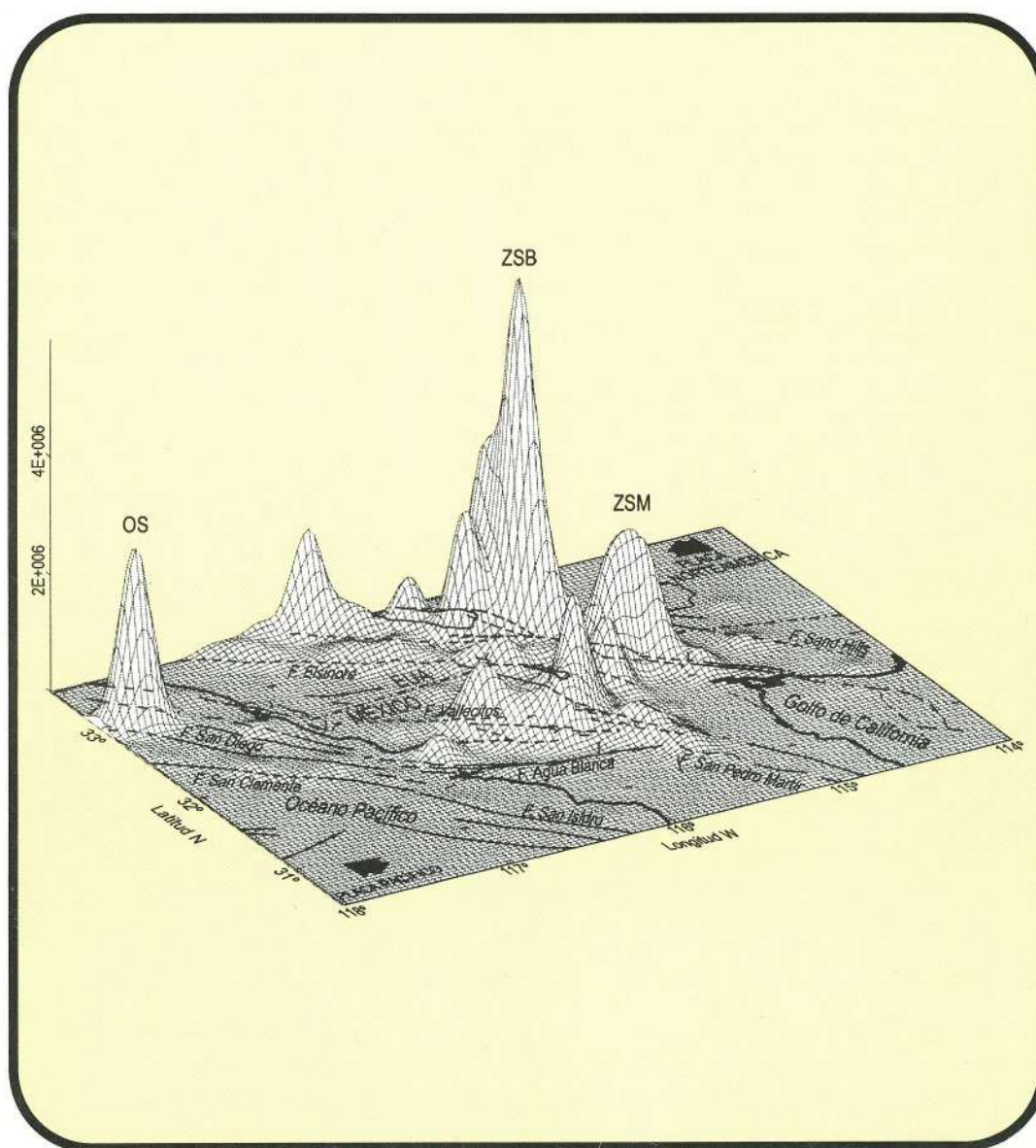


UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



Volumen 18

No. 3

Septiembre de 1998

GEOS

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

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
Mesa Directiva 98-99

Dr. José Gómez Valdés
Presidente

Dr. Fernando García García
Vicepresidente

Dr. Edgar Pavía López
Secretario General

Dr. Josué Álvarez Borrego
Tesorero

Dr. Sóstenes Méndes Delgado
Secretario de Investigación

M.C. Luis Alberto Delgado Argote
Secretario de Difusión

Dr. Miguel Rodríguez González
Secretario de Educación

Dr. Julián Adem Chain
Presidente Honorario

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

GEOS, Boletín Informativo de la UGM publica artículos y notas de investigación, divulgación, 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 y divulgación enviados para publicación no deben de exceder 20 páginas (número de palabras por página 1050) en el formato de la revista. Los primeros serán arbitrados por duplicado, mientras que los de divulgación serán arbitrados por un especialista. Las figuras deben de ser en blanco y negro y de buena calidad.

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

Toda correspondencia dirigirla a:

Luis A. Delgado Argote
Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, Baja California, México
Tel. (61) 745-050, Ext. 26060
E-mail: ldelgado@cicese.mx

Luis A. Delgado Argote
y
Juan García Abdeslem
Editores

COMITE EDITORIAL

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

Victor Manuel Frías Camacho
María Cristina Álvarez Astorga
APOYO TÉCNICO EDITORIAL

ÍNDICE

EDITORIAL	173
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
HISTOGRAMAS REPARTIDOS PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS ESTADÍSTICAS ESCASAS	174
<i>F. Alejandro Nava</i>	
TERREMOTOS DE CUBA	180
<i>Mario Octavio Cotilla-Rodríguez</i>	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA SÍSMICA EN LA REGIÓN FRONTERIZA DE AMBAS CALIFORNIAS	189
<i>J. Frez C. y V.M. Frías-Camacho</i>	
DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA ZONA EL PALADAR Y LITOLÓGICA DE LA ISLA ANGEL DE LA GUARDA, GOLFO DE CALIFORNIA	197
<i>Escalona-Alcázar, F.J. y Delgado-Argote, L.A.</i>	
PROGRAMACIÓN PARALELA EN ESTACIONES DE TRABAJO DE UN MODELO NUMÉRICO DE UN ACUÍFERO CONFINADO RESUELTO POR ELEMENTO FINITO	206
<i>José Gómez-Valdés y Roberto Soto-Amador</i>	
INFLUENCIA DE FENÓMENOS SOLARES DE PEQUEÑA Y GRAN ESCALA SOBRE EL MEDIO TERRESTRE Y EL NIÑO	213
<i>Román Pérez-Enríquez</i>	
REPORTES	
SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO	220
<i>GRUPO RESNOM</i>	
ERRATA	222
NOTICIAS DE LA UGM	
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1998	223
COMUNICACIONES	
XIII CONGRESO NACIONAL DE POSGRADO	230
REUNIÓN ANUAL 1998, UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.	232
ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA MEXICANA	234
INSTRUCCIONES PARA AUTORES DE ARTÍCULOS	239
FORMA DE ARBITRAJE	241

EDITORIAL

En estos tiempos de ajustes económicos debidos a los siempre presentes imponderables en la programación presupuestal, sólo nos queda reflexionar sobre la forma en que podremos ajustarnos a los desinflados disponibles de nuestros fijos presupuestos de proyectos. Los factores que motivan los ajustes son variados, algunos son internos o nacionales y otros externos o internacionales, pero ambos se encuentran lejos de nuestra influencia y, a veces, de nuestra comprensión.

El desorden económico internacional parece influir en los precios del dólar en el mercado cambiario, lo que afecta directamente a nuestros programas de desarrollo pues la mayor parte de nuestro equipo de laboratorios se cotiza en dólares, amén los artículos menores como papel, tintas y otros accesorios. El precio internacional del petróleo también afecta una gran parte de nuestras actividades académicas pues, además de vivir en una economía fuertemente dependiente de la exportación de este producto, la industria petrolera también ofrece permanentes y diversos temas de investigación. Al contraerse el mercado petrolero se reducen también los presupuestos relacionados con diversas actividades, principalmente las de exploración.

Ya sea por razones políticas, o por las condiciones económicamente precarias del país, los desastres asociados con fenómenos naturales también provocan desbalances económicos. En este capítulo la comunidad de las Ciencias de la Tierra sí puede jugar un papel importante. Valga como ejemplo el efecto de las lluvias: en 1993, el norte de Baja California y sur de California fue afectado por precipitaciones extraordinarias que aceleraron los deslizamientos de laderas y provocaron inundaciones, principalmente en Tijuana. En cambio, la identificación del fenómeno de El Niño a finales de 1997, permitió a la sociedad de la misma región prepararse para recibir precipitaciones mayores y disminuir considerablemente los desastres. Los ejemplos de zonas expuestas a desastres ocasionados por fenómenos naturales se multiplican sólo al identificar las regiones con fallas activas y con actividad volcánica y sísmica, además de aquellas zonas tan atractivas para el turismo sujetas al efecto del oleaje.

