario de Difusión

GEOS, revista a la venta en:



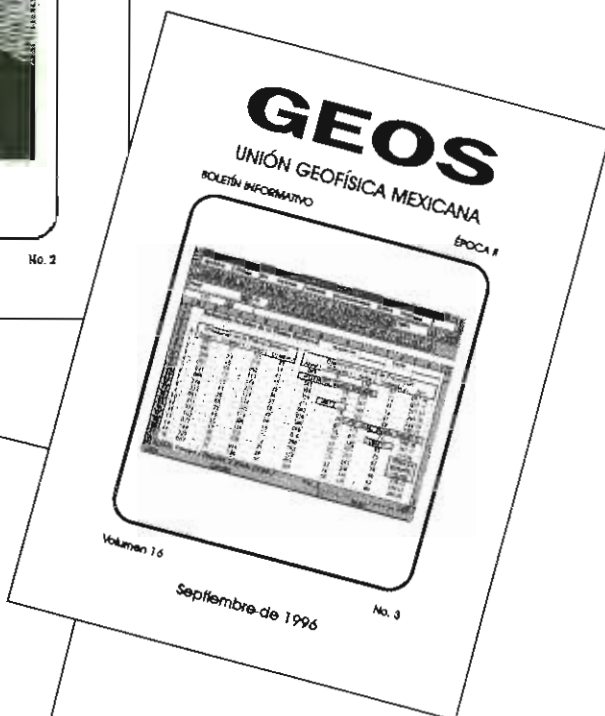
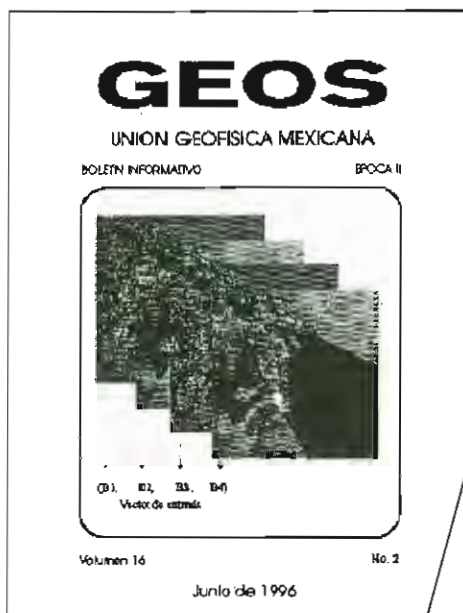
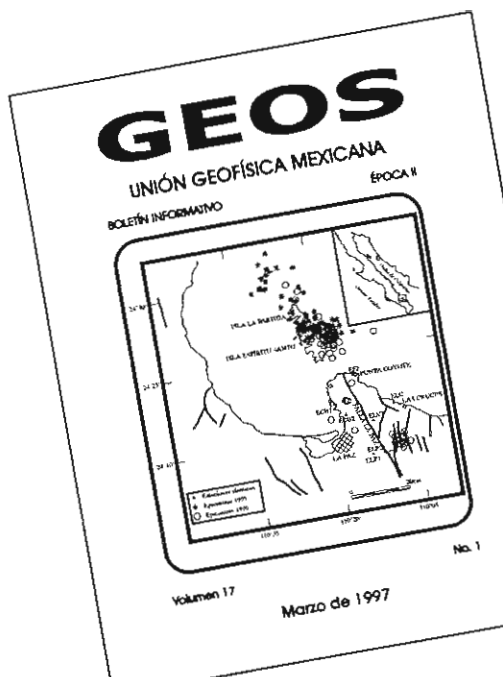
Instituto de Geofísica
Depto. de Posgrado
At'n: Araceli Chaman
Tel: 91(5) 622-4130 y 622-4137
E-mail: achaman@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx

6



División de Ciencias de la Tierra
Depto. de Geología
At'n: Victor M. Frías Camacho
Tel: 91(61)744-501 al 08
Ext: 26035
E-mail: vfrias@cicese.mx

Costo del ejemplar \$ 50.00



Tus trabajos de investigación y divulgación
tienen cabida en estos foros de la
Unión Geofísica Mexicana

