

GEOS

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II

Microsoft Excel - FIG1.XLS

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Arial 10

K23

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Reducción de datos de la Platina Universal							Muestra No:		Fecha:	
2											
3		Orientación en la Platina Universal					Orientación en la red de Proyección				
4	#	Azimut 1	Co-letitud 1	Azimut 2	Co-letitud 2	Azimut 1	Inclinación 1	Azimut 2	Inclinación 2	Eje C	
5	1	357	31	221	23	003	59	139	67	067 36	
6	2	061	23	275	14	=FIG1.XLSIU_StageAz_NetAz(B6)			76	007 41	
7	3	309	15	082	43	051	75	278		331 33	
8	4	001	45	143	17	359	45	217		298 26	
9	5	031	12	174	29	329	=90-C9	186	1	249 39	
10	6	089	14	231	38	271	76	129	52	190 32	
11	7	276	41	127	27	082	49	=FIG1.XLSIU_StageAz_NetAz(D11)			
12	8	332	25	184	16	028	65	176	74	088 36	
13	9	051	65	288	40	309	25	072	=90-E13	357 17	
14	10	271	22	174	08	089	68	186	82	114 66	
15	11	344	45	335	15	016	45	025	75	=Plane_Int	
16	12	102	15	141	23	258	75	219	67	(G15:H15;	
17	13	077	17	302	12	283	73	058	78	I15:I15)	
18	14	184	38	056	31	176	52	304	59	236 32	
19	15	329	20	024	28	031	70	336	62	344 62	
20	16	067	31	126	30	293	59	234	60	266 56	

Principal Proyección Macros Salida

Listo Calcular NUM

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

UNION GEOFISICA 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 EDITORIAL
Victor Manuel Frías Camacho

EDITOR TÉCNICO
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
Hubert Fabriol, Geotermia, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
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, Universidad de Colima
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 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 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	129
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
GEOQUÍMICA DE LA CONCHA DE OSTRÁCODOS (<i>LIMNOCYTHERE STAPLINI</i>) UN MÉTODO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE COMO INDICADOR PALEOCLIMÁTICO	130
Manuel R. Palacios-Fest	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
COMPUTACIÓN PARALELA EN LAS GEOCIENCIAS	137
José Gómez-Valdés	
UNA HOJA DE CÁLCULO PARA LA MANIPULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS DE ORIENTACIÓN	142
Francisco Correa-Mora y Gustavo Tolson	
PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL FALLAMIENTO FRÁGIL POR CIZALLA PARTE I: LA DEFORMACIÓN BIDIMENSIONAL	146
Ángel Francisco Nieto-Samaniego	
IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS DEL INTERIOR DE LA TIERRA: PARTE 1 ...	152
Enrique Gómez Treviño	
NOTAS CORTAS	
REPORTE DE LA SESION ESPECIAL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL: MEDICIONES GEODESICAS PRECISAS Y MONITOREO DE LA DEFORMACION CORTICAL EN MEXICO Y REGIONES ADYACENTES, REUNION ANUAL 1995 DE LA UNION GEOFISICA MEXICANA	155
Robert Reilinger, Javier González García y Yehuda Bock	
SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO	157
GRUPO RESNOM	
NOTICIAS DE LA UGM	
PREMIOS DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA	159
COMUNICACIONES	
ANUNCIOS	160
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	168
FORMA DE ARBITRAJE	170

EDITORIAL

¿JOSÉ ACOSTA?

Todas las disciplinas científicas tienen precursores que entrevieron la necesidad de romper con los sistemas ideológicos establecidos. La Física tiene a Galileo. Todos sabemos que Galileo tuvo la osadía de enfrentarse a la autoridad de Aristóteles en relación con la caída libre de los cuerpos, así como en otras cuestiones que por poco le cuestan la vida. Al final las ideas de Galileo prevalecieron. Sin embargo, no hay que creer que la obra de Aristóteles era del todo anticientífica, y que su autoridad se debía simplemente a imposiciones de la iglesia. En realidad, sus observaciones eran bastante cuidadosas y sus argumentos de tal manera convincentes que no era fácil refutarlo. Por eso es que fue tan difícil romper con algunos de sus esquemas. Hay que agregar que la mayor parte de su obra sigue siendo vigente. Podría incluso decirse que la estructura de nuestra educación sigue con el sello de Aristóteles, y que sólo hemos cambiado detalles de la misma. Los estudiosos del pre-renacimiento, por otra parte, eran educados directamente con los escritos de Aristóteles, lo cual hacía muy difícil ver las cosas de manera diferente a la descrita en sus trabajos. En este sentido lo mismo nos pasa a nosotros en relación con la tectónica de placas, por citar un ejemplo. Para los hombres del pre-renacimiento la explicación de los fenómenos geofísicos se encontraba en la *Meteorológica* de Aristóteles, en donde se trata el origen de los vientos, las mareas, la lluvia, los sismos, y las erupciones volcánicas. Nuestra visión actual de estos fenómenos es por supuesto muy diferente después de más de dos mil años de trabajos acumulados. Sin embargo, por lo mismo es que resulta importante preguntarse por el primero que vislumbró la necesidad de cambiar los esquemas Aristotélicos. Puesto de otra manera: ¿Quién le puso el cascabel al gato de los geofísicos? ¿Existió algún personaje que tuvo la osadía de enfrentarse a la autoridad de Aristóteles en cuestiones relacionadas con la Geofísica? De hecho así fue. Sí existió tal personaje. Se llamó José Acosta y publicó su trabajo en 1590, en Sevilla. Su obra despertó bastante interés y fue rápidamente traducida a varios idiomas. Realizó su trabajo durante 15 años, viajando frecuentemente y visitando lo que ahora son los países de Perú, Bolivia, Chile, y México. Fue lo bastante curioso e ingenioso para estudiar, simultáneamente, las mareas en los Océanos Pacífico y Atlántico, y para establecer que se trataba de fenómenos globales relacionados directamente con la posición de la luna. Y todo esto un siglo antes de los descubrimientos de Newton. Por otro lado, el estudio del clima en las zonas tropicales lo llevó a enfrentarse a las enseñanzas de Aristóteles sobre estos temas. Identificó, además, el punto donde la declinación del campo magnético de la tierra cambia de Este a Oeste. Sus extensas observaciones sobre sismos y erupciones volcánicas lo llevaron a concluir que tales fenómenos no tienen necesariamente el mismo origen. José Acosta sistematizaba sus observaciones y buscaba posibles explicaciones basándose en sus propias experiencias, aún al costo de enfrentarse con la autoridad de Aristóteles. Con estos antecedentes, uno se pregunta: ¿Podríamos haber tenido un pionero más digno para la Geofísica? ¿Uno más cercano a nosotros?

GEOQUÍMICA DE LA CONCHA DE OSTRÁCODOS (*LIMNOCYTHERE STAPLINI*) UN MÉTODO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE COMO INDICADOR PALEOCLIMÁTICO

Manuel R. Palacios-Fest

Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, Az 85721

RESUMEN

Estudios recientes indican que la incorporación de Mg^{2+} y Sr^{2+} en las valvas de ostrácodos adultos sucede en equilibrio termodinámico con el agua huésped y las conchas de ostrácodos de aguas continentales pueden ser utilizadas como indicadores geoquímicos paleoambientales. Si las concentraciones de estos iones en el agua están a su vez asociadas a los cambios en evaporación y precipitación entonces podría establecerse una conexión entre la química de las conchas y el clima. En este estudio se presentan modelos de regresión múltiple independientes para Mg^{2+} y Sr^{2+} que resultan de modelos experimentales de simulación de los efectos ambientales de temperatura y salinidad sin involucrar procesos termodinámicos. La alternativa propuesta en este estudio es que, es posible calcular las paleotemperaturas y paleosalinidades de antiguos cuerpos de agua en un solo paso, a través de un modelo de regresión múltiple con un término interactivo que puede establecer constantes aplicadas directamente a las relaciones $^m(Mg/Ca)_v$ y $^m(Sr/Ca)_v$, obteniendo las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Sr^{2+} en las conchas de ostrácodos mediante espectrometría de masas por plasma inducido (ICP-MS). En el presente estudio el suprafijo "m" sintetiza el término relación molar, y los sufijos "v" y "w", se aplican a las relaciones molares de los elementos traza contra calcio (expresadas por la ecuación Te/Ca , donde Te es Mg^{2+} o Sr^{2+}) en las valvas y el agua, respectivamente. Las constantes generadas en este estudio proceden de los análisis experimentales de 46 valvas de la especie *Limnocythere staplini*, un ostrácodo euritópico común en Norteamérica (desde Alaska hasta el centro de México).

Los resultados de este estudio demuestran que la captura de Mg^{2+} y Sr^{2+} por *Limnocythere staplini* guardan estrecha relación con las condiciones ambientales dominantes en el reservorio. La concentración de Mg^{2+} en las valvas indica que, como en casos anteriores, responde a la temperatura del agua en el momento de calcificación. Sin embargo, contrario a lo observado anteriormente, este estudio sugiere que la concentración de este ión en el agua no es un factor determinante en el proceso de adsorción por *Limnocythere staplini*, y por lo tanto la ecuación para obtener el coeficiente de partición $K_p [Mg] = (Mg/Ca)_v / (Mg^{2+}/Ca^{2+})_w$ no es aplicable. Por otra parte, la concentración de Sr^{2+} en las mismas valvas sugiere que su adsorción está en estrecha relación con la concentración del mismo en el agua, tal y como ha sido sugerido previamente. Sin embargo, en este trabajo se sugiere que la concentración de Sr^{2+} en las valvas de *Limnocythere staplini* indica la salinidad del agua sin necesidad de calcular el coeficiente de distribución del estroncio. El presente estudio propone el uso de constantes matemáticas generadas a través de modelos de regresión múltiple. Estas constantes fueron calibradas contra poblaciones naturales modernas del género *Limnocythere* (*L. staplini* y *L. ceriotuberosa*) procedentes de varias ciénagas en el Estado de Utah y de poblaciones subfósiles de canales de irrigación de los indios Hohokam en el valle de Phoenix, Arizona, ambas en los Estados Unidos de América.

ABSTRACT

Recent studies indicate that Mg^{2+} and Sr^{2+} uptake by adult ostracode valves occur in thermodynamic equilibrium between the host water and the valve. Thus, ostracode valves may be used as geochemical paleoenvironmental indicators. If the ionic concentrations of these elements in the water are related to evapotranspiration and precipitation, then it is possible to correlate ostracode valve chemistry to climate. This study presents independent multiple regression models for Mg^{2+} and Sr^{2+} developed from the experimental simulation of environmental effects of temperature and salinity regardless of thermodynamic processes. Here it is suggested that paleotemperature and paleosalinity of ancient water bodies may be calculated in a one-step strategy, by means of multiple regression models with an interactive term for temperature that have generated constants directly applicable to the $^m(Mg/Ca)_v$ and $^m(Sr/Ca)_v$ ratios; where, the superscript "m" is used to express molar ratio, and the subscripts "v" and "w" are applied to the molar ratios in the valve and water, respectively. The constants resulted from the geochemical analysis of 46 individual valves of *Limnocythere staplini*, an eurytopic and ubiquitous ostracode in North America (from Alaska to central Mexico).

The results obtained in this study demonstrate that Mg^{2+} and Sr^{2+} uptake by *Limnocythere staplini* is closely related to the environment. Mg^{2+} concentration in the valves suggested, as previously stated in other studies, that it occurs as a function of water temperature. However, in contrast to previous studies, this work suggests that this ion concentration

in water has little effect, if any, during its adsorption by *Limnocythere staplini*. Thus, the partition coefficient (Kp) equation commonly used to determine the mineral to water relationship: $Kp [Mg] = (Mg/Ca)_v / (Mg^{2+}/Ca^{2+})_w$ is not applicable. In addition, Sr^{2+} concentration in the valves shows that its adsorption is closely related to the ion's concentration in water, as suggested in previous studies. However, this study suggests that the Sr^{2+} concentration in *Limnocythere staplini* indicates the overall salinity and so, makes unnecessary to apply the distribution coefficient equation for Sr. This study proposes the use of mathematical constants derived from multiple regression models. The constants developed here were calibrated against natural modern population of the genus *Limnocythere* (*L. staplini* and *L. ceriotuberosa*) from several ponds in Utah and subfossil populations from irrigation canals built by the Hohokam Indians in the valley of Phoenix, Arizona, both in the United States of America.

INTRODUCCIÓN

En el ambiente continental, los sedimentos de cuencas lacustres cerradas proporcionan excelentes archivos del cambio climático a través del tiempo. Los ostrácodos se encuentran entre los fósiles continentales más comunes en depósitos lacustres.

Las conchas de ostrácodos compuestas de calcita baja en magnesio (únicamente) capturan principalmente Mg y Sr del agua huésped en forma de elementos traza durante la calcificación del nuevo caparazón que se produce después de la muda de la concha anterior. Estos elementos traza pueden ser utilizados como indicadores paleoambientales (Chivas et al., 1983, 1985, 1986a y b, 1993; Engstrom y Nelson, 1991; Holmes et al., 1992). Chivas et al. (1983, 1985, 1986a, 1986b, 1993) asumen que dicha incorporación de elementos traza sucede en equilibrio termodinámico entre el organismo y el agua. Por lo tanto, es necesario definir los coeficientes de partición (Kp) para Mg y Sr, respectivamente, con el objeto de obtener paleotemperaturas y paleosalinidades a partir de esos modelos.

En este trabajo se propone que la incorporación de elementos traza no sucede en estricto equilibrio termodinámico sino que resulta de mecanismos biocinéticos que a su vez responden a la temperatura ambiente y a la concentración de los sólidos disueltos totales en el agua. Aun cuando no existen a la fecha estudios documentados sobre la fisiología de ostrácodos, los experimentos realizados en este estudio sugieren que los ostrácodos controlan de alguna manera la incorporación de elementos traza, particularmente Mg. Turpen y Angell (1971) demuestran que los ostrácodos capturan iones disueltos en el agua para calcificar sus caparazones. Cadot y Kaesler (1977) señalan que al momento de iniciar la calcificación, el organismo produce células calcificadoras que van capturando minerales y precipitando calcita baja en magnesio directamente sobre la pared de quitina en pequeños mosaicos. En estados juveniles, cuando el proceso de calcificación ocurre rápidamente, el contenido de Mg es mayor y da lugar a la calcificación de calcita alta en magnesio, pero esta relación cambia gradualmente con la maduración del organismo hacia la formación de calcita baja en magnesio. Por lo tanto, en este estudio se sugiere que la incorporación de elementos traza en las valvas de *Limnocythere staplini* no es un

mecanismo simple entre cuerpos inertes (mineral/agua) sino el resultado de un proceso biológico en el que cinéticamente el ostrácodo dispone de sus recursos ambientales para calcificar su caparazón. Este argumento requiere comprobación experimental para determinar la naturaleza precisa en que el organismo controla la captura de iones.

En consecuencia, en el presente estudio se parte del concepto de que la captura de elementos traza por *Limnocythere staplini* puede calcularse independientemente del equilibrio termodinámico, mediante la conversión directa de las relaciones ${}^m(Mg/Ca)_v$ y ${}^m(Sr/Ca)_v$ en valores de temperatura y salinidad, respectivamente, a partir de modelos de regresión múltiple. Se presentan dos modelos de regresión múltiple con un término interactivo para temperatura que permite usar la relación ${}^m(Mg/Ca)_v$ como paleotermómetro y la relación ${}^m(Sr/Ca)_v$ como paleosalinómetro sin depender de la relación ${}^m(Mg^{2+}/Ca^{2+})_w$ y ${}^m(Sr^{2+}/Ca^{2+})_w$ con las valvas. El suprafijo "m" se usa en este estudio para sintetizar la expresión "relación molar", y los sufijos "v" y "w" se utilizan para diferenciar las relaciones molares de elementos traza contra calcio (expresadas por la ecuación Te/Ca , donde Te es Mg^{2+} o Sr^{2+}) en las valvas y el agua, respectivamente. También para distinguir entre los iones libres en solución y aquellos en la concha se incluye la carga en los primeros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron muestras de agua y sedimentos conteniendo *Limnocythere staplini* de Antero Pond, South Park, Colorado, EEUU (Figura 1). *L. staplini* es un ostrácodo citeráceo euritópico, pequeño y cosmopolita. Los adultos de esta especie miden entre 600 y 800 mm de longitud y pesan entre 5 y 10 mg, viven en aguas ricas en Ca^{2+} pobres en HCO_3^- , no-alcalinas y dominadas por Na^+ , Mg^{2+} y Cl^- o SO_4^{2-} .

En el laboratorio se prepararon cinco acuarios para cultivar esta especie a cinco concentraciones (10,000; 15,000; 20,000; 25,000 y 30,000 mMhos/cm) y tres temperaturas (15°, 20° y 25°C). Se diseñaron tres experimentos (uno para cada temperatura) para entender los mecanismos de control en la captura de elementos traza por *L. staplini*. En cada acuario se colocaron aproximadamente 300 g de sedimentos del lago y a ellos se les agregó 1 litro de agua (del lago) previamente diluida en decrementos de 5,000 mMhos/cm. Durante los experimentos se mantuvo el volumen y la concentración de

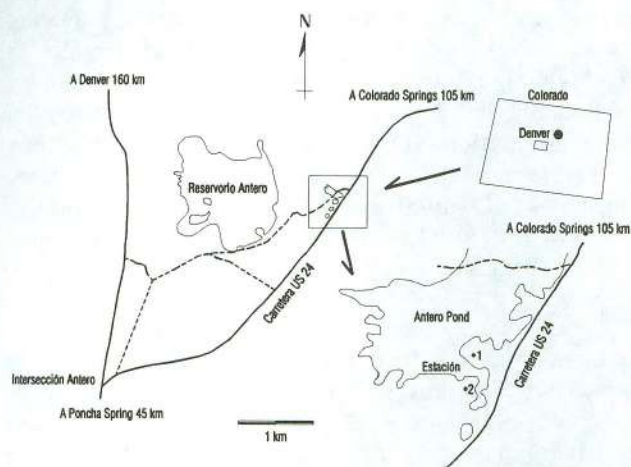


Figura 1. Mapa de localización de muestras en Antero Pond, South Park, Colorado, EEUU.

los acuarios agregando agua diluida a la concentración correspondiente. Otros dos experimentos a 5 y 10°C se intentaron infructuosamente. Después de un período de adaptación y maduración de cuatro semanas, 20 ejemplares adultos y 1 ml de agua de cada acuario fueron extraídos para su análisis espectrométrico.

Se obtuvieron un promedio de 15 análisis químicos y de temperatura en 15 ejemplares por cada experimento. No se obtuvieron las concentraciones de 10,000 y 15,000 mMhos/cm durante el experimento a 15°C ya que los ostrácodos murieron antes de mudar sus exoesqueletos.

Las valvas fueron separadas mecánicamente con instrumental microquirúrgico bajo un microscopio estereoscópico. Los residuos quitinosos y otras adherencias fueron eliminadas sumergiendo las valvas en una solución de peróxido de hidrógeno al 5%, a temperatura ambiente durante 30 minutos. Las valvas fueron enjuagadas cuatro veces en agua milliQ <18 WOhm. Entonces, se pesó cada concha usando una balanza electrónica Cahn 29 (± 0.002 mg) y se disolvió en 3 ml de una solución de HCl destilado al 2% (0.12N).