El monitoreo sistemático de los fenómenos naturales no sólo es útil para modelar la dinámica Tierra, es además una herramienta imprescindible para predecir la ocurrencia de fenómenos que signifiquen un riesgo para las comunidades. ¿Debemos entonces simplemente seguir desviando fondos para reconstrucciones y rescates en lugar de aplicarlos para conocer el medio en que vivimos y planificar el crecimiento seguro de la sociedad?

HISTOGRAMAS REPARTIDOS PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS ESTADÍSTICAS ESCASAS

F. Alejandro Nava

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

A.P. 2732, Ensenada, 22800, B.C., México

E-mail: fnava@cicese.mx

RESUMEN

Se presenta un método de construcción de histogramas para el análisis de muestras escasas, que considera cada muestra repartida entre los intervalos de clase (celdas) según un criterio de contención o según las incertidumbres en la medición, y que reduce la dependencia de los histogramas en el tamaño y la localización de las celdas. Empíricamente parece que los histogramas producidos por este método pueden, en general, representar mejores aproximaciones a la distribución de la población madre de procesos naturales que los histogramas comunes. El método puede aplicarse al análisis de otros tipos de observaciones que pueden considerarse como histogramas ponderados.

INTRODUCCIÓN

En multitud de campos de la investigación científica, y de muchos otros tipos de investigaciones, es común el problema de tratar de identificar o estimar la distribución estadística $p(v)$ de una población V que tiene M elementos (M puede ser infinito), a partir de una muestra $\{v_j\}$, donde cada v_j es un dato (producto de la observación) identificado por el índice $j=1,2,\dots,N$, donde N es el número total de datos. Este problema es muy importante, pues conocer la distribución $p(v)$, que llamaremos *distribución madre*, permite hacer inferencias probabilísticas respecto a la ocurrencia de eventos de V . Por ejemplo, con base en las magnitudes observadas para sismos ocurridos en una falla dada, podemos tratar de determinar cuál es la distribución de magnitud para dicha falla y de allí calcular la probabilidad de ocurrencia de un sismo con una magnitud determinada.

Una herramienta muy utilizada para atacar este problema de estimación de distribuciones es la visualización de la información contenida en la muestra mediante histogramas. Un histograma es la representación del número n_i de elementos de la muestra cuyos valores están contenidos dentro de un intervalo que abarca de $v_i + i \Delta v$ a $v_i + (i + 1) \Delta v$, donde Δv es el tamaño de los intervalos de clase, o *celdas*, v_i es un valor de referencia que indica el comienzo de la i ésima celda, e i es un entero que toma los valores necesarios para que las celdas cubran (por lo menos) toda la extensión de los N valores observados.

Es bien sabido que, conforme crece el tamaño de la muestra y la razón $N/M \rightarrow 1$ el histograma aproxima cada vez mejor a la distribución de la población. Una muestra abundante permite el uso de Δv pequeña y esto hace que el histograma pueda aproximarse con mayor detalle a la distribución.

Sin embargo, es muy común el caso de que no se cuente con una muestra suficientemente abundante; un ejemplo es el de las muestras de sismos grandes de una región sismogénica dada, pues éstos tienen usualmente tiempos de recurrencia de varias decenas a cientos de años, mientras que los registros instrumentales tienen apenas unas cuantas decenas de años, de manera que es imposible contar con muestras abundantes. Cuando la muestra es escasa la forma del histograma depende críticamente de la elección de Δv y v_i , y no se parecerá necesariamente a la distribución madre. Obviamente, el número de celdas debe ser menor que el número de muestras, lo que fija un límite inferior para Δv ; por su parte, el efecto de la elección de v_i es cíclico con período Δv y cambiar v_i por α ($\alpha \leq \Delta v$) equivale a cambiarlo por $\Delta v - \alpha$.

La discusión que sigue será ilustrada por un ejemplo sintético de muestras generadas a partir de la distribución $p(v)$ mostrada en la Figura 1, que es una distribución sencilla (como son usualmente las distribuciones para los procesos naturales) cuya forma se presta para una fácil identificación a partir de histogramas. La Figura 2 muestra el ajuste a la distribución de muestra de un histograma con $N=50,000$ muestras generadas aleatoriamente a partir de la distribución madre, $\Delta v=0.5$ y $v_i=-5.0$, normalizado para tener área unitaria. Las áreas sombreadas indican el error residual entre la distribución y el histograma y puede apreciarse que el histograma de una muestra abundante ajusta bastante bien a la distribución madre; el área total (valor absoluto) de error es 0.01521.

Para ilustrar el tratamiento de muestras escasas, consideraremos una muestra que consiste de los primeros 50 elementos de los 50,000 utilizados antes, indicados por líneas verticales discontinuas en la Figura 3. Esta muestra abarca una extensión de -3.9118 a 3.7891; el espaciamiento entre muestras (la distancia horizontal entre las líneas que indican las muestras) máximo es 1.0295, el siguiente menor al máximo es 0.5430, el mínimo es 0.0005 y el promedio es 0.1572

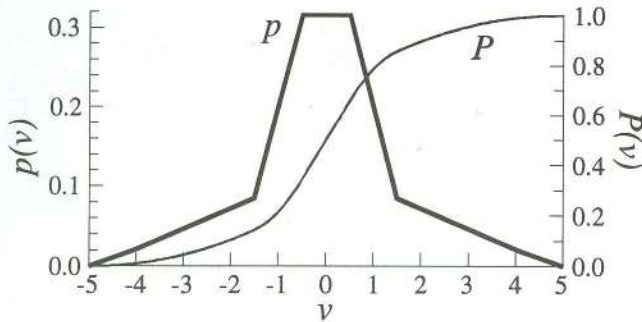


Figura 1. Distribución $p(v)$, referida al eje de la izquierda, y su acumulativa $P(v)$, referida al eje de la derecha. La variable v puede considerarse con unidades arbitrarias o adimensional.

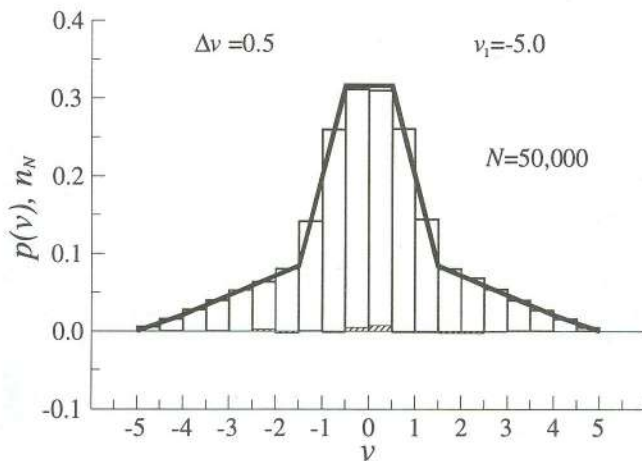


Figura 2. Ajuste de un histograma construido a partir de $N = 50,000$ muestras (barras con línea de grueso intermedio), a la distribución $p(v)$ (línea gruesa). n_N es el número de muestras en cada celda normalizado de forma que el área bajo el histograma sea unitaria. El área sombreada es la diferencia entre la distribución madre y el histograma.

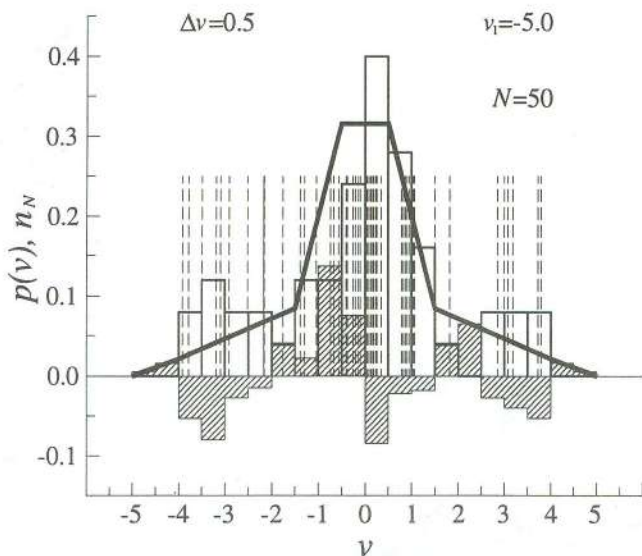


Figura 3. Ajuste de un histograma para $N = 50$ muestras normalizado. Convenciones como en la Figura 2. Las líneas discontinuas verticales indican la posición de los eventos.

(usaremos cuatro cifras decimales pues la aproximación necesaria para discutir las cantidades que encontraremos a lo largo de la discusión). Espaciamientos máximos tan superiores al promedio indican precisamente qué tan escaso es el muestreo.

La Figura 3 es un ejemplo de un histograma construido a partir de la muestra escasa, $\Delta v = 0.5$ y $v_i = 5.0$ como en el ejemplo anterior. Puede apreciarse que el error, con área total de 0.4128 es mucho mayor que para la muestra abundante y que la forma del histograma, si bien indica una mayor probabilidad cerca de los valores centrales de v , parece indicar un máximo desplazado a la derecha.

Un ejemplo de qué tanto cambian el histograma y su ajuste al cambiar el valor de referencia v_i puede verse en la Figura 4, donde se muestra como referencia el mismo histograma de la figura anterior y, con línea gruesa, el histograma resultante de utilizar $v_i = -4.8$, que tiene un área de error de 0.5550 (¡más del 50%!). Las líneas discontinuas verticales señalan los valores que toman los datos; es fácil ver como un corrimiento de las celdas hace que algunos datos cambien de celda, y para muestras escasas esto puede cambiar bastante la forma del histograma, como sucede en este ejemplo.

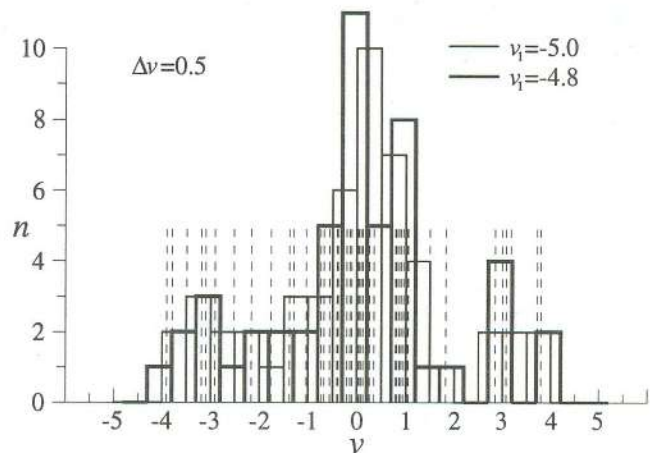


Figura 4. Comparación entre el histograma de la Figura 3 (línea delgada) y un histograma con el mismo tamaño de celdas pero inicio ligeramente distinto (línea gruesa). Las líneas discontinuas verticales indican la posición de los eventos.

El efecto de cambiar el tamaño de las celdas se ilustra con un ejemplo en la Figura 5, que muestra con línea delgada el histograma de referencia de la Figura 3 y con línea gruesa el histograma resultante de usar un tamaño de celda menor, que tiene un error de 0.5549.

Lo crítico de la elección de tamaño de celda y valor de referencia queda ilustrado por estos ejemplos.

MÉTODO

El método propuesto consiste en repartir cada muestra, considerada con área unitaria, sobre una extensión centrada en el valor medido y de acuerdo con alguna distribución de reparto

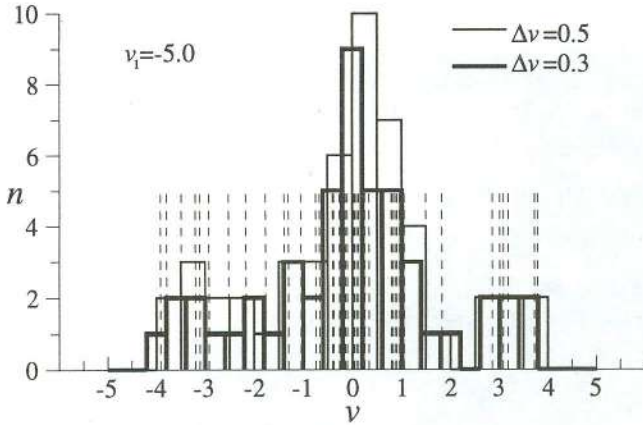


Figura 5. Comparación entre el histograma de la Figura 3 (línea delgada) y un histograma con el mismo valor de referencia pero celdas más pequeñas (línea gruesa). Las líneas discontinuas verticales indican la posición de los eventos.

g dada (ésto es, convolucionar la muestra con esta distribución que debe tener también área unitaria), de manera que la contribución de la muestra a la celda en que cae su valor y a las celdas cercanas a ésta ya no es todo/nada (ó 1/0), respectivamente, sino que depende del área de la distribución de reparto que cae dentro de cada celda.

Este proceso se ilustra en la Figura 6, que muestra el uso de una distribución normal (o Gaussiana)

$$g(v - v_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v - v_i)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

con desviación estándar \$s\$ y centrada sobre el valor \$v_i\$. El evento \$i\$ contribuye a la celda \$j\$, que se extiende de \$h_j\$ a \$h_{j+1} = h_j + \Delta v\$, el área de la Gaussiana \$a_{ij}\$ contenida entre estos límites:

$$a_{ij} = \int_{h_j}^{h_{j+1}} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v - v_i)^2}{2\sigma^2}} dv; \quad (2)$$

expresión que puede evaluarse fácilmente haciendo \$x_j \equiv (h_j - v_i)/\sigma\$, \$x_{j+1} \equiv (h_{j+1} - v_i)/\sigma\$ y

$$a_{ij} = \text{sgn}(x_j) \frac{1}{2} \text{erf}\left(\frac{x_j}{\sqrt{2}}\right) - \text{sgn}(x_{j+1}) \frac{1}{2} \text{erf}\left(\frac{x_{j+1}}{\sqrt{2}}\right), \quad (3)$$

donde \$\text{sgn}(x)\$ es la conocida función *signum*:

$$\text{sgn}(x) \equiv \begin{cases} -1; x < 0 \\ 1; x \geq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

y la función de error es representable como:

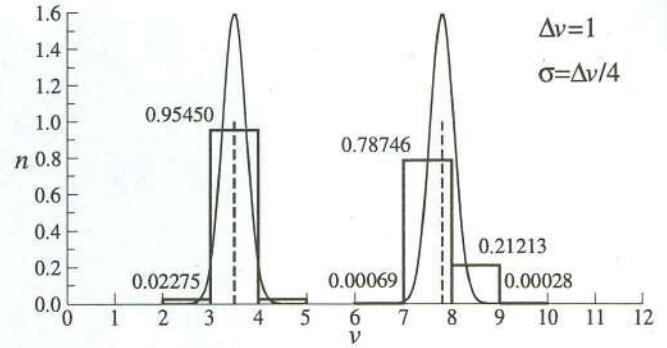


Figura 6. Ejemplo de repartición de dos datos (líneas discontinuas) cuyos valores se encuentran a diferentes distancias dentro de sus celdas respectivas, mediante el uso de la distribución Gaussiana con (línea delgada). El número sobre cada celda del histograma (línea gruesa) indica el área de ésta.

$$\text{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} x \left[1 - \frac{x^2}{2 \cdot 1! \cdot 3} + \frac{x^4}{2^2 \cdot 2! \cdot 5} - \frac{x^6}{2^3 \cdot 3! \cdot 7} + \dots \right]; \quad (5)$$

\$[x^2 < \infty]\$

(Dwight, 1961), función ésta que, para fines prácticos, sólo requiere evaluarse para \$x < 6\$ y puede considerarse igual a 1 para \$x \geq 6\$.

En la Figura 6, las celdas de ancho unitario abarcan la distancia entre cada dos enteros del eje \$v\$; la posición de cada dato de este ejemplo, uno en \$v_1 = 3.5\$ y otro en \$v_2 = 7.8\$, se indica por una línea discontinua; la distribución normal centrada sobre cada dato se grafica con línea delgada; el valor de cada celda se ilustra con línea gruesa.

Para la gaussiana con \$\sigma = \Delta v / 4\$, un dato que cae exactamente a la mitad de una celda, como el de la izquierda, contribuye a esta celda con el área de la gaussiana entre \$\pm 2\sigma\$ que es 0.95450, y a las dos celdas adyacentes con sólo 0.02275 a cada una, de manera que está casi completamente contenida en la celda a la que pertenece.

Por otro lado, el dato con \$v = 7.8\$ de la Figura 6 se encuentra cerca del extremo derecho de la celda, y los valores en la figura indican cómo se distribuye su área entre las celdas próximas; la mayor parte corresponde a la celda que lo contiene, pero una parte significativa corresponde a la celda de la derecha. Un dato situado exactamente entre dos celdas contribuirá a ambas por igual.

Antes de considerar los resultados de este filtrado conviene discutir cuáles son los posibles significados de y/o justificaciones para repartir los datos entre las celdas de un histograma. Una justificación es la ya mencionada e ilustrada que tiene que ver con la manera en que consideramos que un dato debe estar contenido en una celda de ancho finito; vimos que \$\sigma = \Delta v / 4\$ hace que un dato centrado en una celda quede mayormente contenido en ésta; \$\sigma = \Delta v / 6\$ hace que dicho dato quede (para cualquier fin práctico) totalmente contenido, pero

si el dato se acerca al límite de la celda parte de su valor se asignará a la celda vecina, y si se encuentra entre dos celdas, se repartirá por igual en éstas; cuando $\sigma \rightarrow 0$ volvemos a un histograma usual, excepto por el caso de un dato en la frontera entre dos celdas, que en un histograma usual se asigna completamente a una celda u otra según algún criterio (usualmente arbitrario).