Las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Sr^{2+} fueron determinadas por espectrometría de plasma inducido (ICP-MS), tanto de las aguas, como de las conchas. Los límites de detección del espectrómetro para Mg^{2+} y Sr^{2+} fueron 0.1 ppb y 10 ppb para Ca^{2+} ; 2s arriba de la base. Todos los análisis se hicieron usando estándares de elementos múltiples preparados con soluciones estándares de Spex. Las relaciones $m(\text{Te}/\text{Ca})_v$ fueron utilizadas para determinar los modelos de regresión múltiple para Mg^{2+} y Sr^{2+} para determinar la temperatura y salinidad del agua en los experimentos. Para propósitos estadísticos se utilizó como cota estándar de significancia $\alpha = 0.05$.

Para verificar la viabilidad de las constantes generadas mediante los modelos de regresión múltiple, se realizaron

dos calibraciones independientes, una en poblaciones naturales de dos especies del género *Limnocythere* (*L. staplini* y *L. ceriotuberosa*) procedentes de varias ciénagas en el Estado de Utah, EEUU. Las calibraciones generadas a partir de estas poblaciones fueron comparadas con las mediciones de campo obtenidas durante el verano de 1995 por el autor y sus colegas (Andrew S. Cohen, David Dettman and Simone Alin). La otra calibración se obtuvo a partir de poblaciones subfósiles colectadas en canales de irrigación construidos por los Indios Hohokam (entre los años 700 y 1450 D.C.) en el valle de Phoenix, Arizona, EEUU. Las calibraciones de esta última localidad fueron comparadas con los registros climatológicos y de química del agua del Río Salt publicados por el Departamento de Agricultura entre 1876 y 1995 (National Climatic Data Center y United States Water Supply Department).

RESULTADOS

La constante y coeficientes generados en este estudio fueron obtenidos a partir de las tres relaciones empíricas e independientes entre el agua y los cocientes $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$ de las valvas adultas de *L. staplini*, para la temperatura (temperaturas experimentales). La constante y coeficientes generados para las salinidad fueron obtenidos a partir de las cinco relaciones empíricas e independientes (salinidades experimentales) entre el agua y los cocientes $m(\text{Sr}/\text{Ca})_v$ de las mismas valvas. La relación lineal establecida usando los tres puntos proporciona la correlación entre la temperatura y salinidad del agua y las relaciones $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$ y $m(\text{Sr}/\text{Ca})_v$, respectivamente (Tabla I y Figura 2). Estos resultados son similares a los obtenidos por Wansard (1996) para otra especie eurialina de Europa (*Cyprideis torosa*).

Tabla 1. Datos geoquímicos obtenidos de las valvas de *Limnocythere staplini*. Se incluyen las temperaturas (°C) y salinidades (ppm de SDT) experimentales, procedencia del ejemplar (No. de muestra), réplica, peso de la valva en mg, contenido en mg de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y Sr^{2+} en la valva, concentración de Mg^{2+} y Sr^{2+} en ppm de CaCO_3 , relaciones $m(\text{Te}/\text{Ca})_v$ y valores estimados de temperatura y salinidad usando los modelos de regresión múltiple diseñados en este trabajo.

Temperatura y salinidad experimentales		Temperatura Empírica $m(\text{Mg}/\text{Ca})$		Salinidad Empírica $m(\text{Sr}/\text{Ca})$	
(°C)	SDT (ppm)	Media	Media $\pm 2s$	Media	Media $\pm 2s$
25°	9100	0.0183	26.1 $\pm$ 4.8	0.0023	11200 $\pm$ 1000
	13650			0.0028	13700
	18200			0.0030	14800 $\pm$ 1500
	22750			0.0029	13900 $\pm$ 300
	27300			0.0030	14700 $\pm$ 500
20°	8900	0.0140	20.2 $\pm$ 2.3	0.0019	9300 $\pm$ 1200
	13400			0.0023	10900 $\pm$ 1100
	17950			0.0024	11800 $\pm$ 500
	22500			0.0028	13600 $\pm$ 1300
	27000			0.0030	
15°	18550	0.0114	16.5 $\pm$ 1	0.0018	8500 $\pm$ 400
	23000			0.0023	11200 $\pm$ 400
	27650			0.0028	13500 $\pm$ 400

Los resultados de este estudio muestran que los cocientes $m(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+})_w$ no guardan relación con los

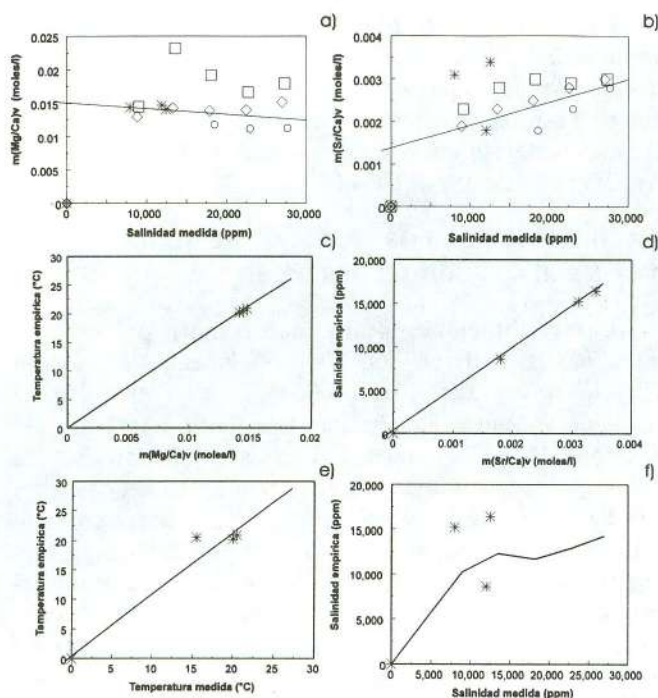


Figura 2. Diagramas de distribución de las relaciones $m(\text{Te}/\text{Ca})_v$ ($\text{Te} = \text{Mg}$ o Sr) en función de la salinidad, en partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales (SDT) y las temperaturas y salinidades estimadas usando los modelos de regresión múltiple descritos en el texto; a) $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$ contra SDT, en la que $a_0 = \text{constante}$, $a_1 = \text{coeficiente para salinidad}$ y $a_2 = \text{coeficiente para el término interactivo (temperatura)}$; b) $m(\text{Sr}/\text{Ca})_v$ contra SDT, en la que $b_0 = \text{constante}$, $b_1 = \text{coeficiente para salinidad}$ y $b_2 = \text{coeficiente para el término interactivo (temperatura)}$; c) temperaturas estimadas contra $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$; d) salinidades estimadas contra $m(\text{Sr}/\text{Ca})_v$; e) comparación de temperaturas medidas contra estimadas; y f) comparación de salinidades medidas y estimadas. (Simbología para las figuras (a) y (b): Cuadros = datos experimentales a 25°C; rombos = datos experimentales a 20°C; círculos = datos experimentales a 15°C. Simbología para las figuras de la (c) a la (f): círculos cerrados = experimentos y estrellas negras = calibraciones con poblaciones naturales de ciénagas de Utah, EEUU.)

cocientes de las valvas (Palacios-Fest, 1994a). Además, el diseño experimental demuestra que la relación $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$ es independiente de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en el agua, pero depende fuertemente de la temperatura a la que ocurre la calcificación (Figura 2a y 2c). Por lo tanto, en esta investigación se propone un modelo de regresión múltiple entre $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$ y la salinidad, con un término interactivo para la temperatura, ecuación (1):

$$m\left(\frac{\text{Mg}}{\text{Ca}}\right)_v = \alpha_0 + \alpha_1 \times \text{SDT} + \alpha_2 \times T(^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

donde la constante $\alpha_0 = -0.00083$ parte muy cerca del origen, el coeficiente $\alpha_1 = 2 \times 10^{-7}$ no es significativamente diferente de cero (índice de probabilidad: $p > 0.05$), pero el coeficiente $\alpha_2 = 0.00074$ es significativamente diferente de cero ($p < 0.001$).

Puesto que α_1 no es diferente de cero, entonces la ecuación (1) puede reorganizarse para calcular temperaturas en la ecuación (2):

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{m\left(\frac{\text{Mg}}{\text{Ca}}\right)_v - \alpha_0}{\alpha_2} \quad (2)$$

Con respecto al Sr^{2+} , este estudio pone en evidencia la estrecha relación entre este ión y el Ca^{2+} disuelto en el agua, condiciones previamente definidas por Chivas et al. (1983). Los resultados de este estudio muestran que la relación $m(\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+})_w$ guarda relación con aquella de las valvas (Palacios-Fest, 1994a). Sin embargo, el diseño experimental demuestra que la relación $m(\text{Sr}/\text{Ca})_v$ es independiente de la temperatura del agua pero depende fuertemente de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) a la que ocurre la calcificación (Figura 2b y 2d). Por lo tanto, en esta investigación se propone un modelo de regresión múltiple entre $m(\text{Sr}/\text{Ca})_v$ y la salinidad, con un término interactivo para la temperatura, ecuación (3):

$$m\left(\frac{\text{Sr}}{\text{Ca}}\right)_v = \beta_0 + \beta_1 \times \text{SDT} + \beta_2 \times T(^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

donde la constante $\beta_0 (= 7 \times 10^{-5})$, parte muy cerca del origen, el coeficiente $\beta_1 (= 2 \times 10^{-7})$ es significativamente diferente de cero ($p < 0.001$) pero el coeficiente $\beta_2 (= 7 \times 10^{-5})$ no lo es ($p > 0.05$). Puesto que β_2 no es diferente de cero, la ecuación (3) puede reorganizarse para calcular salinidades (como SDT) en la ecuación (4):

$$\text{SDT} = \frac{m\left(\frac{\text{Sr}}{\text{Ca}}\right)_v - \beta_0}{\beta_1} \quad (4)$$

DISCUSIÓN

L. staplini demuestra ser una especie con potencial para la reconstrucción de las condiciones de temperatura y salinidad de los paleolagos en los que esta especie se haya preservado como fósil. En contraste con estudios previos (Chivas et al., 1983, 1985, 1986a y b, 1993; Engstrom y Nelson, 1991; Holmes et al., 1992) en los que la relación $m(\text{Te}^{2+}/\text{Ca}^{2+})_w$ es considerada un factor de control en la relación $m(\text{Te}/\text{Ca})_v$, en el presente estudio se considera que dicha relación no es necesariamente importante. Los coeficientes de partición K_p $[\text{Mg}]$ generados en este trabajo para *Limnocythere staplini*, oscilaron entre 0.0007 (a 15°C) y 0.0018 (a 25°C). Al aplicarlos a las relaciones $m(\text{Mg}/\text{Ca})_v$ experimentales, generaron temperaturas medias entre 8 y 21°C, es decir de 4 a 7°C por abajo de las temperaturas experimentales. En tanto que, mediante los modelos de regresión múltiple, las temperaturas medias calculadas se apartaron de las experimentales entre

0.5 y 1.5°C. Este comportamiento implica que mientras que el Kp [Mg] no sólo es dependiente de la temperatura sino también de la relación $m(Mg^{2+}/Ca^{2+})_w$ en el agua, la relación $m(Mg/Ca)_v$ en las valvas de ostrácodos, a temperatura constante, no es una relación lineal con el cociente $m(Mg^{2+}/Ca^{2+})_w$. Tal comportamiento ha sido también reportado por Wansard (1996) para *Cyprideis torosa*.

Con el aumento de la temperatura del agua aumenta la concentración de Mg^{2+} en las valvas de *L. staplini* (Figura 2c). La respuesta del Mg^{2+} en *L. staplini* a la temperatura hace de esta especie un paleotermómetro confiable para la reconstrucción de las paleotemperaturas de lagos en el registro geológico. Sin embargo, la variabilidad en el contenido de Mg^{2+} en los caparazones de *L. staplini* aumenta considerablemente con el incremento de la temperatura del agua (desde 5% a 15°C hasta 30% a 25°C). Esta creciente variabilidad sugiere que el organismo juega un papel importante en la captura de Mg^{2+} , por lo que se sugiere que se realicen nuevos estudios enfocados a este aspecto para establecer el significado del efecto biocinético en el proceso de calcificación de las valvas de *L. staplini*.

Con el aumento de la salinidad del agua aumenta la concentración de Sr^{2+} en las valvas de *L. staplini* (Figura 2d). La concentración de Sr^{2+} en las valvas de *L. staplini* también parece responder más claramente a la concentración total de sólidos disueltos en el agua huésped que a su relación directa con el Ca^{2+} , por lo que esta especie puede ser un potencial paleosalinómetro en la reconstrucción de paleosalinidades de lagos en el registro geológico, en la medida en que no haya efectos diagenéticos significativos en la calcita. Sin embargo, la captura de Sr^{2+} por estos ostrácodos enfrenta una limitación importante. Estos experimentos muestran que las valvas de *L. staplini* capturan Sr^{2+} progresivamente hasta una salinidad máxima de 15,000 ppm SDT. Por arriba de dicha concentración, la valva de calcita alcanza la saturación con respecto a Sr^{2+} y la incorporación de este ión se estabiliza o declina, incluso abruptamente. Por lo tanto, la aplicación de este paleosalinómetro no es recomendable si se sospecha que el paleolago alcanzó salinidades superiores a 15,000 ppm SDT.

Los resultados de estos experimentos generan una alternativa provocativa para el análisis de la química de valvas de ostrácodos y su aplicación a la reconstrucción de ambientes lacustres pasados. La generación de modelos de regresión múltiple independientes del modelo de equilibrio termodinámico, manejado hasta ahora como la única forma de usar a los ostrácodos, podría convertirse en un recurso poderoso para la reconstrucción ambiental.

Nuevos estudios sobre ésta y otras especies de ostrácodos son importantes para determinar la viabilidad de este procedimiento. Para verificar si las constantes derivadas de los modelos de regresión múltiple propuestos en este estudio son razonables, estas se calibraron contra poblaciones modernas naturales de dos especies del género

Limnocythere (*L. staplini* y *L. ceriotuberosa*) colectadas en varias ciénagas en el Estado de Utah, EEUU. Las constantes también se utilizaron en la reconstrucción ambiental de antiguos canales de irrigación construidos por la civilización Hohokam del suroeste de los Estados Unidos (Tempe, Arizona; Palacios-Fest, 1994a y b).

CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE A ESTUDIOS DE CAMPO

Las calibraciones preliminares sobre poblaciones modernas se hicieron con 20 ejemplares de *L. staplini* (estaciones 1 y 3) y 10 especímenes de *L. ceriotuberosa* (estación 2) colectados en tres estaciones a lo largo del Estado de Utah (Figura 3). Se analizaron 10 individuos de cada estación. La primera localidad ubicada en la Cuenca del Río Sevier, al sur del estado, está en la intersección Long Valley (~2200 m de altitud), entre la Meseta Paunsaugunt (al oeste) y la Meseta Markagunt (al este) en la parte sur del Bosque Nacional Dixie, que caracterizan el drenaje del río. Las estaciones 2 y 3 se encuentran dentro de la Cuenca del Great Salt Lake. La segunda localidad, las "Burrington Ponds" (1700 m de altitud), se encuentra a unos 45 km al sur de Provo cerca del Reservorio Mona abastecido por acuíferos que circundan el área. La tercera localidad está ubicada en el Refugio para Aves Migratorias del Río Bear (1500 m de altitud) a unos 25 km al noroeste de Ogden.

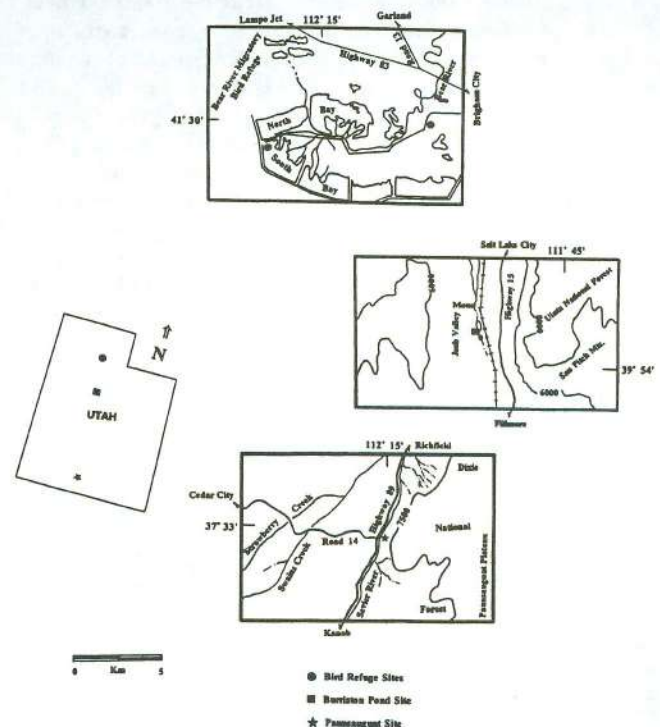


Figura 3. Mapa de localización de las estaciones de muestreo y procedencia de los ejemplares (de poblaciones naturales modernas) utilizados para la calibración preliminar de las constantes y coeficientes derivados de los modelos de regresión múltiple generados en este estudio.

En el campo se obtuvieron las temperaturas del agua y del aire, la conductividad, oxígeno disuelto, pH y elementos mayores del agua. La temperatura y la composición química del agua fueron utilizados para las calibraciones que se muestran en la Figura 2. Tanto *L. staplini* como *L. ceriotuberosa* generaron relaciones $^{26}\text{Mg}/\text{Ca}_v$ y $^{87}\text{Sr}/\text{Ca}_v$ altamente correlacionables con las relaciones obtenidas de los ejemplares experimentales (Figuras 2a y b). Al aplicar a las relaciones $^{26}\text{Mg}/\text{Ca}_v$ y $^{87}\text{Sr}/\text{Ca}_v$ de los ejemplares de campo, las constantes derivadas de los modelos de regresión múltiple diseñados en estos experimentos, se obtuvieron estimaciones de temperatura y salinidad afines a las medidas en el campo. Por ejemplo, las temperaturas estimadas a partir de las poblaciones naturales oscilaron entre 20 y 21°C en tanto que, las temperaturas obtenidas en el campo fluctuaron entre 15.5 y 20.5°C (Figura 2e). Salvo la población de la estación 1 que muestra una diferencia notable entre los valores inferidos y los medidos, las otras dos poblaciones, con un margen de error de 0.5°C, indican que las constantes son altamente confiables para su empleo como paleotermómetros en Norteamérica.

Por otra parte, las salinidades también mostraron un comportamiento afín entre las estimaciones de laboratorio, que variaron entre 8,000 y 16,000 ppm, y los valores de salinidad medidos en el campo que oscilaron entre 8,000 y 12,500 ppm (Figura 2f). En este caso, sin embargo, es evidente que el margen de error fué mayor (de 500 a 4,500 ppm) que en el caso de la temperatura, lo cual sugiere que el organismo puede ejercer un mayor control sobre la incorporación de estroncio que sobre el magnesio. Por ello, aún cuando las constantes derivadas de las relaciones $^{87}\text{Sr}/\text{Ca}_v$ experimentales parecen viables, es recomendable aplicarlas con precaución, pues además de los efectos biológicos mostrados por las poblaciones vivas, podrían agregarse los efectos diagenéticos en las poblaciones fósiles y subfósiles.

La calibración sobre material paleoecológico se efectuó sobre ejemplares de *L. staplini* procedentes de canales de irrigación construidos por la cultura Hohokam. Los Hohokam son la única cultura pre-Colombina conocida que haya construido sistemas de irrigación en los Estados Unidos. En este ejemplo, se midieron las relaciones $^{87}\text{Sr}/\text{Ca}_v$ en 129 valvas de *Limnocythere staplini* presente en 19 muestras de sedimentos de canal (incluyendo tres canales históricos usados entre 1885 y 1892). La figura 4a muestra una buena covarianza entre las curvas de $^{26}\text{Mg}/\text{Ca}_v$ y $^{87}\text{Sr}/\text{Ca}_v$ a través de la historia de los canales.