Por otro lado, aumentar σ hace que al dato se reparta más entre las celdas y veremos más adelante que ésto puede contribuir a eliminar efectos de baja longitud de onda introducidos por la falta de datos en una muestra escasa.

Otra justificación importante es la de la posible incertidumbre y/o error en la determinación de los datos; de hecho es difícil pensar en algún proceso de medición de datos de interés científico (y, en particular, geofísico) que esté exento de incertidumbre y/o error. Desde este punto de vista, repartir el dato según la distribución más apropiada para describir el posible error es un proceso enteramente razonable y, de hecho, encomiable, para que el histograma esté menos influido por los posibles errores.

Cabe mencionar que para ilustrar el método se ha escogido como $g(v)$ una distribución normal porque es una distribución apropiada para una gran cantidad de procesos físicos, pero el método puede utilizar cualquier distribución que se considere apropiada. Por ejemplo, el error en la determinación de tiempos de arribo de fases sísmicas no está distribuido normalmente, sino que tiene un sesgo hacia residuales negativos causado por la presencia de ruido en los sismogramas (Lomnitz y Nava, 1980).

La Figura 7 muestra el histograma repartido para la muestra escasa de 50 elementos, $\Delta v = 0.5$, $v_1 = -5.0$ y $\sigma = \Delta v/4$, normalizado a área unitaria. Muestra también la distribución madre y la diferencia entre ésta y el histograma, que ha disminuido a 0.33624, de manera que el histograma repartido ajusta mejor a la distribución madre.

Tomando en cuenta que la distribución madre, como la gran mayoría de las distribuciones encontradas en la naturaleza, no tiene detalles de longitud de onda pequeña, se puede considerar el uso de una mayor desviación estándar. La Figura 8 muestra el efecto de utilizar $\sigma = \Delta v/2$, el área de error disminuye a 0.27971. Naturalmente, mientras mayor es σ , menos sensitivo es el histograma repartido a cambios en v_1 y en Δv .

Recordando que el efecto de la elección de v_1 es cíclico con período Δv , el siguiente paso en histogramas repartidos consiste en, una vez determinado el valor de σ , considerar celdas con $\Delta v < \sigma$. La Figura 9 muestra el efecto de repartir los dos datos considerados en la Figura 3, con $\sigma = 0.25$ y $\Delta v = s/5$; por claridad se ha dibujado solamente la parte superior de cada barra del histogramas (sin regresar al cero entre barras) y las pequeñas líneas verticales en el eje v indican las fronteras de las celdas. Se puede ver que los datos que antes se habían

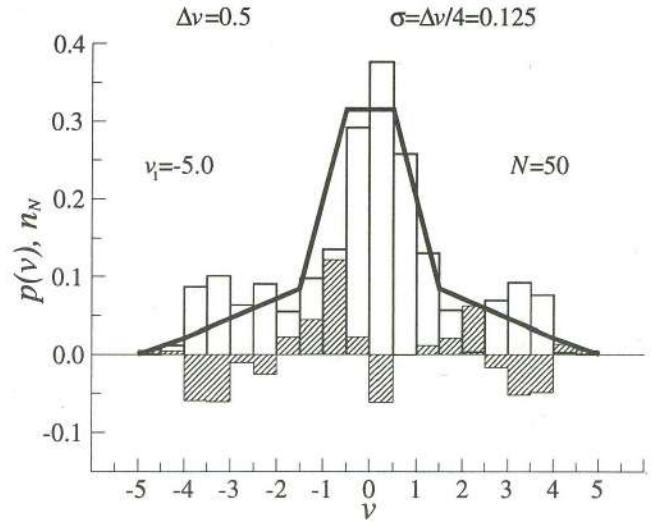


Figura 7. Ajuste del histograma repartido con $\Delta v = 0.5$ y $\sigma = \Delta v/4$ para $N = 50$ muestras y normalizado. Convenciones como en la Figura 2.

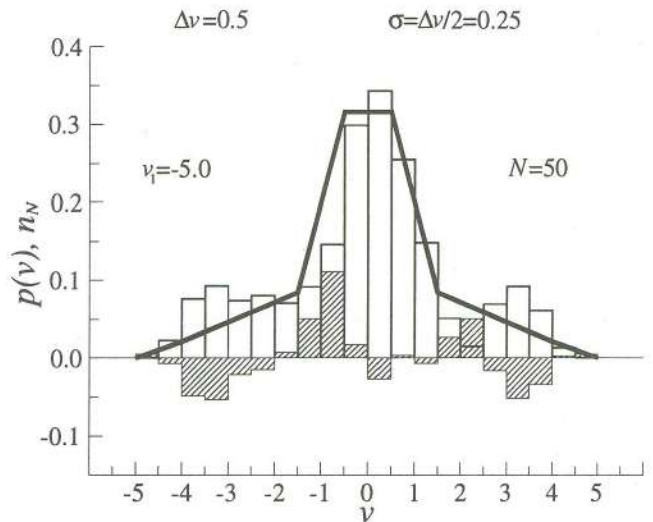


Figura 8. Ajuste del histograma repartido con $\Delta v = 0.5$ y $\sigma = \Delta v/2$ para $N = 50$ muestras y normalizado. Convenciones como en la Figura 2.

repartido de forma distinta entre celdas, ahora se reparten en forma idéntica. Naturalmente, si cambiamos v_1 por menos de Δv cambiará, para ambos datos de la misma manera, la forma en que se reparten, pero este cambio de forma ahora será solamente de detalle como se muestra en la Figura 10, y no cambia significativamente la forma del histograma. Llevar la disminución de las celdas al límite $\Delta v \rightarrow 0$, equivale a substituir la muestra por la convolución de los datos con la distribución g :

$$g(v) * \sum_{j=1}^N \delta(v_j - v), \quad (6)$$

La Figura 11 muestra la aplicación de este método a la muestra escasa considerada antes, con $\sigma = 0.25$ y $\Delta v = \sigma/5 = 0.05$.

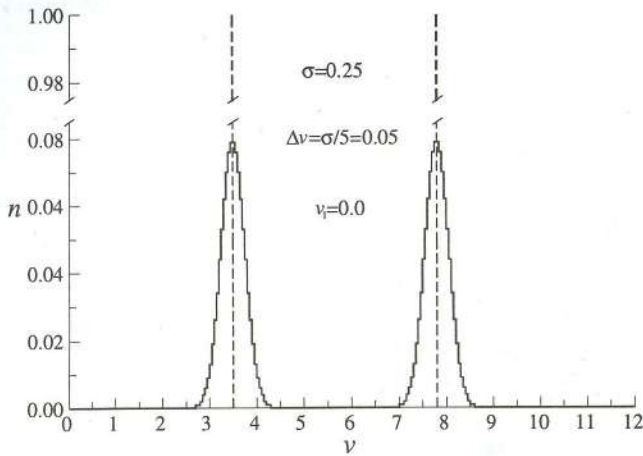


Figura 9. Ejemplo de repartición de los datos mostrados en la Figura 6, para $\sigma = 0.25$ y $\Delta v = \sigma/5$. La suma de los elementos contenidos en cada celda es igual al número de valores (2 en este caso).

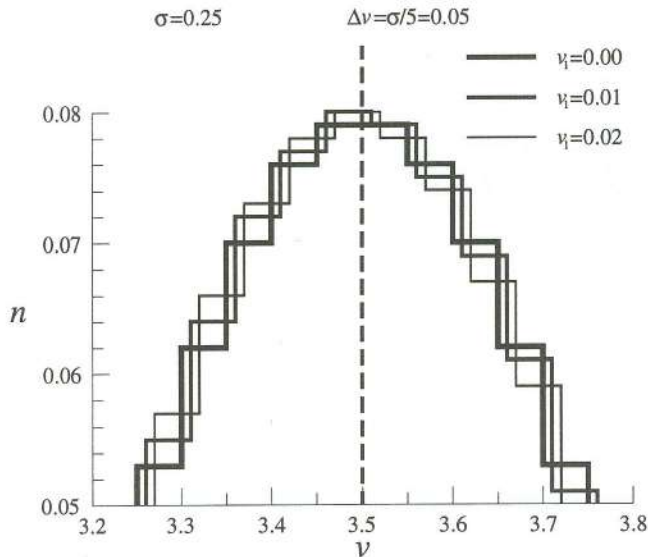


Figura 10. Ejemplo de las diferencias en la repartición de un evento para diferentes valores de referencia v_i .