Las relaciones $^{26}\text{Mg}/\text{Ca}_v$ generaron valores de temperatura bajos, comparados con la temperatura media anual para la región de Phoenix, Arizona, pero razonables si se asume que estos canales debieron estar en operación principalmente durante la primavera (Figura 4b). Las temperaturas estimadas son consistentes con los registros de temperatura atmosférica mínima de invierno a primavera (finales de febrero a principios de mayo) del United States Water Supply Department (1876-1990). Dado que estos

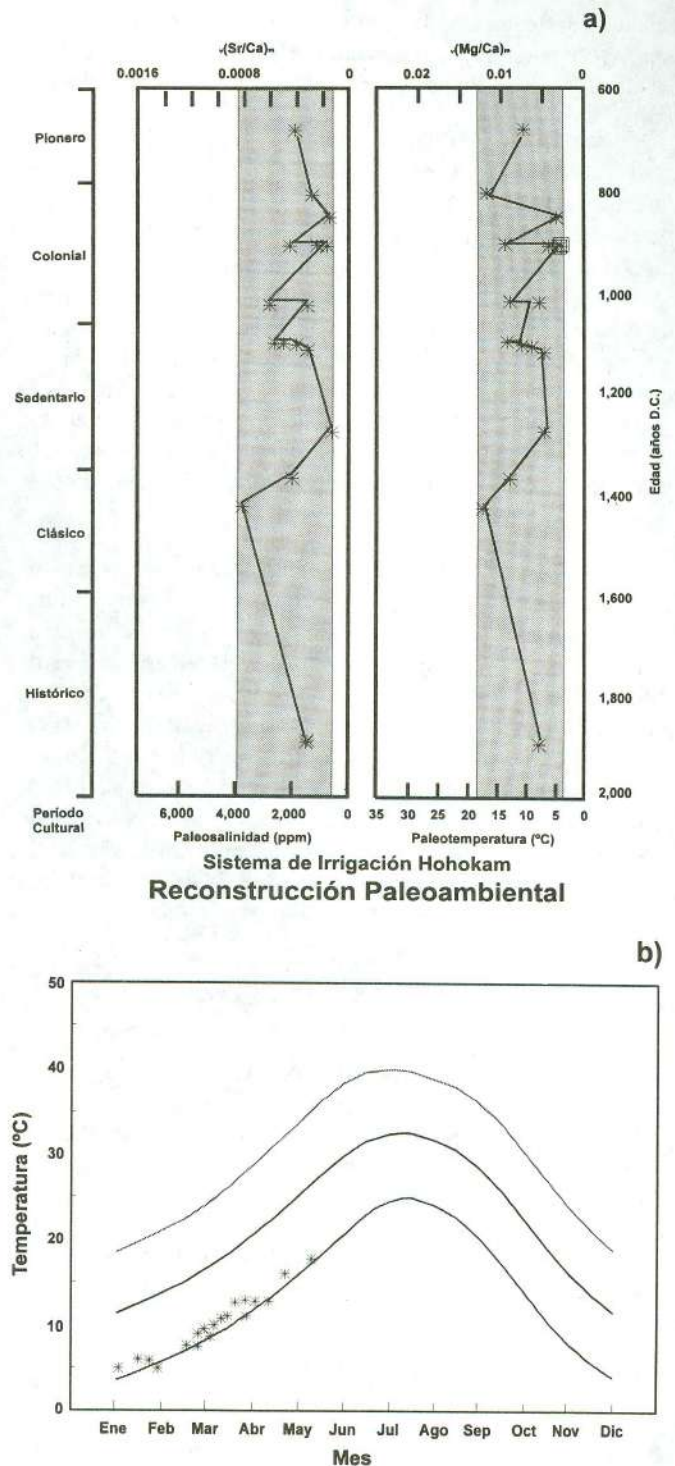


Figura 4. a) Reconstrucción paleoambiental del Sistema de Irrigación Hohokam en Las Acequias, Tempe, Arizona, EEUU (Palacios-Fest, 1994b), utilizando los modelos de regresión múltiple diseñados en este trabajo; y b) comparación de temperaturas estimadas contra los registros climatológicos de temperaturas mínimas para el área de Phoenix, Arizona entre 1876 y 1995.

canales son muy someros (<60 cm de profundidad), es razonable suponer que las temperaturas de las aguas de los

canales reflejen las del ambiente durante la noche y el amanecer (cuando los ostrácodos mudan sus exoesqueletos) en la Cuenca de Phoenix durante la ocupación Hohokam.

Las relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, por su parte, también generaron valores de salinidad (ppm) consistentes con las salinidades medidas a principios de este siglo en el Río Salt en Tempe, Arizona (800-1200 ppm; Ackerly, 1989), surtidor de los canales históricos (llamados Peterson Ditch) incluidos en este reporte. Ackerly (1989) sugirió que la salinidad del río aumenta corriente abajo y por ello hacia las partes terminales de los canales de irrigación mismos. La bioestratigrafía de los ostrácodos (Palacios-Fest, 1994b) registró cambios en la química del agua que están de acuerdo con las estimaciones geoquímicas generadas en este estudio y que detectan tanto eventos climáticos como patrones de impacto humano durante la ocupación Hohokam.

En conclusión, como lo han demostrado estudios previos los elementos traza, Mg^{2+} y Sr^{2+} , responden a la temperatura y la salinidad, respectivamente. A diferencia de otros estudios, en este trabajo se sugiere que la incorporación de Mg^{2+} y Sr^{2+} en las valvas de ostrácodos no sucede en equilibrio termodinámico entre los organismos y el agua, sino posiblemente bajo el control biocinético de los individuos. Por lo tanto, es posible que los modelos de regresión múltiple en función directa de los parámetros de temperatura y salinidad tengan mayor aplicabilidad que los que requieren la obtención de los coeficientes de partición, K_p .

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincera gratitud a Ana Luisa Carreño por incitarme a preparar este trabajo. Andrew S. Cohen, Richard M. Forester y Joaquín Ruíz hicieron comentarios, sugerencias y contribuciones importantes a la versión previa de este estudio. También estoy en deuda con mis arbitros J. Manuel Grajales y Arturo Martín B. por sus valiosas observaciones y sugerencias, y con Luis A. Delgado por su estímulo para la elaboración final del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackerly, N.W. 1989. Changes in the study area during historic period; in: Ackerly, N.W. and T.K. Henderson (Eds.). *Prehistoric agricultural activities on the Lehi-Mesa Terrace: Perspectives on Hohokam irrigation cycles*, pp. 18-45. Flagstaff: Northland Research.
- Cadot, H. and Kaesler, R. 1977. Magnesium content of calcite in carapaces of benthic marine ostracodes. *Paleontological Contributions, University of Kansas*, 87: 1-23.
- Chivas, A.R., P. De Deckker, and J.M.G. Shelley. 1983. Magnesium, strontium and barium partitioning in nonmarine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions: A preliminary study; in: Maddocks, R.F. (ed.). *Applications of Ostracoda*; Dept. of Geosciences, University of Houston, Houston, Texas, págs. 238-249.
- Chivas, A.R., P. De Deckker, and J.M.G. Shelley. 1985. Strontium content of ostracodes indicate lacustrine paleosalinity; *Nature*, 316: 251-253.
- Chivas, A.R., P. De Deckker, and J.M.G. Shelley. 1986a. Magnesium content of nonmarine ostracode shells: a new paleosalinometer and paleothermometer; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 54: 43-61.
- Chivas, A.R., P. De Deckker, and J.M.G. Shelley. 1986b. Magnesium and strontium in nonmarine ostracode shells as indicators of paleosalinity and paleotemperature; *Hydrobiologia*, 143: 135-142.
- Chivas, A.R., P. De Deckker, J.A. Cali, A. Chapman, E. Kiss, and J.M.G. Shelley. 1993. Coupled stable-isotope and trace-element measurements of lacustrine carbonates as paleoclimatic indicators, Chapter 9; in: Swart, P.K., K.C. Lohman, J. McKenzie, and S. Savin (eds.). *Climate change in continental isotopic records*, American Geophysical Union, *Geophysical Monograph* 78: 113-121.
- Engstrom, D. and S. Nelson. 1991. Paleosalinity from trace metals in fossil ostracodes compared with observational records at Devils Lake, North Dakota, USA; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 83: 295-312.
- Holmes, J. A., P. E. Hales, and F. A. Street-Perrott. 1992. Trace-element chemistry of non-marine ostracods as a means of palaeolimnological reconstruction: An example from the Quaternary of Kashmir, northern India; *Chemical Geology*, 95: 177-186.
- National Climatic Data Center. 1876-1995. Local Climatological Data, Phoenix. National Oceanographic and Atmospheric Administration, Washington, D.C.: Department of Commerce.
- Palacios-Fest, M.R. 1994a. Trace element shell chemistry of continental ostracodes and the applicability of experimentally-derived multiple regression models to paleoenvironmental reconstructions in southwestern North America; *Ph. D. Dissertation, Department of Geosciences, University of Arizona*, 279 págs.
- Palacios-Fest, M.R. 1994b. Nonmarine ostracode shell chemistry from ancient Hohokam irrigation canals in Central Arizona: A paleohydrochemical tool for the interpretation of prehistoric human occupation in the North American Southwest; *Geoarchaeology: An International Journal*, 9: 1-29.
- Turpen, J.B. and Angell, R.W. 1971. Aspects of moulting and calcification in the ostracod *Heterocypris*. *Biological Bulletin*, 140: 331-338.
- United States Water Supply Department. 1876-1995. Phoenix Station weather reports; Microfiche/Library. Tucson: University of Arizona.
- Wansard, G. 1996. Quantification of paleotemperature changes during isotopic stage 2 in the La Draga continental sequence (NE Spain) based on the Mg/Ca ratio of freshwater ostracods. *Quaternary Science Review*, 15: 237-245.

COMPUTACIÓN PARALELA EN LAS GEOCIENCIAS

José Gómez-Valdés

CICESE, Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México, A.P. 2732.

RESUMEN

Esta nota trata sobre conceptos básicos de computación paralela. Se hace una revisión de la evolución de las computadoras paralelas. Hoy día los sistemas a la vanguardia son: Cray T3D e IBM SP. Por su bajo costo y su escalabilidad, las redes de estaciones de trabajo en un ambiente paralelo son una opción factible para hacer computación paralela en la actualidad. La computación paralela se ha estado empleando sistemáticamente en las Geociencias desde principios de la presente década. En México no se está promoviendo ni la investigación ni la enseñanza de esta nueva tecnología como se está haciendo en la mayoría de los países europeos y en los Estados Unidos, aunque ya se empieza a trabajar en este campo en algunas instituciones del país.

INTRODUCCIÓN

La computación paralela (CP) es un tipo de cálculo a la vanguardia en la simulación y predicción numérica en las geociencias. Consiste en usar más de una unidad de procesamiento (nodo) en los trabajos de computación, donde para algunos casos un nodo está formado por un CPU (Control Processing Unit), una unidad de memoria y una unidad de entrada-salida, de forma tal que, en ausencia de comunicación entre nodos, el rendimiento se incrementa linealmente con el número de procesadores. La idea de paralelismo no es nueva. Se puede decir que desde la aparición del *Homo habilis*, la especie humana ha reunido fuerzas y habilidades para resolver problemas que para un sólo miembro de la especie resultaría imposible de resolver. Paralelismo por computadoras, sin embargo, aunque sus orígenes están en el diseño de las primeras computadoras, es una práctica que sólo ha recibido aceptación amplia en las comunidades académicas de los Estados Unidos y de Europa a partir de los 90's, en especial, grupos en las ciencias del espacio y de las geociencias han incursionado exitosamente en este campo. Aquí hablaremos sobre los conceptos básicos de la CP, y de sus aplicaciones. Veremos la urgencia de promover ésta nueva tecnología entre los jóvenes mexicanos.

COMPUTADORAS PARALELAS Y COMPUTADORES EN PARALELO

Las supercomputadoras se definen como las máquinas más rápidas y más caras. Pueden hacer entre 100 y 200 **Megaflops** (Millones de operaciones de punto flotante) y costar decenas de millones de dólares. Actualmente las computadoras paralelas, de unos cuantos procesadores, compiten en rapidez con las supercomputadoras de un sólo procesador, y tienen como ventajas: escalabilidad, que significa la posibilidad de adherir más nodos, y bajos costos (la IBM SP puede alcanzar más de 100 **Megaflops** de rendimiento con 16 procesadores y cuesta del orden de un millón de dólares). En cambio, como no hay una manera

automática o mecánica de convertir programas secuenciales a programas paralelos se tiene que aprender a programar en paralelo, lo cual implica consumo de tiempo y de energía. La CP usa dos, diez, cien o aun miles de unidades de procesamiento para resolver simultáneamente diferentes partes del mismo problema. Generalmente, los nodos se comunican entre sí para sincronizar las tareas asignadas a cada uno de ellos. De acuerdo a la operación de la unidad de control, las computadoras paralelas pueden ser **SIMD** (Single Instruction stream, Multiple Data streams) o **MIMD** (Multiple Instruction streams, Multiple Data streams). La CM-2, Connection Machine, que cuenta con 65,536 procesadores, es un ejemplo de una máquina **SIMD**, es decir simultáneamente se ejecuta la misma instrucción en todos los procesadores pero con diferentes datos. Por otro lado, la Intel iPSC/2 cuyo número máximo de procesadores es de 128, es un ejemplo de una máquina **MIMD**, es decir cada procesador puede ejecutar instrucciones diferentes en datos diferentes (más detalles sobre clasificaciones de computadoras se pueden encontrar en Flynn 1966). De acuerdo al modo de manejar el flujo de información a través de la memoria, las computadoras paralelas pueden ser de memoria compartida o de memoria distribuida (Hennessy y Patterson, 1990). Las computadoras Cray con más de un procesador son máquinas de memoria compartida y las Intel de memoria distribuida. Debido al bajo costo de los procesadores, y a su tendencia a la baja, una de las arquitecturas más prometedoras es la combinación **MIMD**-memoria distribuida. Hoy día los ejemplos más destacados de esta arquitectura son: IBM SP y Cray T3D, los **cluster** y las redes de estaciones de trabajo en un ambiente de pasar mensajes, e.g., **MPI** (Message-Passing Interface) o **PVM** (Parallel Virtual Machine); éstos dos últimos ejemplos constituyen computadores en paralelo.

El rendimiento y la eficiencia de las computadoras paralelas están aumentando a un ritmo acelerado. Por ejemplo, en 1989 los sistemas hipercubos Intel ofrecieron el computador Intel iPSC/2 con procesadores 80386/80387, con rendimiento sostenido de 1-2 **Megaflops** y 4 Megabytes (10^6 bytes) de memoria **RAM** (Random Access Memory) por nodo.

En 1991 estos sistemas cambiaron a Intel iPSC/860 que usa procesadores i860, con rendimiento sostenido de 3-4 **Megaflops** y 8 Megabytes de memoria **RAM** por nodo. La computadora Intel Paragón, la más reciente (1993) de las **MIMD** de memoria distribuida de la clase Intel, cuenta con procesadores i860 XP cuyo rendimiento teórico es de 75 **Megaflops** y 16 Megabytes o más de memoria **RAM** por nodo. Los nodos se encuentran ubicados en una malla, por lo que es relativamente fácil incrementar su número, ya que sólo se requiere insertar la nueva tarjeta de nodos. El rendimiento teórico de la Paragon del **San Diego Supercomputer Center** es de 40 Gigaflps (10^9) con 7.4 Gigabytes de memoria **RAM**. El uso de computadoras paralelas de muchos procesadores (masivas) permitiría manejar información a 10^{12} operaciones de punto flotante por segundo (Teraflps) y tener acceso a Terabytes de memoria a fines de la presente década (Hennessy y Patterson, 1990).

PROGRAMACIÓN EN EL MODELO DE PASAR MENSAJES

Debido a que cada aplicación científica tiene su propio grado de paralelismo, no hay reglas estándar para construir esquemas paralelos óptimos. Sin embargo, a la fecha, los principios básicos de programación paralela se han identificado muy bien, véase por ejemplo Ragsdale (1991). Estos principios son: partición, mapeo, estrategias de comunicación y granularidad.

La partición consiste en dividir un problema en partes que puedan trabajar en paralelo, tratando de colocar las partes en provecho de la escalabilidad y el balanceo de la información. Aquí escalabilidad significa hacer la partición independiente del número de nodos, con lo cual se podrá adherir más nodos sin tener que reprogramar. Al balancear la información se trata de hacer una distribución pareja del trabajo entre los nodos, con lo cual se mantendrá a todos los nodos ocupados y terminarán al mismo tiempo. Habrá ciclos perdidos si alguno de los nodos tiene que esperar a otro para terminar.

Después de la partición, las partes deben ser mapeadas a los nodos para su ejecución, cuidando de colocar componentes del problema que intercambian información tan cerca como sea posible. El mapeo depende de la arquitectura del computador. Sin embargo, la mayoría de las computadoras paralelas pueden ser vistas por el programador como si estuvieran completamente conectados, si así se desea.

En el diseño de las estrategias de comunicación, es necesario tomar en cuenta la comunicación entre nodos de forma tal que los nodos gasten poco tiempo en comunicarse. Generalmente, el mecanismo de sincronización sirve tanto para el intercambio de información de datos como para lograr la coincidencia en tiempo de los procesos. Ya que para medir los costos totales de comunicación se toma en cuenta el costo de la inicialización del proceso, mensajes largos son preferidos sobre muchos mensajes cortos.

Se puede también estimar la granularidad, la cual es la razón entre tiempo de computación y tiempo de comunicación, del programa paralelo. Programas con granularidad alta gastan menos tiempo en comunicación que programas con granularidad baja. La meta del programador debe ser minimizar la razón entre comunicación y computación.

El rendimiento y la eficiencia de las computadoras paralelas, de agregados de computadores en paralelo, y de programas paralelos, se pueden cuantificar con ayuda de rutinas disponibles en esos sistemas y con principios cuantitativos de diseño de software y hardware.

RENDIMIENTO Y EFICIENCIA

Alto rendimiento en CP implica al menos dos cosas: reducción del tiempo total de computación e incremento del trabajo de computación en un determinado tiempo, donde una unidad de tiempo de computación es el tiempo requerido para realizar una operación de punto flotante. Y una unidad de tiempo de comunicación se define como el lapso al pasar un valor de punto flotante entre dos procesadores, si el tiempo total de comunicación es mucho, se reduce el rendimiento del sistema.

Dos conceptos básicos en el análisis del rendimiento de los sistemas son el incremento de la rapidez de procesamiento y la eficiencia. Empecemos por el primero, el incremento de la rapidez se define como

$$S = \frac{T_{\text{sec}}}{T_{\text{par}}}, \quad (1)$$

donde T_{sec} es el tiempo total de computación de un procesador y T_{par} el tiempo total de computación de P procesadores en paralelo. Así, la eficiencia paralela se define como

$$\varepsilon = \frac{S}{P}, \quad (2)$$

donde S es el incremento de la rapidez y P el número de procesadores. El incremento de la rapidez es siempre menor que P (o, la $\varepsilon < 1$).

Los costos totales de comunicación se pueden medir mediante la relación

$$Fc = \frac{1}{\varepsilon} - 1. \quad (3)$$

Supongamos que hacemos un algoritmo paralelo de un programa secuencial que se encuentra en plena producción, y encontramos que la eficiencia es muy pobre, digamos $\varepsilon < 0.5$, esto implicaría que la eficiencia del algoritmo paralelo esta siendo afectada por alguno de, o todos, los factores siguientes (Fox et al., 1989):

- El problema no es paralelizable.
- El incremento de la rapidez esta limitado por la rapidez del nodo más lento (imbalance).
- Los costos de comunicación son muy altos.