La forma del histograma es muy robusta pues depende ya muy poco de la elección de v_i y casi no cambia ante variaciones de Δv . El área de error para este histograma es de 0.33894, lo que significa que no ajusta tan bien a la distribución madre como el histograma de la Figura 8 que usaba la misma σ , pero hay que tener en cuenta el filtrado pasabajos implícito en el uso de celdas, que es más fuerte conforme más ancha es la celda, de manera que para lograr una distribución de datos equivalente con celdas más pequeñas es necesario aumentar σ . Efectivamente, como puede verse en la Figura 12, una mayor $\sigma=0.5$ (del orden de la mitad del máximo espaciado entre muestras) para el mismo tamaño de celda ($\Delta v=0.05=\sigma/10$) se parece mucho más a la distribución madre y disminuye el área de error a 0.23588.

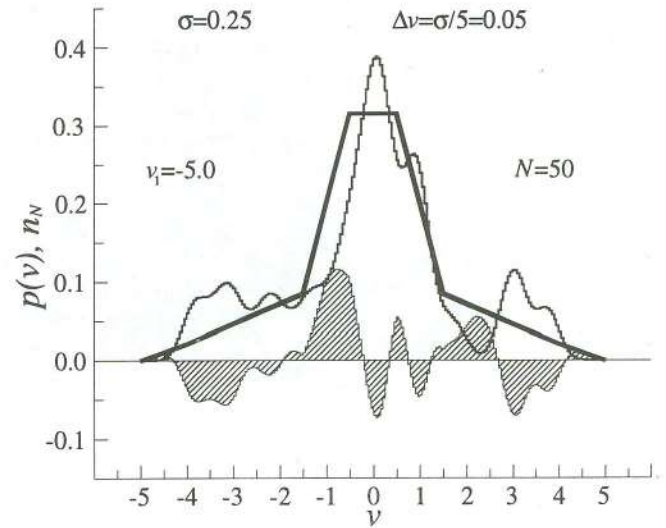


Figura 11. Ajuste del histograma repartido con $\sigma = 0.25$ y $\Delta v = \sigma/5$ para $N = 50$ muestras y normalizado. Convenciones como en la Figura 2.

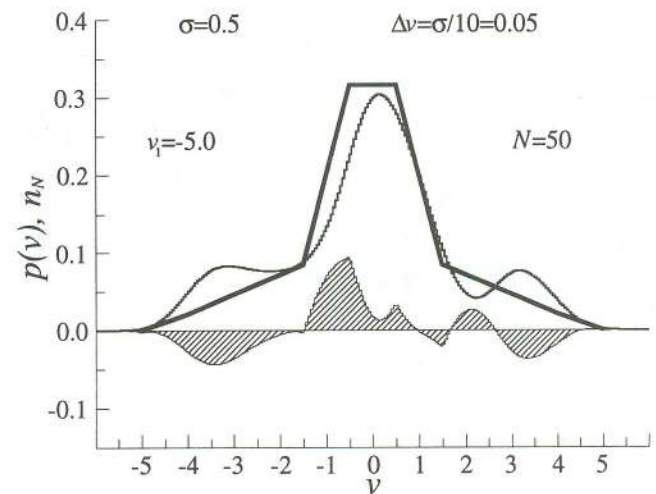


Figura 12. Ajuste del histograma repartido con $\sigma = 0.5$ y $\Delta v = \sigma/10$ para $N = 50$ muestras y normalizado. Convenciones como en la Figura 2.

Se ha aplicado este método a diferentes muestras escasas generadas a partir de varias distribuciones madre (distribuciones con formas razonables para representar procesos de interés geofísico) y en cada caso han resultado histogramas que, como en el ejemplo mostrado, se ajustan a éstas con menor error que los histogramas comunes.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Para muestras escasas de distribuciones madres conocidas, se encuentra empíricamente que los histogramas repartidos se ajustan mejor a las distribuciones madre que los histogramas comunes. Esto significa que, cuando se trata de estimar o identificar una distribución madre desconocida a partir de una

muestra escasa, el uso de histogramas repartidos puede hacer más fácil esta tarea.

Además, los histogramas repartidos son menos dependientes del tamaño y la localización de las celdas; de hecho, para celdas mucho menores que la desviación estándar de la distribución de reparto, los histogramas repartidos son casi independientes de estos parámetros.

Aparentemente, distribuir los valores observados contrarresta parcialmente la falta de información implícita en una muestra escasa; para una distribución de reparto Gaussiana, una desviación estándar del orden de la mitad del máximo espaciamiento da buenos resultados.

Distribuir las muestras según una distribución de reparto cuya forma y anchura (o desviación estándar) correspondan a la posible incertidumbre en el valor de las muestras, hace el histograma más confiable, puesto que será menos dependiente de los errores en el proceso de muestreo.

Si bien conviene suponer que toda la muestra comparte la misma distribución de error, es posible utilizar distintas desviaciones estándar para cada valor, que reflejen la confianza que se tiene en la determinación de éste. Por ejemplo, si estamos observando la distribución de magnitudes sísmicas para sismos ocurridos en una región dada, la confianza en la determinación de cada magnitud depende, entre otros factores, del tamaño del sismo, del número de estaciones que lo hayan registrado (sin saturarse) y de la localización hipocentral, de manera que con base en estos factores puede asignarse a cada magnitud un número que indique qué tan confiable es y, por ello, qué tanto debe distribuirse.

Por último, mencionaremos la aplicación del método propuesto al análisis de información mediante lo que podemos llamar *histogramas ponderados*. Por ejemplo, el daño que causa un sismo depende de su magnitud, pero también depende de la presencia de poblaciones o construcciones u otros sistemas vulnerables, y de qué tan vulnerables sean; así, si queremos estudiar los daños causados por sismos como función de la magnitud, podemos hacerlo agrupando los daños causados por sismos cuyas magnitudes caen dentro de un intervalo de clase, esto es, en vez de la serie considerada en (6) que asigna a cada evento un peso unitario, consideramos la serie

$$\sum_{j=1}^N A_j \delta(v_j - v) \quad (7)$$

que asigna a cada valor v_j un peso A_j , que para el ejemplo serían la magnitud de cada sismo y el daño causado por éste.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Luis Delgado y a Juan García Abdeslem su interés y entusiasmo, a José Frez sus comentarios y a dos árbitros anónimos sus útiles recomendaciones.

REFERENCIAS

- Dwight, H. (1961) Tables of integrals and other mathematical data. The Macmillan Co., New York, 336pp.
- Lomnitz, C. y Nava, F. (1980) A method for epicenter determination. *Geofísica Internacional*, 19, 45-62.

TERREMOTOS DE CUBA

Mario Octavio Cotilla-Rodríguez

Depto. de Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas

Universidad Complutense de Madrid

E-mail: mariocta@eucmax.sim.ucm.es

RESUMEN

Se presenta una recopilación, previa selección del autor, de diversas fuentes consultadas de los terremotos en Cuba. Así, el primer evento sísmico que se conoce ocurrió en 1528 ($I_{\text{máx}}=6$ grados MSK) en la localidad de Baracoa (la primera villa fundada en el país). Los sismos históricos más fuertes son dos (1766 y 1852) que se asocian a las cercanías de Santiago de Cuba ($I_{\text{máx}}=9$ grados MSK). Sin embargo, el número de víctimas mortales es muy diferente (120 y 2, respectivamente). El terremoto de Gibara en 1914 ($M_s=6.2$, $I_{\text{máx}}=7$ grados MSK) constituyó el primer registro instrumental por una estación de Cuba (perteneciente a la Orden de los Jesuitas en La Habana) de un terremoto en ese país. El sismo de 1880 en la localidad de San Cristóbal ($I_{\text{máx}}=8$ grados MSK) se recoge como el más fuerte de Cuba Occidental hasta el presente; fue estudiado desde el punto de vista ingeniero - sismológico por dos especialistas españoles, Benito Viñes y Pedro Salterain. El terremoto más fuerte del presente siglo (1995) se localizó en Cabo Cruz ($M_s=6.9$, $I_{\text{máx}}=7$ grados MSK). En la región Central (Remedios - Caibarién) ocurrió un fuerte terremoto en 1939, registrado por la red internacional ($M_s=5.6$, $I_{\text{máx}}=7$ grados MSK). El evento de 1976 de Pilón, registrado también por la red internacional, ($M_s=5.7$, $I_{\text{máx}}=8$ grados MSK) ocasionó dos muertos.

Palabras clave: Sismicidad, terremotos, Cuba.