Entonces se debe de trabajar más duro en el algoritmo paralelo antes de abandonarlo, proponiendo otras estrategias de paralelización.

Se puede obtener una estimación *a priori* del grado de paralelismo del problema a paralelizar con la **Ley de Amdahl**

$$A = 1.0 / (f_s + (1 - f_s) / P), \quad (4)$$

donde f_s es la fracción de la parte no paralela del programa secuencial y P el número de procesadores.

COMPUTACIÓN PARALELA EN LAS GEOCIENCIAS

Con la CP se pueden explorar problemas oceanográficos que requieran de un alto rendimiento computacional. Debido a las propiedades físicas del mar, el modelado oceánico demanda alto rendimiento. La turbulencia, por ejemplo, se desarrolla con más facilidad en la capa de mezcla superficial de los océanos. Así, las escalas espaciales para resolver los procesos de transporte y de mezcla van del espesor de la capa de mezcla superficial, $O(10^2 \text{ m})$, a las dimensiones de las cuencas oceánicas, $O(10^7 \text{ m})$, y las escalas temporales que son importantes en la circulación oceánica van de los minutos de la fluctuación turbulenta a los cientos de años que toma la ventilación de las aguas del fondo.

Lee et. al. (1989) han usado con éxito una de las computadoras paralelas pioneras, la Intel iPSC/2 de 64 nodos, para modelar la propagación del sonido en los océanos, alcanzando un incremento en la rapidez de procesamiento de $\text{Cray X-MP}/(\text{iPSC}/2)=2.8$, usando 64 procesadores. Gómez-Valdés y Wang (1995), al hacer un algoritmo paralelo del modelo tridimensional de las ecuaciones primitivas de circulación costera de Wang (1985), han probado que la CP ofrece enormes ventajas sobre la computación con un sólo procesador, al lograr en una computadora Intel iPSC/2 de 32 nodos, un incremento en la rapidez de procesamiento de 3.9 usando 4 procesadores y de 29.3 usando 32 procesadores.

La modelación del transporte de solutos en medios heterogéneos es otro ejemplo de la necesidad de usar computación de alto rendimiento. Incluir en modelos de partículas del $O(10^6)$ entidades sólo fue posible en supercomputadoras de 1993. Se prevé que para fines de la presente década se podrán usar del $O(10^8)$ partículas en dichos modelos. Barry (1990) revisa el uso de supercomputadoras en la solución numérica de la ecuación tridimensional de advección-dispersión, cuya dinámica tiene también múltiples escalas temporales y espaciales, y recomienda a los hidrologistas tomar ventajas de la computación paralela.

Prácticamente en todas las ramas de las geociencias hay problemas que requieren de más de 200 **Megaflops** de rendimiento para su correcta solución. Ahí, casi todos los modelos en producción se han paralelizado o se ha intentado paralelizarlos, e.g., ya hay en el mercado las versiones paralelizadas del programa ENSOLV (Euler-Navier-Stokes flow SOLVer), del programa SMART que sirve para calcular convección en fluidos, entre otros. Además, Johnson et al. (1995) presentan un programa paralelo para la animación de una onda 3D en la zona de subducción, obteniendo un incremento en la rapidez de 0.5 en una KSR1. Puster y Jordan (1995) usan el modelo de pasar mensajes en el diseño de un programa computacional para estudiar métodos inversos en sismología. En el hilo de desarrollo de algoritmos en computadores en paralelo, se puede ver a Aranda-Álvarez et al. (1994) y Gómez-Valdés y Soto-Amador (1995), quienes implantan PVM en una red local heterogénea de estaciones de trabajo, prueban el sistema con modelos numéricos de acuíferos simples en elementos finitos, logrando reducir el tiempo de computación usando hasta 5 computadoras SUN.

COMPUTACIÓN PARALELA EN MÉXICO

Si bien uno puede encontrar programas de posgrado en los cuales se ofrece CP, por ejemplo, en el IPN, UNAM y Tecnológico de Monterrey, y en Ensenada se imparten cursos a nivel de maestría (CICESE) y de licenciatura (UABC) desde 1995, y se tienen proyectos de investigación aplicada y básica de esta disciplina desde 1994, cuando se implanta en CICESE PVM en la red principal, a la fecha este campo ha recibido poca atención en México. A nuestro conocimiento, no hay todavía en México un programa de métodos numéricos en los posgrados de las ciencias de la tierra en el que se discutan las versiones paralelas de los algoritmos clásicos, como se esta haciendo en universidades del extranjero.

En los centros de supercómputo de los Estados Unidos se cuenta con las computadoras paralelas más avanzadas, se promueve la CP a través de apoyos de tiempo de CPU y se hace labor de enseñanza y difusión. En Europa, en casi todos los países se esta practicando la CP, destacando el Instituto Tecnológico de Munich (de donde se pueden obtener gratis los más modernos simuladores de computadoras) de Alemania y la University of Edinburgh de Inglaterra.

Como vimos las ofertas llamativas de la CP son la reducción de costos y la escalabilidad. Si bien la primera de ellas debería de ser suficiente para promover su uso en México, la segunda es también relevante, pues se puede incrementar el poder de cómputo de una institución académica en función del presupuesto disponible y de las necesidades reales de cómputo que, como sabemos, son rubros muy dinámicos.

La comunidad académica mexicana, particularmente la de geociencias en donde hay muchas aplicaciones, tiene ahora la oportunidad de practicar computación paralela en un tiempo

en el que ésta ha dejado de ser un paradigma en etapa de experimentación, ya que ha evolucionado de ese estadio a ser un modelo práctico. Se puede, como lo hemos señalado en esta nota, integrar computadores en paralelo de las arquitecturas más variadas, y con los avances recientes de la internet, disponer, en el mismo ambiente, de todas las computadoras (UNIX, AIX o HP-UX) del país. Los jóvenes mexicanos, sobre todo, deben de recibir de sus profesores los conocimientos nuevos al mismo tiempo que los jóvenes de otros países.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer la revisión y los comentarios al trabajo por parte de Raymundo Vega, Jesús Favela y Manuel Figueroa. Este trabajo fue financiado por CONACyT: referencia 225008-5-3523T.

REFERENCIAS

- Aranda-Álvarez, J.J. Gómez-Valdés y E. Gómez-Treviño. 1994. Computación Paralela en la Solución Numérica de la Ecuación No lineal de Advección-Dispersión. GEOS, 14:5.
- Barry, D.A. 1985. Supercomputers and Their Use in Modeling Subsurface Solute Transport. Reviews of Geophysics. 28, 277-295.
- Flynn, M.J. 1966. Very high-speed computing systems. In Proceedings. IEEE. 54, 54-12.
- Fox, G.M. Johnson, G. Lyzenga, S. Otto, J. Salmon and D. Walker. 1989. Solving Problems on Concurrent Processors. Volume I: General Techniques and Regular Problems. Prentice Hall, New Jersey. 592 pp.
- Gómez-Valdés, J. y R. Soto-Amador. 1995. Applications of PVM in Groundwater Modeling. Second UNAM-Cray Supercomputing Conference: Numerical Simulations in the Environmental and Earth Sciences, Mexico City, 21-24 June.
- Gómez-Valdés, J. and D-P. Wang. 1995. Massively Parallel Processing in Coastal Ocean Circulation Model. Journal of Scientific Computing. 10, 305-323.
- Hennessy, J. L. and D. A. Patterson. 1990. Computer Architecture A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 594 pp.
- Johnson, O.G., G. Chen and H-W. Zhou. 1995. 3D Seismic Study of Subduction Zones Using Parallel Wave Animation. (abstract), Eos Trans. AGU., 76 (17), April.
- Puster, P. and T.H. Jordan. 1995. Parallel Programming in Global Seismology (abstract), Eos Trans. AGU., 76:17, April.
- Ragsdale, S. 1991. Parallel Programming. McGraw-Hill, Inc. New York. 123 pp.

- Wang, D-P. 1985. Numerical study of gravity currents in a channel. Journal of Physical Oceanography. 15, 299-305.

GLOSARIO

- CPU** (Central Processing Unit): parte interna del computador que procesa la información. Incluye: el control de los circuitos, la unidad aritmética, la unidad de memoria y la unidad de control. El tiempo de CPU se puede medir con el comando **UNIXTIME**.
- Megaflops** (Millones de operaciones de punto flotante): alternativa para medir el rendimiento de un computador, se define como el cociente entre el número de operaciones de punto flotante en el programa y su tiempo de ejecución multiplicado por 10^6 . Ésta medida depende de la máquina y del programa.
- SIMD** (Single Instruction stream, Multiple Data streams): en un sólo ciclo opera una instrucción y simultáneamente varios flujos de información. En una computadora paralela SIMD la sincronización es automática.
- MIMD** (Multiple Instruction streams, Multiple Data streams): en cada ciclo pueden operar varias instrucciones y varios flujos de información a la vez. En computadoras paralelas MIMD la sincronización se debe de programar. Puede notarse que la arquitectura MIMD contiene a la arquitectura SIMD.
- Cluster**: un arreglo de computadoras coordinadas entre sí para ejecutar tareas, con los soportes necesarios y suficientes para formar un agregado eficiente sin llegar a contar con todo el hardware que se requiere para formar, por ejemplo, una computadora paralela. Los clusters que hay en el mercado son los servidores de la Digital VAX y agregados de estaciones de trabajo. (En la red de la Universidad de California de Los Angeles hay varios cluster de 4 IBM RS/6000).
- MPI** (Message Passing Interface): es un paquete de rutinas para hacer computación paralela en computadores en red o en computadoras paralelas. Se pretende que sea el estándar del modelo de pasar mensajes.
- PVM** (Parallel Virtual Machine): es un paquete de rutinas para hacer computación paralela en computadores en red o en computadoras paralelas. Es el paquete de dominio público más popular actualmente.
- RAM** (Random-Access Memory): memoria principal del computador en la cual se encuentran las instrucciones de los programas y donde los datos del programa son almacenados; está conectada directamente al CPU.
- San Diego Supercomputer Center**: uno de los cuatro centros de supercómputo fundados por la National Science Foundation (NSF) de los Estados Unidos que usa la comunidad académica de ese país. A través de estos centros la NSF promueve el uso de nuevas tecnologías.
- Ley de Amdahl**: establece que el incremento del rendimiento que se obtiene al usar una mejora está acotado por la fracción de tiempo en que se utiliza la mejora. Se aplica tanto a computadoras secuenciales como a paralelas.

UNIX: sistema operativo de la AT&T Bell Laboratories escrito en C, con el que se pueden hacer múltiples tareas y varios usuarios pueden trabajar simultáneamente en un sólo computador. Desde supercomputadoras hasta PC usan este sistema operativo.

AIX (Advanced Interactive Executive): sistema operativo de la

IBM basado en el sistema operativo **UNIX**. Las estaciones de trabajo RS/6000 y las computadoras paralelas SP usan este sistema operativo.

HP-UX: sistema operativo de la HP basado en el sistema operativo **UNIX**. Las estaciones de trabajo HP 9000 y los **clusters** HP usan este sistema operativo.

UNA HOJA DE CÁLCULO PARA LA MANIPULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS DE ORIENTACIÓN

Francisco Correa Mora¹ y Gustavo Tolson²

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM

E-mail: pancho@tonatiuh.igofcu.unam.mx

² Departamento de Geología Regional, Instituto de Geología, UNAM

E-mail: tolson@servidor.unam.mx

RESUMEN

Para el análisis de un conjunto de datos estructurales o de orientación generalmente se requiere un programa de cómputo especializado así como una plataforma de hardware afín a dicho programa. Este trabajo muestra como una serie de funciones en hojas de cálculo pueden ser agrupadas para formar macros, mismas que pueden ser utilizadas para la manipulación de datos de orientación. Estas funciones se pueden incluso combinar de forma modular para crear programas más sofisticados, con la ventaja de adaptarse a las necesidades específicas del usuario. El ejemplo que se presenta es de una aplicación que calcula la orientación del eje cristalográfico *c* de ortoanfiboles a partir de la orientación de los planos de crucero medidos con la platina universal.

INTRODUCCIÓN

En las ciencias de la tierra, la adquisición de información geométrica crea la necesidad de trabajar con datos de diferente naturaleza que representan orientaciones. Esta necesidad nos llevó a diseñar una herramienta de cómputo para capturar, manipular y visualizar dichos datos. Existen ya un gran número de programas diseñados para el área de las geociencias para estos fines. Sin embargo, es frecuente que la mayoría de los usuarios de estos programas quieran dar un tratamiento específico a sus datos y se encuentran con que no existe un programa adecuado a sus variadas necesidades. Por ejemplo, algunas veces estamos forzados a utilizar un programa para rotar las orientaciones o realizar algún cálculo, y otro que imprima de manera satisfactoria los datos calculados.

Los datos de orientación en particular son difíciles de manejar utilizando diferentes paquetes de cómputo, y la principal dificultad es la incompatibilidad en el formato de entrada y/o salida que cada programa utiliza. Existe además una considerable flexibilidad con respecto a la representación matemática de los datos de orientación. La elección de una notación escrita es influenciada generalmente por alguna escuela en particular, pudiendo ser ésta la "Escuela Europea" o la "Escuela Americana", mientras que la representación matemática se escoge con base en el tipo de análisis al que se someterán los datos. Así, N51E/43NW, 43°/321°, y 231°/43° son representaciones equivalentes para la orientación de un plano medido en el campo, mientras que los cosenos directores de la normal unitaria, la proyección estereográfica del polo, o las coordenadas (*x,y,z*) del vector unitario paralelo a la dirección de echado del mismo plano pueden ser expresiones matemáticas susceptibles a ser visualizadas o a ser utilizadas en diferentes cálculos.

El objetivo de este trabajo es mostrar que los paquetes de hoja de cálculo comerciales son muy útiles y matemáticamente poderosos para la captura, reducción, manipulación y visualización de datos de orientación. Con dicho software, los usuarios pueden escribir funciones y subrutinas (*macros*) que se pueden unir para formar programas modulares, lo que permite que el conjunto de herramientas o utilerías creadas pueda ser utilizado o modificado por diferentes personas, sin preocupación por la compatibilidad. La mayoría de los paquetes que utilizan hojas de cálculo hoy en día son capaces de importar o exportar datos e inclusive, de asociar funciones y *macros* en diferentes formatos de archivo, los cuales son prácticamente independientes de la plataforma de hardware que se utilice. Además, en la mayoría de las hojas de cálculo actuales se pueden definir bases de datos que permiten la captura de una gran cantidad de datos y la posibilidad de utilizar filtros o seleccionar el despliegue de acuerdo a criterios definidos por el usuario.

La hoja de cálculo que aquí se presenta ilustra utilerías escritas para la traducción entre las notaciones más comunes de datos de orientación, el cálculo de la intersección de dos planos, el cálculo del plano definido por dos líneas y una función que aplica una rotación arbitraria de un eje o un plano alrededor de algún eje. La hoja de cálculo también puede utilizarse como una herramienta de visualización, ya que líneas y planos pueden ser representados en una red de proyección estereográfica o equiareal.

LA HOJA DE CÁLCULO

La hoja de cálculo que aquí se presenta fue escrita usando el paquete Microsoft Excel^{MR} (v. 4.0), aplicación que corre bajo Microsoft Windows^{MR} (existe una versión 100% compatible de Excel^{MR} para el sistema operativo de

Macintosh). El ambiente de hoja de cálculo provee a los usuarios de funciones preestablecidas de tipo matemático o de texto, y además ofrece la opción de crear funciones nuevas. Este ambiente tiene la ventaja adicional de trabajar con un formato tabular de renglones y columnas que ofrece una estructura intuitiva para la captura y procesamiento de los datos. Excel^{MR} provee además la posibilidad de agrupar las hojas de cálculo en *libretas de trabajo*, lo que permite que un grupo de archivos interrelacionados estén agrupados bajo un solo nombre de archivo, creando así una organización más lógica. La *libreta de trabajo* escrita para la manipulación de orientaciones consiste de cuatro hojas de cálculo. La primera es la hoja Principal, donde se da entrada a los datos y se llama a las funciones. La segunda es la hoja de Proyección, donde se pueden visualizar los datos en una red estereográfica o equiangular. La tercera es la hoja de *Macros*, donde están definidas todas las funciones que procesan los datos. La última hoja se utiliza para dar el formato adecuado a los datos para exportarlos a otra aplicación.

LA HOJA PRINCIPAL

Esta hoja se utiliza para capturar los datos, simplificarlos y manipularlos (Figura 1). No tiene restricciones iniciales sobre su estructura, por lo que puede ser modificada por el usuario de acuerdo a sus propósitos. Hemos encontrado que la estructura más lógica e intuitiva consiste en tener los datos colocados en una o más columnas a la izquierda y el resultado de diferentes operaciones en las columnas subsecuentes hacia la derecha. De esta manera se pueden realizar varias operaciones acumulativas con el mismo dato, utilizando resultados intermedios en otros cálculos, o representándolos gráficamente.

Figure 1 shows a portion of the 'Principal' worksheet in Microsoft Excel. It contains a table for 'Reducción de datos de la Platina Universal' with columns for 'Azimut 1', 'Co-Inclut 1', 'Azimut 2', 'Co-Inclut 2', 'Azimut 1', 'Inclinación 1', 'Azimut 2', 'Inclinación 2', and 'Eje C'. The table is populated with numerical data. Below the table, there are several formulas in the 'Eje C' column, such as $\text{=RADI(PI/180)*RAZ(2)*SENO((90-DERECHA(E10.2))/2)*\$B\$5}$ and $\text{=RADI(PI/180)*RAZ(2)*SENO((90-DERECHA(E10.2))/2)*\$B\$5}$.

Figura 1. Porción de la hoja Principal mostrando algunos datos así como las fórmulas en distintas celdas.

El ejemplo mostrado aquí representa la reducción de datos obtenidos de ortoanfiboles en una platina universal. La orientación del eje *c* en los ortoanfiboles es difícil de medir directamente, pero es paralela a la intersección de los

dos planos de crucero bien definidos, cuya medición es relativamente sencilla (Shelley, 1992). Así, la orientación de los dos planos de crucero es registrada en las primeras cuatro columnas y la intersección (en el marco de referencia de la platina universal), es calculada en la quinta columna. Las correcciones de marco de referencia y la rotación de la lámina delgada a su orientación original en el campo se hacen en las siguientes columnas.

LA HOJA DE PROYECCIÓN

La hoja de Proyección (Figura 2) es quizá la más variada y compleja de las hojas en la *libreta de trabajo*. Consiste de columnas con los datos de orientación como entrada y una gráfica que permite la visualización de los datos en una red equiareal. Como aquí se implementa, la hoja está formada por una región visible y otra oculta. En la región oculta se realizan todos los cálculos matemáticos para la proyección, mientras que la región visible se utiliza para enlistar los datos que van a ser graficados y para presentar la gráfica misma. Las coordenadas (*x,y*) que se grafican están en columnas dentro de la región oculta y son funciones trigonométricas de los datos de azimut e inclinación en la región visible (Figura 2). Estas coordenadas (*x,y*) son graficadas usando las funciones gráficas del mismo Excel^{MR}.

Figure 2 shows a portion of the 'Proyección' worksheet in Microsoft Excel. It contains a table with columns for 'Valores x', 'y (sup)', 'y (inf)', 'Datos y', and 'Rumbo y Buzamiento'. The table is populated with numerical data. To the right of the table, there is a graph titled 'Proyección Equiareal' showing a stereonet plot with several data points plotted on a circular grid.

Figura 2. Porción de la hoja de Proyección. La región sombreada está oculta normalmente, ya que por lo general no es necesario hacer cambios. La primera columna almacena los valores de *x* para la gráfica. Las siguientes dos columnas son los valores de *y* para los semicírculos superior e inferior, respectivamente, de la red. La cuarta columna tiene los valores y de los datos de orientación. Los valores de *x* y *y* a graficar son funciones de los campos de texto donde están tabulados los datos (columna E).

LA HOJA DE MACROS

La hoja de *Macros* contiene todas las funciones definidas por el usuario y su documentación. De esta manera, distintos usuarios pueden añadir las funciones que deseen, o utilizar

las ya existentes para construir funciones más complejas. El lenguaje para crear los *macros* es relativamente fácil de aprender e inclusive el usuario tiene acceso a ayuda instantánea presionando la tecla de ayuda del entorno Windows^{MR}. Las funciones que se crearon para este ejemplo son una mezcla de funciones matemáticas, lógicas y de texto. Las funciones matemáticas, así como las lógicas son utilizadas para los cálculos, mientras que las funciones de texto se utilizan para manejar y dar formato a la entrada y a la salida de los datos. La Tabla 1 presenta un resumen de las funciones utilizadas y las relaciones entre sí.

La función **Plane_Int** es un ejemplo de cómo se pueden integrar las funciones lógicas y matemáticas para manipular los datos. La función toma como argumento dos valores de texto que representan rumbo e inclinación de dos

planos utilizando la convención de la "Mano Derecha" o "Pinula a la Derecha". Siguiendo el algoritmo descrito por Wallbrecher (1986), la orientación de los planos es convertida a tres dimensiones; es decir, a coordenadas cartesianas derechas y expresadas como vectores unitarios normales al plano que representan. El producto cruz de estas normales, paralelo a la dirección de intersección, es calculado por la función **CrossProduct** (Figura 3), después de lo cual, éstas son convertidas a coordenadas geográficas con una serie de sentencias SI. Las funciones de texto **AzimuthTxt** y **PlungeTxt**, constituyen la última etapa de la subrutina, dando formato al dato de salida y regresando una cadena con la forma *xxx yy*, donde *xxx* es el azimut con tres dígitos y *yy* es la inclinación expresada en dos dígitos.

Tabla 1. Resumen de las funciones definidas en la hoja de trabajo ORIENTA.XLW, detallando los tipos de entrada y salida, una descripción, así como una lista de las funciones llamadas. Algunas funciones para conversión entre distintas notaciones escritas también se han implementado pero no se describen aquí.

Función	Argumentos	Descripción	Salida	Llamadas
FindSeparator	Cadena de texto	Dada una cadena de texto que representa una orientación, encuentra la posición de una coma, una diagonal o un espacio en blanco.	Un número entero	
GetAzimuth	Cadena de texto	Obtiene el azimut de la cadena	Texto de tres dígitos	FindSeparator
GetInclination	Cadena de texto	Obtiene la inclinación de la cadena	Texto de dos dígitos	FindSeparator
AzimuthTxt	Númérico o texto	Utiliza funciones de texto para dar formato de tres dígitos al azimut	Tres dígitos como texto	
PlungeTxt	Númérico o texto	Utiliza funciones de texto para dar formato de dos dígitos a la inclinación	Dos dígitos como texto	
PlaneToPole	Orientación en formato de texto	Convierte una cadena de texto la que representa la orientación de un plano (utilizando la convención de la mano derecha) a una cadena de texto que es la orientación del polo de dicho plano (utilizando la convención de la mano derecha)	Orientación como texto	GetAzimuth GetInclination AzimuthTxt PlungeTxt
PoleToPlane	Orientación en formato de texto	Convierte una cadena de texto que representa el polo de un plano a una cadena de texto que es el rumbo e inclinación del plano (utilizando la convención de la mano derecha)	Orientación como texto	GetAzimuth GetInclination AzimuthTxt PlungeTxt
CrossProduct	Dos orientaciones en formato de texto	Calcula el producto cruz de dos líneas	Orientación como texto	GetAzimuth GetInclination AzimuthTxt PlungeTxt
Plane_Int	Dos orientaciones en formato de texto	Calcula la línea de intersección de dos planos	Orientación como texto	PlaneToPole CrossProduct
CalculatePlane	Dos orientaciones en formato de texto	Calcula el plano definido por dos líneas	Orientación como texto	CrossProduct PoleToPlane
LineRotation	Dos orientaciones en formato de texto y un entero	Realiza la rotación de una línea alrededor de un eje	Orientación como texto	GetAzimuth GetInclination AzimuthTxt PlungeTxt
PlaneRotation	Dos orientaciones en formato texto y un entero	Realiza la rotación de un plano alrededor de un eje	Orientación como texto	GetAzimuth GetInclination PlaneToPole AzimuthTxt PlungeTxt LineRotation PoleToPlane

	A	B	C
42	CrossProduct	=ARGUMENT("LineOne")	Función para calcular el producto cruz de dos
43		=ARGUMENT("LineTwo")	vectores unitarios representados por su
44		AOne=GetAzimuth(LineOne)*PI()/180	orientación.
45		FOne=GetInclination(LineOne)*PI()/180	
46		Atwo=GetAzimuth(LineTwo)*PI()/180	Esta función es utilizada por las funciones
47		Ftwo=GetInclination(LineTwo)*PI()/180	CalculatePlane y Plane_Int.
48		SOne=SEN(AOne)	
49		Stwo=SEN(Atwo)	
50		Stree=SEN(Fone)	
51		Stour=SEN(Ftwo)	
52		COne=COS(AOne)	
53		Ctwo=COS(Atwo)	
54		Ctree=COS(Fone)	
55		Cfour=COS(Ftwo)	
56		PX=SOne*Ctree*Stour-Stree*Stwo*Cfour	
57		PY=Stree*Ctwo*Cfour-COne*Ctree*Stour	
58		PZ=COne*Ctree*Stwo*Cfour-SOne*Ctree*C	
59		PPX=(PZ<0,-PX,PX)	
60		PYY=(PZ<0,-PY,PY)	
61		PZZ=(PZ<0,-PZ,PZ)	
62		P=RAIZ(PX^2+PY^2+PZ^2)	
63		PP=P/P	
64		FF=ATAN(PPRAIZ(1-PP^2))	
65		AA=SI(PX<0,SI(PY<0,PI()/2,AA=3*PI()/2),ATA	
66		F=REDONDEAR(FF*180/PI(),0)	
67		A=REDONDEAR(AA*180/PI(),0)	
68		A=SI(PX<0,A+180,SI(Y(PX<0,PY<0),A+360,A	
69		Answer="AzimuthTxD(A)&"&BuzTxD(F)	
70		=VOLVER(Answer)	

Figura 3. Porción de la hoja Macros ilustrando la función Plane_Int. Nótese el uso de funciones tanto de texto como lógicas incluidas en el lenguaje para macros.

LA HOJA DE SALIDA

Esta hoja normalmente está vacía y a ella son copiados los datos desde la hoja Principal con el único objeto de exportarlos a otro formato (p. ej. ASCII) para ser utilizado en otras aplicaciones. En el caso del ejemplo mostrado, el formato es adecuado para exportar las orientaciones del eje c de los ortoanfiboles a un software de proyección equiareal capaz de leer archivos con formato de texto DOS (ASCII).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Cuando preguntamos informalmente acerca de la programación de computadoras, la mayoría de los geólogos admite una cierta renuencia a aprender algún lenguaje de programación. Las hojas de cálculo comerciales son una alternativa viable a los lenguajes de programación tradicionales y de hecho, ofrecen algunas ventajas. Los paquetes de hoja de cálculo ofrecen un considerable repertorio de funciones matemáticas, lógicas y de texto, que son adecuadas para la manipulación matemática de datos,

incluyendo cálculos con matrices. La mayor ventaja que ofrece este tipo de aplicaciones es la capacidad de facilitar un despliegue gráfico para los datos de salida, que normalmente es difícil en los ambientes de programación tradicionales.

Además, el ambiente de hojas de cálculo fomenta una buena práctica de programación, ya que hay una relación muy estrecha entre los datos y los procedimientos que los manipulan. La programación modular es prácticamente intrínseca dada la estructura de las hojas de cálculo en renglones y columnas. Al colocar los datos de entrada en columnas a la izquierda, y al aplicar operaciones sobre éstos en columnas subsecuentes a la derecha, el resultado es una manipulación sistemática y estructurada por medio de subrutinas. Las posibilidades hoy en día del manejo de una base de datos en una hoja de cálculo es extremadamente útil, al permitir la captura de todos los datos en una sola hoja de trabajo para después filtrarla con diversos criterios y poder aplicar diferentes técnicas de manipulación o visualización a distintos elementos del banco de datos.

Las hojas de cálculo aquí descritas están disponibles vía FTP (anónimo) en el servidor ftp.unam.mx dentro del subdirectorio pub/ciencia/geologia

AGRADECIMIENTOS

Los comentarios críticos de Ma. del Sol Hernández Bernal, Gabriela Solís Pichardo y Luis Delgado Argote nos ayudaron a mejorar tanto el texto como las figuras. También queremos agradecer la asesoría técnica y la paciencia de Victor Manuel Frías Camacho.

REFERENCIAS

- Shelley, D., 1992. *Igneous and Metamorphic Rocks under the Microscope*. Chapman & Hall, London, 445 pp.
- Wallbrecher, E., 1986. *Tektonische und Gefügeanalytische Arbeitsweisen*. Ferdinand Encke Verlag, Stuttgart, 244 pp.

PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL FALLAMIENTO FRÁGIL POR CIZALLA

PARTE I: LA DEFORMACIÓN BIDIMENSIONAL

Ángel Francisco Nieto-Samaniego

Estación Regional del Centro, Instituto de Geología, UNAM, AP. 376, Guanajuato, Gto., 36000, México

E-mail:afns@servidor.unam.mx

INTRODUCCIÓN

La deformación frágil o quebradiza (brittle) se estudia en dos grandes ámbitos que son: (a) la deformación meso y macroscópica que ocurre en la corteza terrestre, para lo que se utiliza la teoría de Coulomb, o bien, otras teorías basadas en el deslizamiento friccional y (b) la deformación microscópica, para la que se utilizan modelos desarrollados a partir de la teoría de Griffith. En este trabajo se analizará exclusivamente el fracturamiento desde el punto de vista meso y macroscópico, asumiendo que la deformación sucede por deslizamiento friccional en un medio sujeto a compresión. Se presenta una breve revisión de los principios de las teorías de fallamiento más usadas en geología estructural, se analizan de manera comparativa los enfoques dinámico y cinemático de la deformación frágil y se discuten las perspectivas de algunas investigaciones realizadas actualmente por el autor. El objetivo principal de este trabajo es presentar de una manera sucinta los esquemas teóricos más utilizados en geología estructural y motivar a estudiantes y científicos jóvenes al desarrollo de esta área del conocimiento. La segunda parte de este trabajo se refiere a la deformación tridimensional y aparecerá en un número posterior de esta revista.

LA DEFORMACIÓN BIDIMENSIONAL

Es conveniente para nuestro análisis considerar algunas definiciones y convenciones. En este análisis consideraremos solamente *cuerpos rígidos* y toda la deformación se liberará por *cizalla simple* a lo largo de planos de deslizamiento (fallas). Cuando nos referimos a *un plano de deslizamiento* o *un sistema de cizalla*, suponemos que puede tratarse de un número ilimitado de planos paralelos con vectores de deslizamiento iguales. Por *deformación*, nos referimos a la *distorsión* y la *rotación* que sufre el cuerpo considerado y supondremos que no ocurrió *traslación*. Cuando hablamos de *distorsión* consideramos que no hubo rotaciones del cuerpo o del sistema de referencia, por lo que a este tipo de deformación también la denominaremos *deformación irrotacional*. Definimos como *deformación bidimensional* o *deformación plana* a aquella en la que una de las direcciones principales tiene deformación nula y como *deformación tridimensional* a aquella en la cual las elongaciones en las tres direcciones principales son distintas que 1, incluyendo aquellas con elongación homogénea en un plano principal.

Un tratamiento extenso de los términos anteriores se encuentra en Means (1976).

TEORÍA DE COULOMB

La teoría de Coulomb es la herramienta más utilizada en el análisis del fallamiento megascópico por cizalla. Esta teoría describe el estado de esfuerzos necesario para producir la ruptura de un cuerpo y la ecuación que la define es:

$$|\tau| = C + \mu \sigma_n, \quad (1)$$

donde τ y σ_n , representan, respectivamente, a los esfuerzos de cizalla y normal que actúan sobre el plano potencial de fractura, C es la cohesión y μ el coeficiente de fricción interna del material.

Considerando un plano preexistente, la ecuación de Coulomb es

$$|\tau| = C' + \mu' \sigma_n, \quad (2)$$

donde C' y μ' representan la cohesión y el coeficiente de fricción sobre el plano preexistente. Lo que predicen estas ecuaciones es que un cuerpo se romperá frágilmente, o iniciará el deslizamiento sobre un plano, cuando el vector de cizalla sobre el plano considerado alcance una magnitud crítica, la cual está determinada por: (1) el coeficiente de fricción interna del material, o en su caso, el coeficiente de fricción del plano preexistente; estos coeficientes son un parámetro del material y son independientes de la orientación del plano de fractura o de deslizamiento, así como de la orientación del vector de deslizamiento; (2) la cohesión, definida como la resistencia a la ruptura o al deslizamiento en ausencia de esfuerzo normal también es un parámetro del material y es independiente de la orientación del plano de fractura o del plano preexistente así como de la orientación del vector de deslizamiento; (3) la orientación del plano de fractura o de deslizamiento con respecto al sistema de esfuerzos (tensor de esfuerzos σ_{ij}), ya que es esta orientación la que determina la magnitud de los esfuerzos de cizalla y normal que actúan sobre el plano considerado. Las magnitudes de los esfuerzos de cizalla y normal son definidos por:

$$|\sigma_n| = \sigma_{ij} N_i N_j, \quad (3)$$

$$|\tau| = \sigma_{ij} N_j S_i, \quad (4)$$

donde N_i es un vector unitario normal al plano y S_i es un vector unitario paralelo al esfuerzo de cizalla y ubicado sobre el plano que se está considerando (Figura 1).

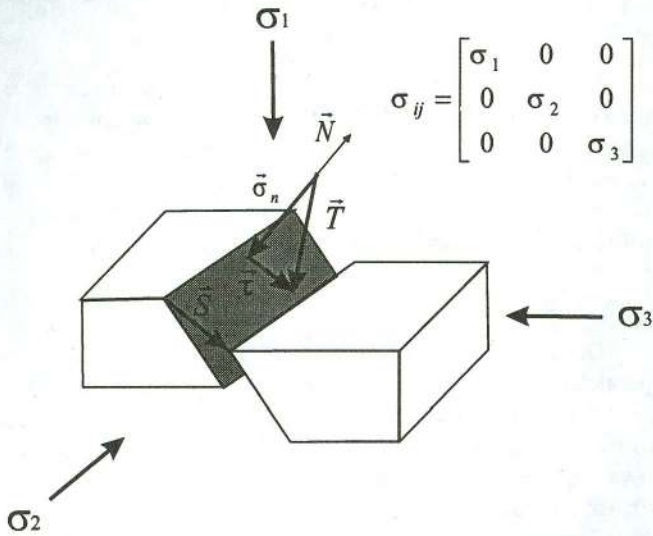


Figura 1. Se muestran las relaciones geométricas de un tensor de esfuerzos y un plano. El tensor de esfuerzos (σ_{ij}) está representado por los esfuerzos principales (σ_i) y el plano por un vector unitario perpendicular a él (N). La solución del tensor de esfuerzos sobre el plano es un vector de esfuerzo (T), el cual puede descomponerse en los vectores de cizalla (τ) y normal (σ_n). Obsérvese que de las relaciones geométricas mostradas se obtiene la relación $T^2 = \tau^2 + \sigma_n^2$. La dirección de deslizamiento está representada por el vector unitario S .

Es evidente que este tipo de análisis es una aproximación dinámica del fallamiento, ya que considera que hay un sistema de esfuerzos que produce la deformación; en otras palabras, las condiciones de frontera son definidas como un campo de esfuerzos. También es importante hacer notar que, en el caso de la ruptura, se considera un medio continuo y un campo de esfuerzos homogéneo, y en el caso del deslizamiento sobre un plano preexistente, se considera a éste de dimensiones ilimitadas y aislado.

Una característica fundamental de la teoría de Coulomb es que predice que la deformación será plana, es decir bidimensional, con elongación en las direcciones principales X_1 y X_3 . Supone también que el esfuerzo principal intermedio no interviene y que se formarán dos planos de fallamiento que contienen a σ_2 . Lo anterior surge de suponer que la ruptura se dará sobre los planos que contengan el esfuerzo de cizalla mayor y puede ser demostrado de la manera siguiente:

Las ecuaciones (3) y (4) en función de los esfuerzos principales (σ_i =esfuerzo principal en la dirección X_i) son

$$\sigma_n = \sigma_1 N_1^2 + \sigma_2 N_2^2 + \sigma_3 N_3^2, \quad (5a)$$

$$\tau = \sigma_1 N_1 S_1 + \sigma_2 N_2 S_2 + \sigma_3 N_3 S_3, \quad (5b)$$

y sabemos del cálculo tensorial, que la solución de un tensor de segundo orden sobre un plano cualquiera es un vector aplicado sobre dicho plano (T_i), por lo tanto, en el caso que nos ocupa

$$T_i = \sigma_{ij} N_j. \quad (6)$$

Introduciendo la relación $T^2 = \tau^2 + \sigma_n^2$ (véase Figura 1) y la ecuación (5a) en la ecuación (6), y usando esfuerzos principales (considérese que $\sigma_{ij}=0$ para todo $i \neq j$) obtenemos

$$\tau^2 = (\sigma_1 N_1)^2 + (\sigma_2 N_2)^2 + (\sigma_3 N_3)^2 - (\sigma_1 N_1^2 + \sigma_2 N_2^2 + \sigma_3 N_3^2)^2, \quad (7)$$

de donde se pueden obtener las orientaciones de los planos en los cuales la cizalla es máxima, aplicando a la ecuación (7) la condición

$$\frac{\partial \tau}{\partial N_1} = \frac{\partial \tau}{\partial N_2} = 0, \quad (8)$$

cuyas soluciones son:

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2), \text{ para } N_1 = N_2 = \frac{1}{(2)^{1/2}}, N_3 = 0, \quad (9a)$$

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3), \text{ para } N_1 = N_3 = \frac{1}{(2)^{1/2}}, N_2 = 0, \quad (9b)$$

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3), \text{ para } N_2 = N_3 = \frac{1}{(2)^{1/2}}, N_1 = 0. \quad (9c)$$

Como definimos que $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, es evidente que la cizalla toma su valor máximo en (9b), entonces

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3). \quad (10)$$

Nótese que esta condición se da para dos planos orientados paralelos a σ_2 y que forman ángulos de 45° con σ_1 . Obsérvese también que al usar las orientaciones donde la cizalla es máxima en las ecuaciones (5) y (9), la componente principal σ_2 queda excluida de la solución tensorial sobre el plano de falla predicho por la teoría de Coulomb (ecuaciones 5), y por lo tanto, no tendrá efecto alguno en este criterio de fallamiento.