INTRODUCCIÓN

Cuba es un territorio que está localizado, desde el punto de vista neotectónico, en la placa litosférica de Norteamérica y limita en su parte suroriental con la pequeña placa del Caribe (Figura 1). En consecuencia, Cuba refleja no sólo la actividad del proceso de interacción de las placas mencionadas sino también de su evolución y condiciones geodinámicas. Esa actividad es de tipo sísmico y, lógicamente, resulta más frecuente y fuerte en la parte suroriental. En la Figura 1 se distingue muy bien que la sismicidad de Cuba es de una importancia menor, relativamente, que la de otras zonas del marco Norteamérica - Caribe.

La sismicidad del territorio cubano ha sido tratada en diversos trabajos, incluso desde el siglo XVI. Uno de los primeros catálogos de terremotos de América fue preparado para Cuba (Poey, 1855a,b, 1857). Se considera que es a partir del año 1985 cuando se sistematiza la información y también se documenta una síntesis (Alvarez *et al.*, 1985). Sin embargo, la divulgación no ha resultado ser eficiente.

El objetivo del presente trabajo es exponer de una forma concreta, sobre la base de diversas fuentes consultadas, los terremotos que han ocurrido en Cuba y sus inmediaciones. Esas fuentes son principalmente: Alvarez *et al.* (1985, 1990, 1993) y Chuy *et al.* (1988).

TERREMOTOS OCURRIDOS Y REFERIDOS EN CUBA

Según Alvarez *et al.* (1985) en Cuba se producen dos tipos diferentes de sismicidad: de entreplacas litosféricas (o de borde de placas) y de interior de placas litosféricas (o intraplacas). En torno de esta cuestión Benito Viñes había apuntado, muy acertadamente, en el siglo XIX, las diferentes características de la sismicidad del archipiélago cubano (Gutiérrez Lanza, 1914). Otros autores como Mann y Burke (1984) determinaron la existencia de una zona límite de placas litosféricas (ZLPL) que con un ancho variable (80-200 km) se extiende a lo largo del contacto de las placas Norteamérica y Caribe, delimitado éste por Molnar y Sykes (1969). Tal límite lo extendieron Mann y Burke (1984) al borde emergido de Cuba suroriental e incluyeron al resto de las islas del arco de Las Antillas Mayores. Por su parte, Cotilla *et al.* (1991a) incorporaron, con idénticos argumentos, a la parte oriental de Cuba, denominándolas Unidades Sismotectónicas Suroriental y Oriental (Figura 2).

En Cuba y sus inmediaciones han ocurrido muchos eventos sísmicos de carácter natural (Alvarez *et al.*, 1985), algunos de los cuales han tenido consecuencias desastrosas para la población y su economía. Sin embargo, la creencia general (dadas las periodicidades de ocurrencia) es que sólo se pueden producir terremotos fuertes en la parte suroriental y en específico en la ciudad de Santiago de Cuba.

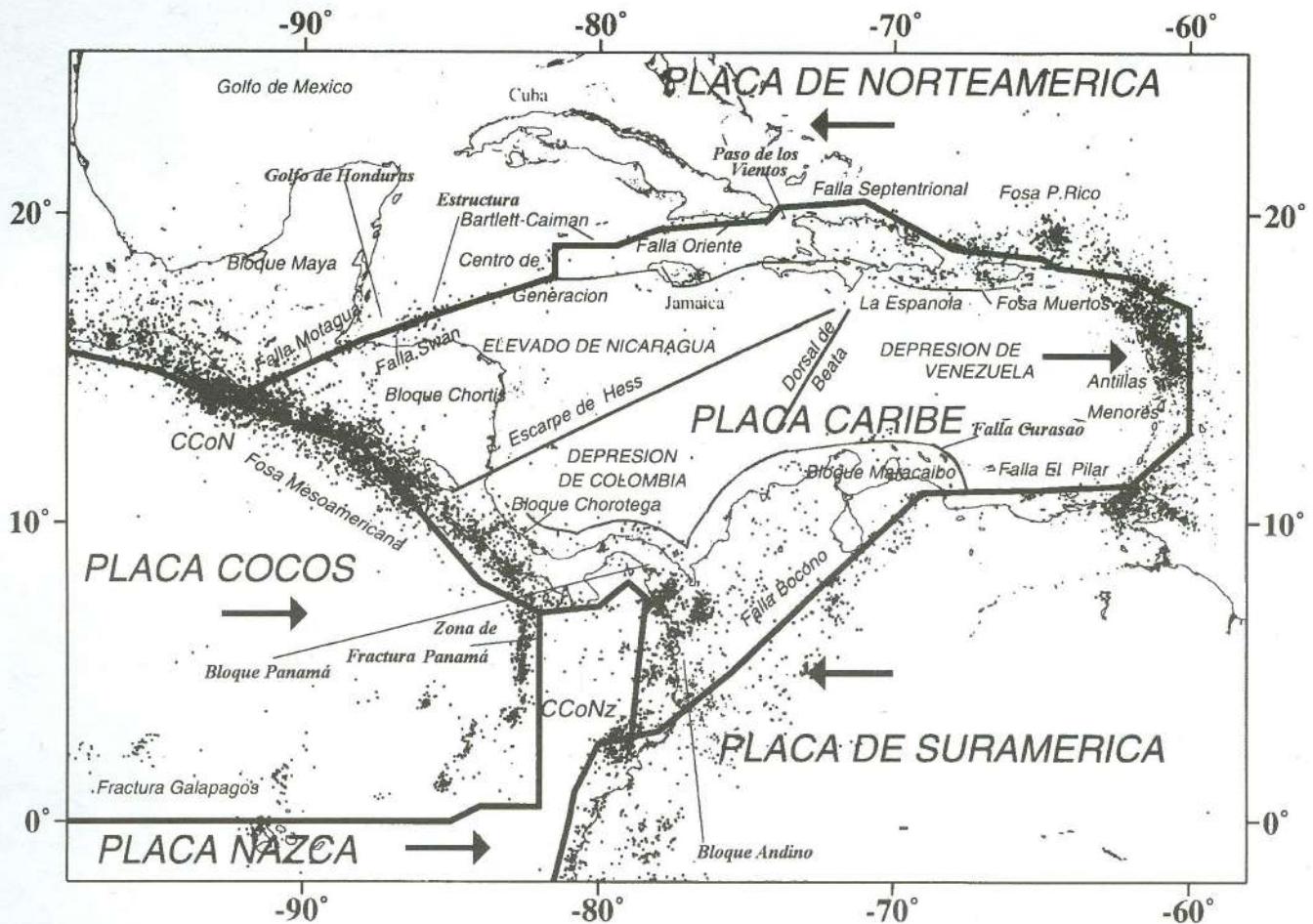


Figura 1. Localización de Cuba en el contexto de placas litosféricas. (Se representa la sismicidad del período 1990-1996, documentada a partir de datos del NEIS.).

Para lograr una exposición ordenada, coherente y fácil se utilizará el convenio de considerar una división general desde el punto de vista físico - geográfico de nuestra región de estudio, —Cuba y sus inmediaciones— en cuatro partes (Figura 3). Los límites son tectónicos y corresponden a los sistemas de fallas: Bartlett-Caimán (Oriente), Nortecubana, Surcubana, Cauto-Nipe y Cochinos.

TERREMOTOS DEL LÍMITE DE PLACAS

La zona límite de placas litosféricas Norteamérica - Caribe es una extensa, heterogénea y activa conjunción de estructuras, donde se producen fuertes y frecuentes eventos sísmicos (Sykes y Ewing, 1965; Mann y Burke, 1984) (Figura 1). Ha sido estudiada por distintos autores, entre ellos: Bowin (1968, 1976); Cotilla *et al.* (1991b); Hernández *et al.* (1989); Rosencratz y Mann (1991). Sin embargo, el nivel de estudio es aún insuficiente. (Incluso no está cubierta por estaciones sismológicas de una forma adecuada (Cotilla y Udías, 1997)).

En la ZLP se localizan dos fosas oceánicas profundas (aproximadamente 8 km), Oriente y Puerto Rico, un centro de generación de corteza oceánica y un sistema de arcos de islas con sistemas de cuencas de tipo *pull-apart* (Figura 1). En

correspondencia con lo anterior, es comprensible que en algunos sectores existan importantes modificaciones del patrón de mecanismo focal de tipo transcurrente a la izquierda (Cotilla y Udfas, 1997) (Figura 4).

Dentro de la ZLPL merecen especial atención las siguientes regiones: el sector suroriental de Cuba (incluyendo la isla de Jamaica), el sector al oeste del Paso de los Vientos (la isla de La Española, Haití y República Dominicana) y el sector entre Cabo Cruz y las Islas Caimán, inclusive (Figura 1).

En la Tabla 1 se incluyen los eventos sísmicos más importantes que han ocurrido en la parte suroriental de Cuba, en específicamente en la Unidad Sismotectónica Suroriental (Cotilla *et al.*, 1991a). Todos los hipocentros están localizados en la región marina.