Por otra parte, se ha demostrado experimentalmente que el coeficiente de fricción interna influye en la orientación relativa entre los esfuerzos principales y el plano de ruptura cuando se considera un esquema de fallamiento bidimensional, donde el plano de ruptura contiene al esfuerzo principal intermedio. Esta relación se deduce fácilmente a partir del círculo de Mohr bidimensional para esfuerzos (Figura 2), donde la circunferencia representa las orientaciones de los planos paralelos a σ_2 . El coeficiente de fricción es la

pendiente de la recta envolvente de los círculos críticos del material, de allí que

$$\mu = \frac{\tau_c}{\sigma_{nc}} \quad (11)$$

El punto en que la recta envolvente es tangente a un círculo crítico corresponde al plano de ruptura; nótese que para ese plano μ es máxima. La recta que une este punto y el centro del círculo en el diagrama de Mohr formará un ángulo de valor 2θ , siendo θ el ángulo formado entre σ_1 y el plano. De las relaciones geométricas del círculo de Mohr se observa que

$$180^\circ - 2\theta = 90^\circ - \tan^{-1}\mu, \quad (12)$$

de esta expresión se obtiene directamente la ecuación

$$\theta = 45^\circ - \frac{\tan^{-1}\mu}{2}, \quad (13)$$

que se ajusta razonablemente a las observaciones experimentales.

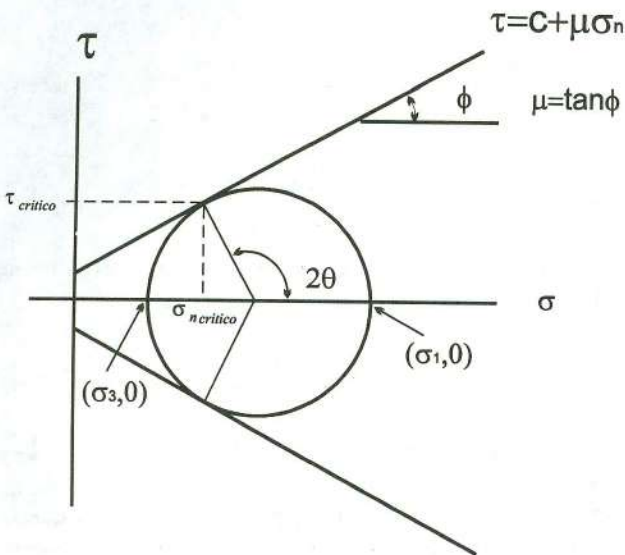


Figura 2. Círculo de Mohr para esfuerzos bidimensional. $\tau_{critico}$ y $\sigma_{ncritico}$ son los esfuerzos de cizalla y normal críticos para que se produzca la ruptura.

CÁLCULO DE TENSORES DE ESFUERZO

El esquema teórico expuesto en el apartado anterior ha sido utilizado para resolver el problema inverso de obtener el tensor de esfuerzos a partir de la orientación de planos y estrías de falla. Las suposiciones básicas de ese tipo de análisis son: (1) que el vector de deslizamiento (estría) es paralelo al vector de cizalla máxima sobre el plano de falla, el cual es producido por un tensor regional de esfuerzos, (2)

que el campo de esfuerzos es homogéneo, (3) que cada falla actúa aisladamente y (4) que no hay rotación de bloques. Hay numerosos métodos en la literatura que utilizan distintos algoritmos de solución, por ello, a continuación se describen solamente los fundamentos generales.

Considérese un tensor de esfuerzos σ_{ij} que actúa sobre un plano preexistente definido por un vector unitario N . Podemos entonces obtener el vector de esfuerzo T que actúa sobre el plano utilizando la ecuación (6). Conociendo T , el vector de cizalla (τ) que genera el tensor general de esfuerzos sobre el plano preexistente se obtiene de

$$\tau = (T \times N) \times N. \quad (13)$$

De acuerdo con la suposición (1) se considera que τ es paralelo a la estría de la falla y por lo tanto, su orientación será un dato obtenido en el campo al igual que N . Para obtener el tensor general de esfuerzos (σ_{ij}) los métodos de inversión de estrías realizan el cálculo inverso al mostrado, utilizando las ecuaciones (13) y (6), o sus equivalentes. Comúnmente se obtiene el tensor reducido, es decir, se determinan las orientaciones de los esfuerzos principales y valores relativos de sus magnitudes.

UNA APROXIMACIÓN CINEMÁTICA.

A diferencia del análisis anterior, podemos considerar las condiciones de frontera como un campo de deformación, y de esta manera no describimos el sistema de esfuerzos asociado a la deformación, sino exclusivamente los estados deformado y no deformado de un cuerpo. En el caso de la deformación frágil podemos considerar como unidades fundamentales a los sistemas de deslizamiento los cuales están formados por un plano de falla y por un vector de deslizamiento. Eligiendo como sistema de referencia local un sistema cartesiano x_i , con x_1 perpendicular al plano de falla y sus otros dos ejes ubicados sobre este plano (Figura 3), cada falla consiste entonces de dos sistemas de deslizamiento; uno formado por el plano de la falla y un vector de deslizamiento paralelo a x_2 , y el otro por el mismo plano y un vector de deslizamiento paralelo a x_3 .

La deformación frágil puede entonces ser expresada matemáticamente como una suma de tensores (Kostrov 1974, Reches 1978), donde el tensor general es la suma de los tensores locales de deformación producidos por cada uno de los sistemas de deslizamiento, transformados al sistema general de referencia:

$$D_{ij} = \sum_n a_{ik} a_{jl} d_{kl}^n, \quad (14)$$

donde n representa el sistema de cizalla considerado, a_{ik} y a_{jl} son los cosenos directores entre los sistemas de referencia local y general y d_{kl}^n el tensor local de deformación producido por un sistema de deslizamiento.

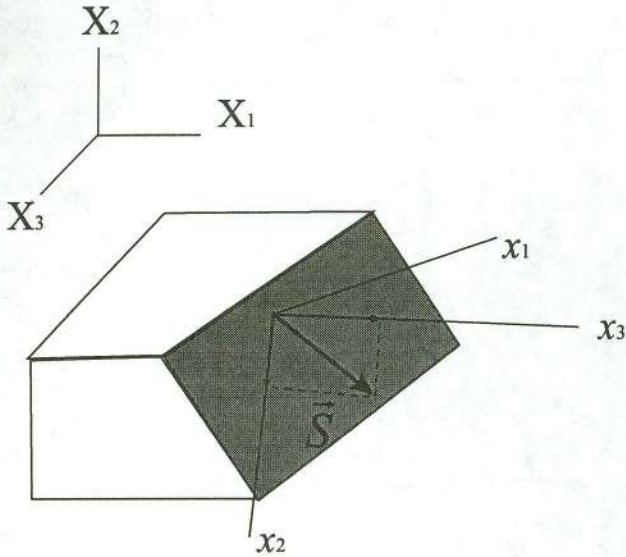


Figura 3. Esquema que muestra como un vector de deslizamiento (S) sobre un plano de falla, constituye dos sistemas de cizalla. X_i es el sistema general de referencia y x_i el sistema local de referencia. x_3 es perpendicular al plano de falla. Cualquier vector de deslizamiento sobre el plano de falla está formado por dos vectores paralelos a los ejes x_1 y x_2 del sistema local de referencia. Cada uno de estos vectores junto con el plano de falla constituye un sistema de cizalla.

Considerando que la dirección x_3 es paralela al vector de deslizamiento (la estría de la falla), cada tensor local de deformación está definido por

$$d_{ij} = \gamma \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

donde γ representa la cizalla simple a lo largo de la falla o grupo de fallas paralelas que se está considerando. Entonces, la ecuación (14) puede ser escrita como

$$D_{ij} = \sum_n \gamma^n \begin{bmatrix} N_1 S_1 & N_1 S_2 & N_1 S_3 \\ N_2 S_1 & N_2 S_2 & N_2 S_3 \\ N_3 S_1 & N_3 S_2 & N_3 S_3 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

donde N_i y S_i son los cosenos directores del vector unitario normal al plano y de deslizamiento. Haciendo explícitas las componentes del tensor de deformación la ecuación (16) queda expresada como

$$\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix} = \sum_n \gamma^n \begin{bmatrix} N_1 S_1 & N_1 S_2 & N_1 S_3 \\ N_2 S_1 & N_2 S_2 & N_2 S_3 \\ N_3 S_1 & N_3 S_2 & N_3 S_3 \end{bmatrix} \quad (17)$$

De la ecuación (17) podemos deducir que, para producir una deformación bidimensional donde se define una sola

componente del tensor D_{ij} , requeriremos solamente un sistema de cizalla en una dirección arbitraria. Esto producirá cizalla simple en el cuerpo deformado y sabemos que este tipo de deformación implica distorsión y rotación. Para aclarar esto, obsérvese la Figura 4, donde se esquematiza el caso general de una falla orientada al azar que contiene un vector de deslizamiento. Dado que se trata de una deformación plana, el vector de deslizamiento estará ubicado sobre el plano perpendicular a la dirección principal de distorsión nula y a lo largo de una dirección principal (nótese que habrá una distorsión de igual magnitud y signo contrario en la restante dirección principal dada la condición de volumen constante). El deslizamiento producirá una rotación de las líneas originalmente horizontales sobre el plano de distorsión (Figura 4b). De esta manera vemos que una sola falla produce deformación plana rotacional.

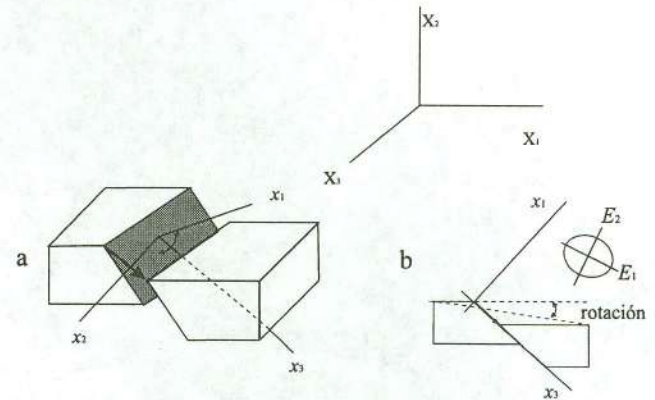


Figura 4. Deformación bidimensional rotacional. (a) Una falla produce deformación bidimensional, ya que en la dirección perpendicular al vector de deslizamiento no hay distorsión; obsérvese que toda la deformación ocurre en el plano $x_1 - x_3$. (b) El deslizamiento hace que una línea material sufra rotación al pasar al estado deformado. La elipse de deformación indica las direcciones principales.

Si consideramos una deformación plana no rotacional es necesario usar tres componentes del tensor de deformación en la ecuación (17), es decir, una distorsión en una de las direcciones principales donde sus dos componentes rotacionales son igual a cero; por ejemplo $D_{11} = E$, $D_{12} = 0$, y $D_{21} = 0$, siendo E un valor cualquiera de elongación. Nuevamente, de la ecuación (17) se deduce que requerimos tres sistemas de cizalla (γ^n) y, dado que cada falla contiene dos sistemas, entonces se requieren dos fallas (Figura 5). Es importante hacer notar que las fallas que liberan las deformaciones descritas pueden tener una orientación cualquiera y que el número de sistemas de cizalla que se dedujo como necesario es el número mínimo requerido para liberar la deformación. Esto quiere decir, por ejemplo, que la deformación bidimensional rotacional puede ser desarrollada por más de una falla.

Generalizando, podemos decir que la deformación bidimensional rotacional corresponde al caso de un plano de

orientación arbitraria que sufre reactivación y el caso de la deformación bidimensional irrotacional corresponde a cualquier sistema de fallas conjugadas. Debe notarse que un sistema tipo Coulomb, consistente de dos planos de falla que contienen la dirección principal con elongación nula, que corresponde a un caso especial de la deformación plana no rotacional.

No obstante que la deformación puede ser liberada por planos con distintas orientaciones, algunos sistemas de cizalla, es decir, algunas orientaciones de los planos de falla, liberarán de manera más eficiente la deformación. Un buen ejemplo de estos planos de mayor eficiencia son los sistemas de falla tipo Coulomb para el caso de fallas de neoformación.

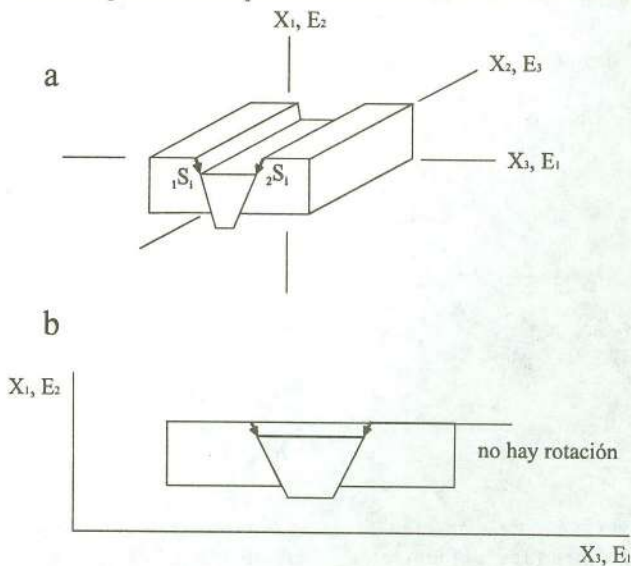


Figura 5. Deformación bidimensional irrotacional. (a) Un sistema conjugado de fallas produce deformación bidimensional irrotacional; obsérvese que las direcciones principales de deformación coinciden con el sistema general de referencia. No hay distorsión en la dirección X_2 ; toda la deformación ocurre en el plano $X_1 - X_3$. (b) El deslizamiento no produce rotación en una línea material al pasar al estado deformado.

PARTICIÓN DE LA DEFORMACIÓN

Consideraremos el caso general de deformación plana rotacional en un sistema de cizalla que libere más eficientemente dicha deformación por medio de una falla con vector de deslizamiento oblicuo. Supóngase ahora que el plano de falla a lo largo del cual se liberará la deformación ya existe, esto quiere decir que las orientaciones de los vectores de deslizamiento están sujetas a las permitidas por la superficie del plano de falla. Para liberar la deformación con un solo sistema de cizalla, el vector de deslizamiento deberá ser perpendicular a la dirección principal de elongación nula, según se muestra en la Figura 4. Sin embargo, dado que la orientación del plano ya está determinada, es posible que haya otros *sistemas de deslizamiento* (i. e. grupos de sistemas de cizalla) que liberen la deformación de manera

más eficiente. Si este es el caso, se producirán nuevos sistemas de cizalla sobre otra falla, que puede o no ser de neoformación y todos los sistemas actuarán simultáneamente. Cuando esto ocurre se dice que la deformación ha sido particionada.

Se han propuesto varias maneras de medir la eficiencia relativa de los sistemas de cizalla. En general se supone que se activarán aquellos sistemas de cizalla cuya suma minimice la energía disipada (o la cantidad de cizalla). Considérese, por ejemplo, los casos de un plano inclinado y otro vertical, que en un esquema de tectónica de placas, ocurre comúnmente en zonas de convergencia oblicua. Comúnmente se supone en la literatura que la falla vertical tendrá un desplazamiento de tipo lateral, y la falla inclinada un desplazamiento de tipo inverso u oblicuo (Figura 6). Lo anterior se basa en observaciones realizadas en numerosas zonas de convergencia oblicua (Jones y Wesnousky 1992), por lo que se hace necesario definir una variable geométrica que minimice la energía disipada. Por ejemplo, se puede elegir el ángulo formado entre el vector de deslizamiento y la horizontal, medido sobre el plano de la falla inclinada. Entonces se busca una ecuación de la forma

$$\frac{\partial W}{\partial \alpha} = 0, \quad (18)$$

siendo

$$\alpha = f(v, \theta, \phi), \quad (19)$$

donde v es el vector de convergencia, θ el ángulo entre el vector de convergencia y el rumbo de las fallas, y ϕ el echado de la falla inclinada. Pueden utilizarse otras variables que se consideren adecuadas al modelo cinemático que se esté analizando.

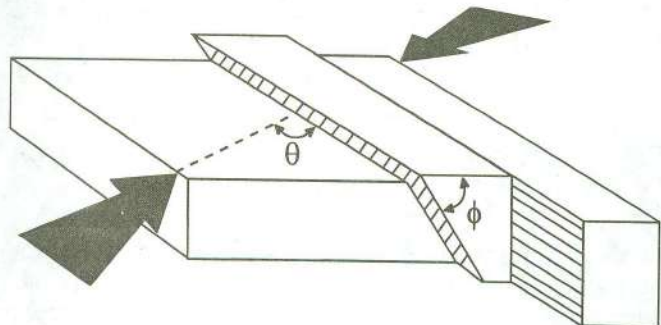


Figura 6. Se ilustra la partición de la deformación. En zonas de convergencia oblicua, la deformación se puede liberar por deslizamiento oblicuo sobre una falla, pero comúnmente se particiona dando lugar a deslizamiento sobre dos fallas; una de movimiento lateral y otra de movimiento oblicuo.

Estos esquemas de partición de la deformación son bastante rígidos ya que imponen numerosas restricciones al modelo cinemático. Una aproximación más general, aún no explorada, es el uso de la teoría de deformación plástica por

deslizamiento sobre planos (*gliding*) propuesta por Taylor (1938) y Bishop y Hill (1951). Esta teoría fue aplicada por Oertel (1965) para explicar las fracturas formadas en pasteles de arcilla y por Reches (1978) para explicar el origen de los patrones ortorrómbicos de fallas, los cuales se generan en campos de deformación tridimensional irrotacional. Actualmente, en el Instituto de Geología de la UNAM, se desarrolla un proyecto de investigación sobre la aplicación de esta teoría a un cuerpo de roca que contiene varios planos de debilidad susceptibles de liberar la deformación. Basados en esta teoría, se podrán considerar en el análisis cinemático un número más grande de sistemas de cizalla, representados por fallas en la corteza terrestre. El modelo hará preferible a aquella combinación de sistemas de cizalla que acomode la deformación impuesta con el mínimo de energía disipada. Se podrá considerar que las fallas tienen deslizamiento simultáneo, o que se activaron por grupos en fases distintas de un evento de deformación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los comentarios y sugerencias de Susana Alaniz-Alvarez y la revisión de Gustavo Tolson Jones, los cuales ayudaron a dar claridad a este trabajo.

REFERENCIAS

- Bishop, J. F. W., and Hill, R., 1951, A theory of plastic distortion of a polycrystalline aggregate under combined stress: *Philos. Mag.*, v. 42, p. 414-427.
- Jones, C. H., and Wesnousky, S. G., 1992, Variations in strength and slip rate along the San Andreas Fault System: *Science*, v. 256, p. 83-86.
- Kostrov, B. V. 1974, Seismic moment and energy of earthquakes, and seismic flow of rock: *Izv. Acad. Sci. USSR Phys. Solid Earth*, v. 1, p. 23-44.
- Means, W. D., 1976, *Stress and Strain: Basic Concepts of Continuum Mechanics for Geologists*: New York, Springer-Verlag, 339 p.
- Oertel, G., 1965, The mechanism of faulting in clay experiments: *Tectonophysics*, v. 2, p. 343-393.
- Reches, Z. 1978. Analysis of faulting in three-dimensional strain field: *Tectonophysics*, v. 47, p. 109-129.
- Taylor, G. I., 1938, Plastic strain in metals: *J. Inst. Met.*, v. 62, p. 307-324.

IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS DEL INTERIOR DE LA TIERRA: PARTE 1

Enrique Gómez Treviño
CICESE, Ensenada, Baja California

1. INTRODUCCIÓN

Como seres que vivimos en la superficie de la tierra podemos dirigir nuestra vista en diversas direcciones. Hacia arriba y hacia los lados podemos distinguir objetos que se encuentran a muchos kilómetros de distancia; tal es el caso de las montañas lejanas, la luna o el sol. De todos nuestros sentidos, el de la vista es el que posee mayor campo de acción: éste va desde nuestra nariz hasta las estrellas. Aunque generalmente no pensemos en ello, no deja de ser gratificante sabernos poseedores de tan fantástico poder. Sin embargo, más bien escogemos pensar que nuestros sentidos son bastante limitados, y en particular el de la vista. Lo anterior se debe a que comparamos la capacidad de nuestros ojos con lo que puede hacer un microscopio o un telescopio. La resolución de estos instrumentos es simplemente muy superior a la de nuestros ojos. Llegaremos a una conclusión similar si comparamos nuestra visión con lo que se puede lograr mediante el uso de rayos X. En este caso no se trata de un simple cambio de escala. Mediante el uso de rayos X se puede ver el interior de los objetos, lo cual es cualitativamente diferente de un simple agrandamiento o acercamiento de las imágenes.

Esta capacidad para ver el interior de un objeto es un logro relativamente reciente. Mucho antes de alcanzarlo ya habíamos explorado gran parte del mundo microscópico, y antes de esto ya conocíamos el gran poder del telescopio. Sin embargo, podemos afirmar que la fantasía de ver a través de los obstáculos es anterior al deseo de ver objetos muy pequeños o muy lejanos. Por ejemplo, en el caso de objetos muy pequeños ni siquiera sospechábamos la existencia de los microbios, nadie imaginaba que tal mundo pudiera existir. Por otro lado, la capacidad de traspasar la materia con la vista ha sido contemplada por la humanidad desde hace muchos siglos, y todavía se sigue contemplando. Desde los antiguos dioses griegos hasta el moderno superman han poseído este poder. Estos seres extraordinarios están dotados, o mas bien los hemos dotado, de poderes también extraordinarios que no poseemos los seres que somos simplemente humanos. Freud nos diría que los individuos siempre han tenido deseos inconscientes de ver a través de las paredes, y que ante la imposibilidad de satisfacer estos deseos, superan sus frustraciones inventando personajes fantásticos que todo lo pueden. Por su parte, Platón explicaría que en tiempos muy antiguos los hombres eran capaces de ver a voluntad a través de los obstáculos, pero que los dioses, seguramente celosos por alguna travesura indiscreta de los humanos, habían determinado quitarles este poder. De cualquier manera que sea, el hecho es que ver a través de

los obstáculos es un logro que hemos ido perfeccionando con el tiempo. Existen muchas formas de hacerlo dependiendo del obstáculo y de lo que se esté buscando. Algunas técnicas se utilizan en el cuerpo humano para inspeccionar los órganos internos. Los aeropuertos cuentan cada vez con más y mejores sistemas de seguridad, para lo cual requieren de técnicas para identificar lo que contienen las maletas, por supuesto que sin abrirlas. Por otra parte, en la exploración del subsuelo se utilizan técnicas para localizar diversos recursos naturales.

Históricamente el subsuelo ha sido un misterio en el cual tan pronto imaginábamos monstruos peligrosísimos como riquezas incalculables. Ambas visiones son parcialmente ciertas, considerando el origen interno de las erupciones volcánicas y de los terremotos, así como que de las entrañas de la tierra extraemos desde piedras preciosas hasta petróleo, pasando por vapor de agua y gran parte del agua potable que consumimos. Para entender las erupciones volcánicas y los terremotos, y para localizar los yacimientos de petróleo y de minerales, es necesario construir imágenes o modelos del interior de la tierra. Y en esto es en donde esta el problema que nos ocupa. La tierra es opaca, en el sentido en que no deja pasar la luz. La luz que llega a la tierra se refleja o se absorbe, dando como resultado el que no podamos observar directamente lo que se encuentra en su interior. Tan sólo un centímetro de tierra puede ocultarle a un arqueólogo el gran descubrimiento de su vida. Y tan sólo un centímetro de tierra puede ocultarle también a un buscador de tesoros la fortuna de él y sus descendientes.

Se puede apreciar que existen muchas y muy diversas razones para que dediquemos tiempo y esfuerzo a la solución del problema que nos ocupa. Mucho se ha logrado sobre todo en el presente siglo. En un estudio sismológico reciente se descubrió que el núcleo interno de la tierra, el cual se encuentra a varios miles de km de profundidad, está girando un poco mas rápido que el resto de la tierra. La diferencia es tan pequeña que se necesitan 400 años para que el núcleo supere en una vuelta completa al resto de la tierra. Sin embargo, la diferencia es suficientemente grande para tener importantes implicaciones en el comportamiento del campo magnético terrestre. Paralelamente a la adquisición de conocimientos del interior de la tierra, hemos ido desarrollando diversas formas para obtener imágenes de las profundidades. Aunque estas imágenes son aún un tanto borrosas debido a la dificultad del problema, lo que hemos logrado es bastante y satisface mucha de nuestra curiosidad, además de que nos ha servido para localizar y explotar una variedad de recursos naturales en que se basa nuestra civilización material. Platón podría reconfortarnos diciendo que al perder nuestros poderes

de antaño, ganamos la gloria de reconquistarlos por nosotros mismos.

El presente escrito pretende servir como una pequeña introducción a una de las formas más usuales para obtener imágenes del subsuelo. En conjunto se trata de una variedad de métodos todos ellos basados en los principios físicos del electromagnetismo. Recordando que la luz es también un fenómeno electromagnético, aunque de diferente escala, los métodos y procedimientos que se describirán pueden muy bien considerarse como la extensión natural de nuestro sentido de la vista.

2. ¿PORQUÉ IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS?

Antes de proceder a la respuesta de esta pregunta es conveniente precisar el término "imágenes electromagnéticas del subsuelo", en relación con tipos de imágenes más familiares para el lector. Una fotografía, por ejemplo, contiene simplemente la imagen externa del objeto fotografiado. Una placa de rayos X, por otro lado, puede contener información sobre las partes internas del cuerpo humano, para lo cual se hacen pasar los rayos X a través del cuerpo; una fotografía tomada a través de un telescopio podrá contener detalles imposibles de observar a simple vista sobre la superficie del planeta Júpiter. Lo mismo podría decirse de la imagen de una bacteria vista a través de un microscopio. En todos los casos se trata de imágenes que se obtienen con la ayuda de dispositivos físicos diseñados específicamente para alcanzar el fin que se desea. En todos estos casos se trata también de imágenes electromagnéticas, en el sentido en que la luz y los rayos X son fenómenos de este tipo.

La cámara fotográfica, el aparato de rayos X, el telescopio o el microscopio no pueden utilizarse para obtener imágenes del subsuelo porque ni la luz ni los rayos X penetran lo suficiente en los materiales de que se compone la tierra. Lo mismo pasa con las diferentes cámaras que se instalan en los satélites para fotografiar la tierra. Las imágenes de satélite son muy útiles para identificar las rocas que se encuentran en la superficie, pero no contienen información sobre las rocas que yacen a profundidad. Para obtener información sobre la naturaleza de las rocas y el estado de las mismas a grandes profundidades, se ha diseñado y se sigue perfeccionando una variedad de métodos basados en diferentes principios físicos. Estos métodos genéricamente se les conoce con el nombre de métodos geofísicos, dada la relación que se da entre la geología y la física en el cumplimiento del objetivo. La motivación principal para desarrollar estos métodos es poder obtener imágenes desde pocos metros de profundidad hasta el mismo centro de la tierra, el cual se encuentra a poco más de 6,000 km de la superficie del suelo. Dependiendo del principio físico, estas imágenes pueden corresponder a la distribución de propiedades físicas como la densidad de masa, velocidad de

ondas sísmicas, conductividad eléctrica, conductividad térmica, etc., las cuales para ser útiles deben necesariamente traducirse a imágenes que reflejen el tipo de roca, su temperatura, grado de humedad, porosidad, permeabilidad hidráulica, etc. Las imágenes profundas son útiles para entender la dinámica de la tierra como planeta, así como para explicar fenómenos como los terremotos y las erupciones volcánicas, ya que estos no son sino la manifestación superficial de cambios que se operan en la tierra a grandes profundidades. Las imágenes menos profundas, hasta profundidades máximas de 10 km, resultan útiles en relación con la exploración de los recursos naturales del subsuelo. Con ellas se puede determinar los lugares con mejores posibilidades para la explotación de petróleo, agua o minerales en general.

De las diversas propiedades físicas que se utilizan actualmente para obtener imágenes del subsuelo, en el presente capítulo consideraremos sólo la conductividad eléctrica. Esta propiedad caracteriza el grado que poseen las diferentes rocas para conducir la corriente eléctrica. En un extremo se encuentran las que son aislantes, siendo prácticamente imposible hacer que circule corriente a través de su estructura; el cuarzo a temperatura ambiente es un ejemplo. En la categoría intermedia se encuentran las rocas cuya conductividad se debe a la existencia de electrolitos en poros y fracturas. Las rocas sedimentarias y la mayor parte de las ígneas y metamórficas pertenecen a esta categoría. En el otro extremo se hallan los metales y las rocas con alto contenido de minerales metálicos, así como cualquier tipo de roca a su temperatura de fusión; la corriente eléctrica en estas rocas fluye fácilmente a la menor excitación. Aplicando un voltaje fijo, digamos el voltaje de 1.5 V que proporcionan las pilas común y corrientes, a las rocas que dejan pasar mucha corriente se les asigna un valor alto de conductividad, y viceversa. Las unidades de conductividad son Siemens por metro (S/m).

La relevancia de la conductividad eléctrica en relación con los materiales terrestres se debe principalmente a dos razones: la primera es que con sólo conocer el valor de la conductividad de una roca se puede inferir, con cierto grado de certidumbre, el tipo de roca de que se trate. Como la conductividad de las rocas depende también de otros factores como la temperatura, el contenido de agua, la salinidad del agua, la porosidad, la permeabilidad hidráulica, etc., existe también la posibilidad de hacer inferencias acerca de estos parámetros con sólo conocer el valor de la conductividad. Seguramente el lector tendrá sus experiencias al respecto, en el dado caso de haber recibido pequeñas descargas eléctricas al tocar una pared húmeda cerca de un apagador o toma de corriente. Las paredes secas son muy malos conductores de la electricidad por lo que en condiciones normales no se recibirá ninguna descarga al apoyarse en ellas. Con la humedad las paredes se convierten en buenos conductores, por lo que resulta peligroso tocarlas cerca de instalaciones eléctricas.

La segunda razón de la relevancia de la conductividad eléctrica en relación con los materiales terrestres, es que su valor numérico se puede inferir a distancia, sin que se requiera realizar perforaciones para tener acceso directo a los materiales en cuestión. En esto se basa precisamente la elaboración de las imágenes electromagnéticas del subsuelo, las cuales han de obtenerse trabajando solamente sobre la superficie de la tierra. Para esto se requiere de una fuente de energía capaz de hacer que fluya corriente eléctrica en la tierra, así como realizar mediciones de sus efectos en la superficie. Además, se requiere tratar matemáticamente a las mediciones, considerando para ello las correspondientes leyes físicas que gobiernan el flujo de corriente en la tierra. En las siguientes secciones se describirán las diferentes partes del proceso. Se tratará de evitar en lo posible el uso de recursos matemáticos complicados, se apelará más bien a la intuición y al sentido común del lector mediante argumentos físicos sencillos.

Antes de terminar es conveniente enfatizar que las imágenes eléctricas del subsuelo son más bien medios que fines. Más que la distribución de la conductividad eléctrica

nos interesa su traducción en términos geológicos. Esto es, lo que en última instancia se requiere es la distribución de los diferentes tipos de rocas y las condiciones en que éstas se encuentran. Generalmente este es el aspecto más delicado de todo el proceso, pues no siempre es posible asignar unívocamente un valor de conductividad a un determinado tipo de roca. La experiencia y el conocimiento derivado de mediciones de laboratorio juegan un papel decisivo en esta etapa. El proceso completo desde la toma de mediciones hasta la interpretación final constituye el campo de estudio de los métodos electromagnéticos en geofísica.

En el próximo número trataremos el problema de cómo hacer que la corriente eléctrica fluya a grandes profundidades. En otro posterior seguiremos con la cuestión de cómo detectar en la superficie de la tierra los efectos de esas corrientes. Después veremos el problema de qué hacer con las mediciones para transformarlas en imágenes del subsuelo. En la última parte veremos ejemplos ilustrativos de imágenes de diferentes escalas, desde las más someras para localizar cavidades en el subsuelo, hasta las más profundas para estudiar discontinuidades en el manto de la tierra.

REPORTE DE LA SESION ESPECIAL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL: MEDICIONES GEODESICAS PRECISAS Y MONITOREO DE LA DEFORMACION CORTICAL EN MEXICO Y REGIONES ADYACENTES, REUNION ANUAL 1995 DE LA UNION GEOFISICA MEXICANA

Robert Reilinger¹, Javier González García² y Yehuda Bock³

¹ Massachusetts Institute of Technology, USA

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México

³ Scripps Institution of Oceanography, UCSD, USA

Organizadores: Javier González García y Robert Reilinger

DESCRIPCIÓN DE LA SESIÓN

México se caracteriza por la ocurrencia de una amplia variedad de procesos tectónicos contemporáneos, incluyendo: dispersión del piso oceánico en el Golfo de California, fallamiento transforme continental a lo largo de las fallas Cerro Prieto-Imperial en Baja California y la falla Polochick-Motagua en Chiapas, subducción a lo largo de la Trincheras Mesoamericana, y actividad volcánica y geotérmica.

El Sistema Global de Posicionamiento (GPS por sus siglas en inglés) ha sido utilizado para monitorear la deformación cortical en México desde mediados de la década de los 80's y está proporcionando información nueva importante sobre los procesos tectónicos regionales. Adicionalmente la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), operada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, es una red de GPS de monitoreo continuo que es deseable se densifique y se extienda como red geodésica para estudios tectónicos. El propósito de la sesión fue reunir a geodestas y geofísicos para auxiliar en la coordinación de esfuerzos y asegurar una utilización más productiva de estos recursos. Los trabajos presentados en la sesión mostraron resultados sobre deformación tectónica reciente, actividades geodésicas en proceso y perspectivas a mediano plazo del uso de GPS en México y regiones adyacentes de Estados Unidos y Centro América.

PRESENTACIONES

Se sometieron a la sesión especial trece resúmenes (listado anexo). Dos de ellos no se presentaron (Soler et. al. y Spofford y Strange). Los tópicos tratados incluyen actividades de GPS a nivel mundial, la Red Geodésica Nacional Mexicana, deformación cortical en México (Baja California, el Golfo de California, subducción a lo largo de la frontera de la Placa Rivera), monitoreo volcánico y deformación en áreas adyacentes (Sur de California y Costa Rica). La sesión tuvo en promedio una atención de más de 40 colegas, los cuales participaron activamente.

Después de las palabras introductorias de los organizadores de esta sesión especial, la primera plática fue presentada por Ruth Neilan (Jet Propulsion Laboratory) describiendo el Servicio Internacional de GPS (IGS) y la importancia del IGS para aumentar y mejorar los estudios regionales de GPS en México. Esta plática fue seguida por una descripción detallada de la Red Geodésica Nacional Activa presentada por Gabriel Alvarez. Yehuda Bock hizo la siguiente presentación (Bock, Márquez y Alvarez) en la cual se describe las actividades de monitoreo continuo de GPS en el Sur de California y las oportunidades que existen de extender esta cobertura a México. Las siguientes cuatro presentaciones se enfocaron en estudios de deformación de la región que comprende el Sur de California incluyendo la discusión de las razones de dispersión en el Golfo de California (Sánchez y Suárez), deformación a través de la falla Agua Blanca (Hinojosa, Suárez y Dixon), y deformación y riesgo por terremoto en el Norte de Baja California y el Valle de Mexicali (González, Reilinger y Bennett). Los dos trabajos siguientes discutieron la deformación del Bloque Jalisco asociado con la subducción de las placas de Cocos y Rivera (DeMets et. al. y Melbourne et. al.). Estos trabajos fueron particularmente estimulantes y muy discutidos en vista del terremoto reciente en la costa de Jalisco el cual causó cierto daño en Puerto Vallarta. El siguiente trabajo describe el proyecto para monitorear la deformación volcánica como auxiliar en la predicción de futuras erupciones en dos conos volcánicos en México (Glauss y Márquez). El trabajo final de la sesión describe la deformación cosísmica e intersísmica en Costa Rica (Lundgren, Protti y Ruso).

REUNIÓN POSTERIOR A LA SESIÓN

Se organizó una reunión informal, inmediatamente después de la sesión, para discutir la posible cooperación entre los varios grupos que trabajan sobre GPS en México y particularmente entre las comunidades geodésica y geofísica en México, entre los participantes se contaron Gabriel Alvarez y dos de sus asociados (INEGI), Yehuda Bock (SIO), Chuck DeMets (Universidad de Wisconsin), Javier González (CICESE), Tim Melbourne (CalTech), Ruth Neilan (JPL), Robert Reilinger (MIT), Osvaldo Sánchez (UNAM) y

James Stowell (AshTech). Javier González mencionó los esfuerzos realizados para establecer un consorcio mexicano, similar a UNAVCO en Estados Unidos, para coordinar y apoyar los estudios geodinámicos con GPS en México. Yehuda Bock y Gabriel Alvarez presentaron un resumen de las pláticas que se han establecido entre las Institución Scripps de Oceanografía e INEGI para actualizar la Red Geodésica Nacional Activa e incluir dicha red en el Servicio Internacional de GPS's, esto se recibió con gran entusiasmo y todos los presentes lo apoyaron fuertemente. Posteriormente se discutió cuáles serían las estaciones de RGNA más críticas para apoyar estudios de geodinámica en proceso en México. Todos los participantes expresamos nuestro interés en aumentar la cooperación y somos optimistas acerca del futuro.

En resumen estamos muy satisfechos de la realización de esta reunión dentro de la Unión Geofísica Mexicana en Puerto Vallarta. Agradecemos a todos los expositores por sus bien preparadas presentaciones, las que estimulan el interés internacional y la importancia social de las actividades de GPS en México. Esto debe ser un aliento para que las comunidades geodésica y geofísica en México fortalezcan su colaboración y cooperación con la comunidad científica internacional en el área de Ciencias de la Tierra.

PONENCIAS

Benefits of the International GPS Service for Monitoring Crustal Deformation in México System. Ruth Neilan.

Estado Actual de la Red Geodésica Nacional Activa (México). Gabriel Alvarez García.

Continuous GPS Measurements of Crustal Deformation in Southern California, Baja California, and Mainland México. Y. Bock, S. Márquez and G. Alvarez García.

Baja California Sur-Sonora-Sinaloa GPS Network Reoccupied. Osvaldo Sánchez and Gerardo Suárez.

Estimación de la Razón de Desplazamiento de la Falla de Agua Blanca Utilizando GPS. Alejandro Hinojosa C., Francisco Suárez V. y Tim Dixon.

GPS Constraints on Fault Slip Rates in Southern California and Northern Baja, México. R. A. Bennett, R. E. Reilinger, B. H. Hager, T. A. Herring, R. W. King, W. Rodi y J. Javier González.

GPS Velocities in Northern Baja California-Gulf of California Region, 1989-1995. Preliminary Results. J. Javier González, Robert E. Reilinger and Richard A. Bennett.

Anticipating the Successor to Mexico's largest Historical Earthquake: GPS Measurements of Strain Accumulation in the State of Jalisco. C. DeMets, O. Sánchez, G. Suárez, I. Carmichael, T. Melbourne and J. Stock.

GPS and the Jalisco Block (Plus Coseismic Displacement from October 9, 1995 Earthquake). Timothy Melbourne, Osvaldo Sánchez Zamora, Gerardo Suárez, Chucks DeMets, Ian Carmichael, Joan Stock and Frank Webb.