Se debe indicar que Pacheco y Sykes (1992) presentaron una reevaluación de dos terremotos para esta parte de la ZLPL, 1910.01.01 (11:02; 16.50 N, - 84.00 O; h = 60 km; Ms = 7.0; Mo = 0.44×10^{20} Nm) y 1971.02.20 (19:29; 19.50 N, -78.50 O; h = 70 km; Ms = 7.1; Mo = 0.62×10^{20} Nm). Sin Embargo en el catálogo de Alvarez *et al.* (1993) son descartados.

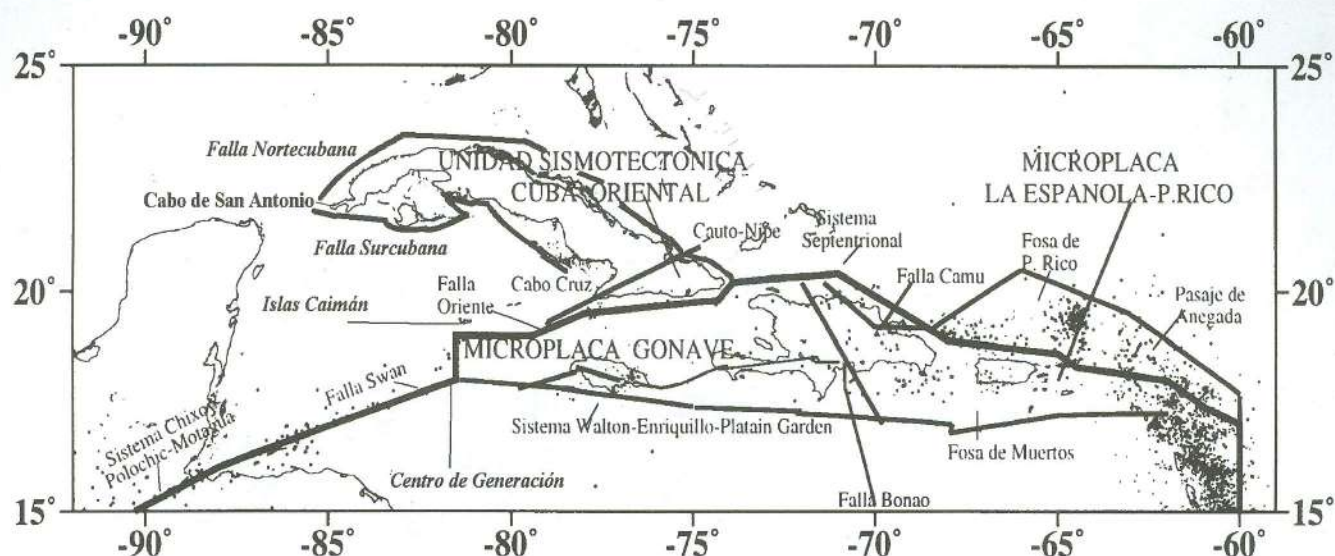


Figura 2. Zona norte del Caribe.

Tabla 1. Terremotos de la Unidad Sismotectónica Suroriental

No.	Fecha	Tiempo	Lat. N	Lon. O	h (km)	Ms	Io (MSK)	Ip (MSK)
1	1766.06.12	05:14	(19.90)	(-76.10)	(30)	(7.5)	9	9
2	1852.08.20	14:05	(19.75)	(-75.32)	(35)	(7.3)	9	8-9
3	1887.09.23	11:55	(19.40)	(-73.40)	(60)	(7.9)	9	7
4	1578.08		(19.9)	(-76.0)	(30)	(6.75)	8	
5	1678.02.11	14:30	(19.9)	(-76.6)	(30)	(6.75)	8	
6	1760.07.11		(19.9)	(-76.0)	(30)	(6.75)	8	
7	1842.07.07		(19.9)	(-76.0)	(30)	(6.0)	7	
8	1852.11.26	08:15	(19.9)	(-76.2)	(30)	(6.5)	8	
9	1858.01.28	09:45	(19.9)	(-76.0)	(30)	(6.5)	7	
10	1914.12.25	04:50	(19.9)	(-76.3)	(30)	(6.0)	7	
11	1932.02.03	06:16:00	19.8	-75.8	(30)	(6.75)	8	8
12	1947.08.07	00:40:20	19.9	-75.3	(50)	(6.3)	7	7
13	1995.05.25	16:55:04.17	19.613	-77.872	23	6.9	7	
14	1580		(19.9)	(-76.6)	(30)	(5.75)	7	
15	1675.02.11		(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.75)	7	
16	1682		(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.75)	7	
17	1757.12.14	16:15	(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.25)	6	
18	1762		(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.75)	7	
19	1775.02.11		(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.75)	7	
20	1826.09.18	09:00	(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.75)	7	
21	1894.01.09	05:00	(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.0)	6	
22	1903.09.19	08:09	(19.9)	(-75.8)	(30)	(5.4)	7	7
23	1906.06.22	06:40	(19.9)	(-76.0)	(30)	(5.7)	7	
24	1927.03.05	04:17	(19.8)	(-75.5)	(30)	(5.0)	6	
25	1930.01.17	12:00	(19.9)	(-75.8)	(30)	(5.4)	7	
26	1932.06.06	09:12:45.0	(19.85)	(-75.90)	(35)	(5.3)	6	6
27	1940.07.30	16:05:24	19.4	-75.1		5.6	6	
28	1976.02.19	13:59:59	19.87	-76.87	15	5.7	8	
29	1990.08.26	07:53:41.69	19.592	-77.874	10	5.1	8	

Nota: Las cifras entre paréntesis se refieren a determinaciones macrosísmicas.

TERREMOTOS DE CUBA ORIENTAL

El territorio localizado al este del sistema de fallas activas transverso - diagonales (dirección NE-SO) de Cauto - Nipe es denominado Unidad Sismotectónica de Cuba Oriental (Cotilla *et al.*, 1991a) (Figura 2). La característica principal de esta región es el relieve montañoso. En él se encuentran no sólo las mayores altitudes sino también las áreas donde han sido más intensos los movimientos neotectónicos de tipo vertical (González *et al.*, 1989) y los contrastes del relieve más significativos del norte del Caribe (Cotilla *et al.*, 1991c).

Dada la inmediata cercanía de este bloque a la zona más activa (la Unidad Sismotectónica Suroriental, Figura 3), no pocos

eventos sísmicos propios de la Unidad Oriental pudieron ser asociados a la Unidad Suroriental. También se ha demostrado, a partir de investigaciones macrosísmicas, que los eventos de la Unidad Suroriental en particular y de la ZLPL en general le han afectado (Alvarez *et al.*, 1985).

Las primeras villas fundadas por los españoles desde su arribo en 1492 están situadas en el territorio de Cuba Oriental, entre ellas: Baracoa (1511), Santiago de Cuba (1515) y Bayamo (1513). Todas ellas han sufrido en más de una ocasión los efectos de terremotos (Alvarez *et al.*, 1985).

La tabla 2 contiene los datos de los eventos sísmicos más importantes y fuertes de esta región.

Tabla 2. Terremotos más fuertes e importantes de la Unidad Sismotectónica Oriental.

No.	Fecha	Tiempo	Lat. N	Lon. O	h (km)	Ms	Io (MSK)	Localidad
1	1528		(20.50)	(-74.50)	(30)	(5.0)	6	Baracoa
2	1551		(20.40)	(-76.60)	(15)	(5.8)	8	Bayamo
3	1624.10		(20.40)	(-76.60)	(15)	(5.2)	7	Bayamo
4	1905.10.21	14:29	(20.18)	(-75.71)	(20)	(4.5)	5	Alto Songo
5	1926.08.03	11:30	(20.35)	(-77.15)	(10)	(4.8)	7	Manzanillo
6	1927.03.01	03:00	(20.38)	(-76.66)	(15)	(3.7)	5	Bayamo
7	1992.03.20	13:35:06.0	20.65	-74.72	10		6	Moa

Nota: Las cifras entre paréntesis se refieren a determinaciones macrosísmicas.

TERREMOTOS DE CUBA CENTRO - ORIENTAL

Esta región está situada al oeste del sistema de fallas Cauto - Nipe y colinda con la porción más occidental (que posteriormente se presenta) de la Unidad Sismotectónica Occidental (Cotilla *et al.*, 1991a). El relieve es fundamentalmente de llanuras, con algunos sistemas montañosos (de pequeña extensión) que tienen sus ejes principales en la misma dirección que la estructura de la isla, de E-O a NO. Esos sistemas son de menores cotas que los de la parte oriental. La parte más enérgica se ubica en las inmediaciones de Sancti Spiritus, Trinidad - Cienfuegos, donde se han determinado movimientos neotectónicos de tipo vertical ligeramente superiores a los 1,000 m (González *et al.*, 1989).