Monitoreo de los Volcanes "Fuego" y "Ceboruco" Empleando GPS. Ralph Glaus y Bertha Márquez.

GPS Monitoring in Costa Rica and Modeling Crustal Deformation in the Caribbean Region. P. Lundgren, M. Protti and R. M. Ruso.

National (U.S.A.) Geodetic Survey GPS Precise Ephemeris and Continuously Operating Reference Station Data. P.R. Spofford, and W. E. Strange.

GPS High Accuracy Geodetic Networks in México. T. Soler, G. Álvarez-García, A. Hernández-Navarro, and R. H. Foote.

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 entre Mayo de 1996 a Julio de 1996.

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 Rocos 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 Gonzalez y García (1986).

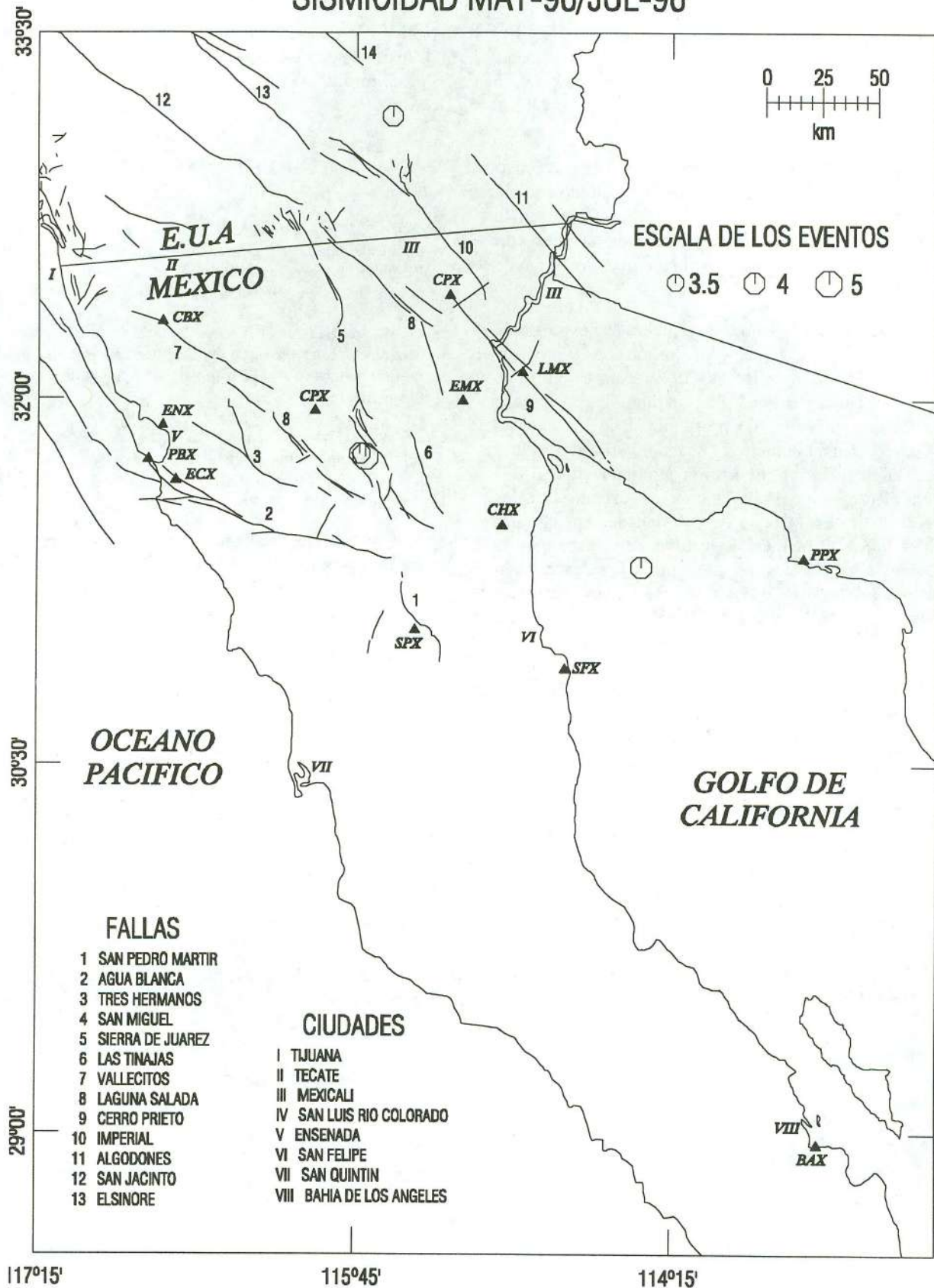
REFERENCIAS

- González-G., J. J. y García-A, R., 1986, Escala de magnitud-coda para estaciones sismográficas 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 _D	RMS	NO	REGION
	HR	MN	SEG	LAT. N	LON. O					
MAYO 1996										
01	23	10	54.32	31 17.17	114 24.38	10.00*	3.7	0.20	8	LOCALIZADO A 54 KM AL NORESTE DE SFX. (NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA).
JUNIO 1996										
21	02	16	58.50	33 10.42	115 36.42	9.00*	3.8	0.31	13	LOCALIZADO A 88 KM AL NORTE DE CPX. (SUR DE LA FALLA SAN ANDRES E.U.A.).
JULIO 1996										
07	06	27	9.97	31 45.08	115 41.51	12.00*	4.1	0.12	10	LOCALIZADO A 32 KM AL SURESTE DE RDX. (FALLA SIERRA DE JUAREZ)
07	15	31	57.50	31 45.75	115 43.77	12.72	3.5	0.13	10	LOCALIZADO A 29 KM AL SURESTE DE RDX. (FALLA SIERRA DE JUAREZ).

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 Montañón

SISMICIDAD MAY-96/JUL-96



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 y la medalla Mariano Barcena por méritos académicos y labores de fortalecimiento para la misma Unión. 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:

Biografía de Manuel Maldonado-Koerdell. Nació en Mazatlán, Sin., y m. en el DF (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 Barcena

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:

Biografía de Mariano Barcena. 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.

X CONGRESO NACIONAL DE OCEANOGRAFÍA

MANZANILLO, COLIMA, MÉXICO

La Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad de Colima

CONVOCA

A la Comunidad Científica Nacional de las Ciencias Marinas, a participar en el X Congreso Nacional de Oceanografía que se realizará en la Ciudad de Manzanillo, Colima, del 4 al 7 de noviembre de 1996.

Se aceptarán trabajos, de acuerdo al dictámen del Comité Evaluador, para ser presentados en forma oral o en cartel.

LAS ÁREAS TEMÁTICAS GENERALES CONTEMPLADAS SON:

Oceanografía Biológica y Pesquera
Oceanografía Química
Oceanografía Física
Oceanografía Geológica
Recursos Marinos

La fecha límite para la recepción de resúmenes es el 15 de septiembre, los que deberán ajustarse a un máximo de 200 palabras, debiendo indicar autor(es), institución, dirección y dirección electrónica (si procede) y palabras clave que identifiquen la temática del trabajo, impreso y en diskette de 3 1/2", 2S, HD, utilizando Word, Word Perfect ó Write, todos bajo Windows, tipo de fuente Arial tamaño 12. Se invita a los autores a que se presenten en extenso su(s) trabajo(s) para ser incluidos en el CD que editará el Centro Editor de Discos Compactos (CENEDIC) de la Universidad de Colima.

El costo de la inscripción previa al Congreso es de \$500.00 para ponentes y asistentes, y de \$250.00 para estudiantes con credencial; durante el mismo será de \$600.00 y \$300.00, respectivamente. (Depositar en cuenta No. 70141-51282021018 del Banco Mexicano Suc. Santiago, enviando Fax de la ficha de depósito). Cubre los costos de inscripción y asistencia, además de cafetería, copia de la memoria y documentación.

INFORMACIÓN Y REGISTRO

Comité Organizador del X Congreso Nacional de Oceanografía
Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad de Colima.
Km. 20 Carret. Manzanillo-Cihuatlán. A.P. 921, Manzanillo, Colima 28200.
Tel/Fax: (333)500-01.
E-mail: facimar@volcan.ucol.mx
URL <http://www.ucol.mx/>

XIII CONVENCION GEOLÓGICA NACIONAL 1996
LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Sociedad Geológica Mexicana - Universidad Autónoma de Baja California Sur
24-28 de Noviembre de 1996

Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar
Departamento de Geología Marina

Nuestra Sociedad Geológica le invita a participar en la "XIII Convención Geológica Nacional", a realizarse en las instalaciones de nuestra universidad del 24 al 28 de Noviembre del año en curso.

Los resúmenes no deberán exceder las 250 palabras y deberán ser enviados antes del 30 de Septiembre (escritos en español o inglés), a nombre de:

"XIII Convención Geológica Nacional"
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Depto. de Geología Marina
A.P. 19-B, La Paz, B.C.S. 23080, México
Fax: 91(112)124-77
E-mail: lrsegura@calafia.uabcs.mx
gema@calafia.uabcs.mx

COSTO:

La cuota de inscripción es de \$120.00 U.S. para miembros de la SGM y de \$140.00 U.S. para no miembros, los acompañantes y/o asistentes sin ponencia pagarán \$80.00 U.S., si usted hace su pago antes del día 30 de Agosto se le hará un descuento de \$30.00 U.S., para efectuar el pago favor de enviar giro o cheque bancario a nombre de Ing. Efraín Cornejo Luna, a la dirección de nuestra Universidad.

Habrà sesiones orales y de cartel, las primeras serán de 15 minutos de exposición más 5 minutos para preguntas y/o comentarios.

Los hoteles que ofrecen descuentos para convencionistas son:

Hotel Perla de la Paz (4 estrellas) con una tarifa de \$179.00 M.N., para habitación doble o sencilla y \$200.00 M.N., para habitación triple o cuádruple; telefono 91(112) 208-21 o por fax 91(112) 553-63.

Hotel Los Arcos (5 estrellas) ofrece habitación sencilla \$35.00 U.S., doble por \$40.00 U.S., o habitación triple por \$45.00 U.S. telefono 91(112) 227-44 o fax 91(112) 543-12 las tarifas no incluyen el IVA.

Si usted está interesado en participar como ponente, asistente o va a presentar un cartel, favor de hacérnoslo saber.

IAVCEI, PUERTO VALLARTA, MÉXICO, 1997

GENERAL ASSEMBLY

JANUARY 19-24

VOLCANIC ACTIVITY AND THE ENVIRONMENT

THEMES:

- 1.- Environment aspects of volcanism**
- 2.- Volcanic Hazards**
- 3.- Confronting Volcanic Hazards**
- 4.- Other Environments**
- 5.- Geochemistry and Petrogenesis of Magmatic Rocks**

EXCURSIONS:

Pre and post meeting

ORGANIZING COMMITTEES:

Instituto de Geofísica, UNAM
Circuito Interior, Cd. Universitaria, C.P. 04510
México, Distrito Federal
Fax: 91 (5) 550-2486

Corporación Turística Interlineal, S.A. de C.V.
(COTISA)
Providencia 334-309
Col. Del Valle, C.P. 03100
México, Distrito Federal
Fax: 91(5)687-9892
E-mail: lourdes@igiris.igeograf.unam.mx

II CONVENCION SOBRE LA EVOLUCION GEOLÓGICA DE MÉXICO Y RECURSOS ASOCIADOS

**PACHUCA, HGO., MÉXICO
24 - 28 DE MAYO DE 1997**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

El Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, invitan a la comunidad científica del área de Ciencias de la Tierra, a participar en la II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, que se llevará a cabo en la ciudad de Pachuca, Hgo., del 25 al 28 de Mayo de 1997.

SESIONES TEMÁTICAS Y DE CARTEL:

- | | | | |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| • Geología Regional | • Estratigrafía | • Tectónica | • Volcanismo |
| • Yacimientos Minerales | • Petrología y Mineralogía | • Hidrogeología | • Paleontología |
| • Edafología | • Geología Ambiental | • Geología del Cuaternario | • Geoquímica Isotópica |
| • Geofísica | • Geomorfología | | |

EXCURSIONES GEOLÓGICAS:

- 1 Geología del Anticlinorio de Huayacocotla, Región de Molango, Hidalgo**
- 2 Excursión Geológica a través de la Sierra Madre Oriental (Zimapan-Jacala-Tamazunchale-Xilitla-Jalpan-Tequisquiapan)**
- 3 Las Mineralizaciones en los Distritos Pachuca-Zimapan. Su papel en la Evolución Metalogenica del Estado de Hidalgo.**

INFORMACIÓN:

M.C. Diego A. Córdoba Méndez
Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Teléfonos: 91(771) 602-54
Faxes: 91(771) 607-40 y 607-63

Dr. Victor M. Malpica Cruz
Ing. Rodolfo del Arenal Capetillo
Instituto de Geología
Universidad Nacional Autónoma de México
Teléfonos: 91(5) 622-4290 y 622-4299
Faxes: 91(5) 550-8432 y 550-6644

Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA

Geología Estructural
Geología Marina
Geocronología
Vulcanología
Estatigrafía
Petrología
Tectónica

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:

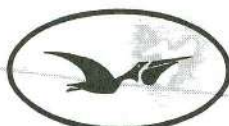
CICESE

Dirección de estudios de Posgrado
Apartado Postal 2732
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada
Ensenada, Baja California
C.P. 22860, México

Tel. 91 (61) 74-50-50 Ext. 23001

Fax: 91 (61) 74-48-80

<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) 1940-49 o 1940-00, Ext. 532 con el Dr. Alvaro Muñoz en Paseo Cuaunáhuac #8532, Progreso, Morelos, México. C.P. 62550.

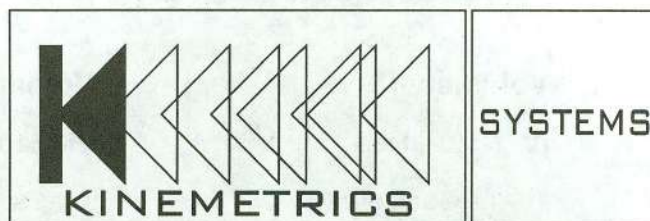


El Instituto de Geofísica y la Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado del CCH de la UNAM ofrecen a todos los profesionales en Física, Geofísica, Geología, Ingeniería, Química, o alguna área académica afín, los Posgrados de Maestría y Doctorado de Geofísica dentro de las siguientes áreas:

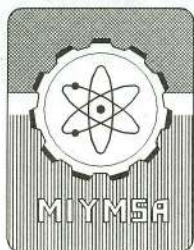
AGUAS SUBTERRANEAS
EXPLORACIÓN GEOFÍSICA
SISMOLOGÍA Y FÍSICA DEL INTERIOR DE LA TIERRA
ESTUDIOS ESPACIALES
MODELACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL DE SISTEMAS GEOFÍSICOS

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

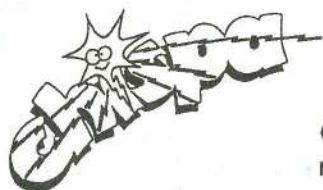
- 1.- Energía, agua y suelo, bases de la actividad económica
- 2.- Agricultura
- 3.- Ganadería
- 4.- Actividad forestal
- 5.- Pesca
- 6.- Energía Eléctrica
- 7.- Economía petrolera
- 8.- Minería
- 9.- Industria
- 10.- Transporte y comunicación
- 11.- Turismo
- 12.- Comercio y servicios
- 13.- Asimilación 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
Apartado Postal 20-850
México, 01000, D.F.
Tel.: 548-9779
Fax: 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.



Tlacopac No. 6, Col. Campestre
C.P. 01040, México, D.F.
o Apdo. Postal 19-466
C.P. 03910, México, D.F.
Tel. 662-60-46
Fax: 662-77-91



Revista \$ 12.00 Precio Pacto

Ejemplar atrasado \$ 10.00

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 foráneo 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 paginas 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 laser.

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	2	3
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	☐	☐	☐
	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)

Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana que la cuota para 1997 es de N\$ 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
Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada
Ensenada, 22860, Baja California

Ana Pereda
Instituto de Geofísica, UNAM
Ciudad Universitaria
México, D.F., Del. Coyoacán,
C.P. 04510

Con un cordial saludo.

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

GEOS, revista a la venta en:

ó

CICESE:

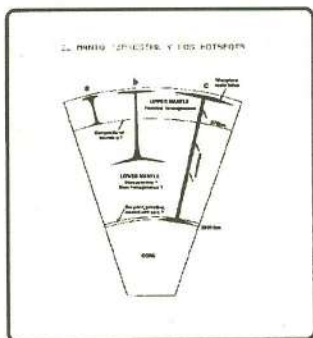
Instituto de Geofísica-UNAM
Sección Editorial,
At'n: Ana Pereda

División de Ciencias de la Tierra
Departamento de Geología
At'n: Victor M. Frías Camacho

Costo del ejemplar N\$ 50.00

GEOS

UNION GEOFISICA MEXICANA



Volumen 14 No. 2
Abril de 1994

GEOS

UNION GEOFISICA MEXICANA

BOLETIN INFORMATIVO EPOCA II

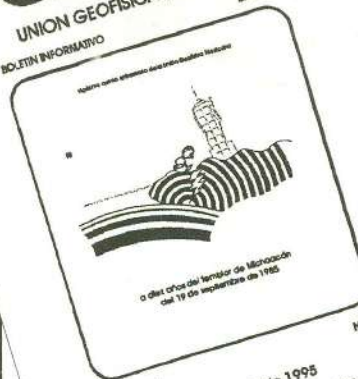


GEOS

UNION GEOFISICA MEXICANA

BOLETIN INFORMATIVO

EPOCA II



Volumen 15 No. 2
Noviembre de 1995
Resúmenes y programa de la Sesión Anual

La Sismología en México:

10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985

Monografía No. 2 Unión Geofísica Mexicana

Francisco Medina Martínez
Luis A. Delgado Argote
Gerardo Suárez Reynoso

Editores



MONOGRAFIA No. 1

CONTRIBUCIONES A LA TECTONICA DEL OCCIDENTE DE MEXICO

L. A. Delgado-Argote
A. Martín-Barajas
Editores



UNION GEOFISICA MEXICANA

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

geofísica internacional

CONTENTS

Volume 34, 2, April-June, 1995

J. ADEN, V. M. MENDOZA and R. E. VILLANUEVA: Numerical prediction of the sea surface response to the Pacific and Atlantic oceans.	149
I. CAMELLÓN and Y. BARRON: Influencia de la térmica de calor en la estimación de las tensiones mecánicas de la corteza en Argentina subpolar.	161
M. E. SELUCHI: Diagnóstico y predicción de situaciones sísmicas conductoras a tsunamis en el mar de Sudamérica.	171
J. URRUTIA-PUCUACHI: Preliminary study of the Neogene paleogeography of Baja California Peninsula, Mexico.	187
J. URRUTIA-PUCUACHI and R. MOLINA-GARCIA: Magnetic fabric and remagnetization of the Xalimela basaltic, southern Mexico: Implications for the emplacement mode.	201
R. G. MARTINEZ, M. VILLAGRAN and J. HAYKOV: Magnitudes for local earthquake calibration with the El Salvador seismic network.	213
G. J. GONZALEZ-PONFERRAD and C. VALDES-CONRADO: Seismicity of the State of Puebla, Mexico 1986-1991.	221
A. PASQUAL, O. DELGADO and N. FUENTES: Determinación de la conductividad eléctrica de las lavas de la República de Cuba.	223
M. S. XELHANTZ-LOPEZ: Paleogeografía paleontológica de la zona de Zacoatepec, Michoacán, México, después de 1985.	229

geofísica internacional

ISSN 0016-7169

Volume 34, Number 2, April - June, 1995