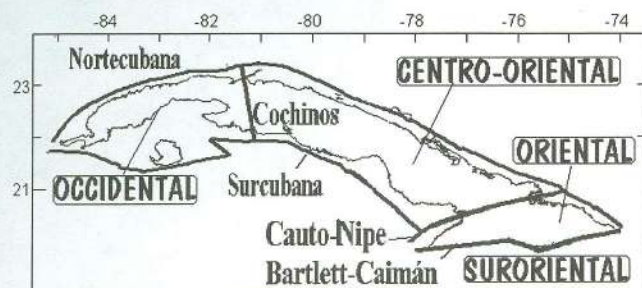


Figura 3. Esquema de la región de estudio.

En esta parte de Cuba se han sentido algunos estremecimientos de terremotos de la ZLPL (como por ejemplo el de Islas Caimán, 1852.07.07) y de la Unidad Sismotectónica Suroriental (como los sismos de 1990 y 1992 de las inmediaciones de Cabo Cruz y 1932 de las inmediaciones de Santiago de Cuba).

En la Tabla 3 se incluyen los eventos sísmicos más fuertes y significativos de la región.

Tabla 3. Terremotos más fuertes e importantes de Cuba Centro Oriental.

No.	Fecha	Tiempo	Lat. N	Lon. O	h(km)	Ms	Io (MSK)	Localidad
1	1824.01.05	08:59	(21.80)	(-79.98)	(10)	(4.3)	6	Trinidad
2	1837.04.22	14:44	(21.72)	(-77.86)	(15)	(3.7)	5	Cubitas
3	1838		(21.80)	(-79.98)	(10)	(3.8)	5	Trinidad
4	1861.06.27		(22.81)	(-80.08)	(10)	(3.8)	5	Sagua la Grande
5	1872.06	23:29	(22.51)	(-79.47)	(10)	(4.2)	5.5	Caibarién-Remedios
6	1873.08.12	03:29	(22.48)	(-79.55)	(10)	(4.5)	6	Remedios
7	1886.08.31	22:20	(22.94)	(-80.01)	(15)	(3.8)	5	Isabela de Sagua
8	1896.04.25		(22.51)	(-79.47)	(10)	(3.9)	5	Caibarién
9	1906.06.05	05:59	(22.88)	(-80.38)	(10)	(3.8)	5	Rancho Veloz
10	1909.01.24	19:29	(21.80)	(-79.98)	(10)	(4.3)	6	Trinidad
11	1909		(21.12)	(-76.13)			5	Gibara
12	1914.02.28	05:19	(21.25)	(-76.20)	(32)	(6.15)	7	Gibara
13	1916.02.11		(1.10)	(-76.48)	(10)	(3.6)	5	Gibara
14	1937.05.14		(22.78)	(-80.08)	(10)	(3.6)	5	Sagua la Grande
15	1939.01.13	09:35	(22.52)	(-79.47)	(10)	(3.8)	5	Caibarién
16	1939.08.15	03:52:31.0	22.50	-79.25		5.6	7	Remedios-Caibarién
15	1943.07.30	02:40	(21.85)	(-80.10)	(15)	(4.6)	6	Trinidad
16	1949.06.09		(21.92)	(-80.02)	(10)	(3.8)	5	Topes de Collantes
17	1952.02.03	16:30	(22.88)	(-80.28)	(15)	(4.0)	5	Queimado de Guines
18	1953.01.01	11:20	(22.10)	(-78.60)	(5)	(3.9)	6	Morón
19	1960.05.25	15:30	(22.45)	(-79.48)	(15)	(4.0)	5	Remedios
20	1972.06.27	00:12	(21.80)	(-78.05)	(5)	(3.0)	5	Esmeralda
21	1974.04.08	03:18:11.0	(21.80)	(-78.05)	(5)	(4.1)	6	Esmeralda
22	1974.11.05	06:35	(21.97)	(-78.23)	(10)	(4.0)	5	Esmeralda
23	1976.10.24	02:15	(21.97)	(-79.98)	(10)	(4.5)	5.5	La Felicidad

Nota: Las cifras entre paréntesis se refieren a determinaciones macrosísmicas.

TERREMOTOS DE CUBA OCCIDENTAL

La parte de Cuba entre la zona de fallas Cochinos y el Cabo de San Antonio pertenece a la Unidad Sismotectónica Occidental (Cotilla *et al.*, 1991a) (Figura 3). Su característica principal es que las estructuras pre - neotectónicas tienen una dirección NE y destaca también por la inflexión de la isla en las inmediaciones de Matanzas (Cotilla *et al.*, 1991b). Los mayores niveles hipsométricos y las amplitudes de los movimientos neotectónicos verticales están en el Sistema Montañoso de Guaniguanico de la provincia Pinar del Río (González *et al.*, 1989). Este sistema se localiza al oeste de la capital del país, Ciudad de La Habana.

En esta parte del territorio cubano son muy escasos los informes de perceptibilidad de terremotos de la parte oriental e incluso de la ZLPL.

Los terremotos más importantes y fuertes aparecen en la Tabla 4.

Tabla 4. Terremotos más fuertes e importantes de Cuba Occidental.

No.	Fecha	Tiempo	Lat.N	Lon.O	h (km)	Ms	Io (MSK)	Localidad
1	1843.02.21		(23.13)	(-82.40)	(10)	(3.7)	5	Ciudad Habana
2	1854		(23.05)	(-81.58)	(10)	(3.7)	5	Matanzas
3	1868.03.25		(23.13)	(-82.40)	(10)	(3.7)	5	Ciudad Habana
4	1871		(21.87)	(-82.78)	(10)	(4.2)	5	El Abra
5	1879.12		(22.78)	(-83.45)	(20)	(4.2)	5	Cajalbana
6	1880.01.23	04:39	(22.70)	(-83.00)	(15)	(6.0)	8	San Cristóbal
7	1896		(22.75)	(-83.56)	(20)	(4.2)	5	La Palma
8	1903		(22.68)	(-81.11)	(18)	(4.1)	5	Agramonte
9	1907.02.19		(23.13)	(-82.40)	(10)	(3.7)	5	Ciudad Habana
10	1937.12.20						6	San Cristóbal
11	1964.03.27		(22.07)	(-81.04)	(10)	(3.7)	5	Girón
12	1981.06.11	18:35	(22.20)	(-83.48)	(10)	(3.7)	5	Alonso de Rojas
13	1982.12.16	20:20:17.0	22.60	-81.25	22	4.5	6	Torriente-Jagüey Grande
14	1995.03.09					2.5	5	San José de las Lajas

Nota: Las cifras entre paréntesis se refieren a determinaciones macrosísmicas.

MECANISMOS FOCALES Y TSUNAMIS

Como se dijo anteriormente, sólo han sido determinados mecanismos focales para la ZLPL. Algunos de ellos se relacionan en la Tabla 5. Hasta la fecha sólo el trabajo de Perrot *et al.* (1997) ha enfrentado el estudio de la zona fuente de un terremoto en Cuba, precisamente en la ZLPL.

Tabla 5. Terremotos del segmento suroriental de Cuba con mecanismos focales.

No	Fecha	Lat. N-Lon. W	Magnitud	Fuente
1	19.09.1957	16.96-85.60	mb = 6.0	Molnar y Sykes, 1969
2	25.07.1962	19.00-81.20		Molnar y Sykes, 1969
3	23.02.1966	16.96-85.60	mb = 4.9	Molnar y Sykes, 1969
4	20.04.1962	20.60-72.20		Molnar y Sykes, 1969
5	25.02.1969	15.30-87.40	mb = 5.4	Dean y Drake, 1978
6	04.02.1976	15.28-89.19	Ms = 7.5	Kanamori y Stewart, 1976
7	11.10.1968	19.88-75.92	mb = 4.3	Alvarez <i>et al.</i> , 1984
	16.02.1969	19.92-75.74	mb = 4.2	
	16.03.1970	20.14-74.60	mb = 4.3	
	22.12.1970	19.92-75.29	mb = 4.7	
	20.05.1973	19.71-75.58	mb = 4.5	
8	11.04.1972	19.09-80.74	mb = 4.7	Alvarez <i>et al.</i> , 1984
9	19.02.1976	19.87-76.87	Ms = 5.7	Alvarez <i>et al.</i> , 1984
10	23.02.1976	19.84-77.12	Ms = 4.6	Alvarez <i>et al.</i> , 1984
	24.02.1976	19.84-77.17	mb = 4.8	
11	23.09.1887	Sur de Cuba	Ms = 7.5	Mocquet, 1984
12	20.02.1917	19.50-78.50	Ms = 7.4	Mocquet, 1984
13	03.02.1932	19.80-75.80	Ms = 6.7	Mocquet, 1984
14	07.08.1947	19.84-75.30	Ms = 6.7	Mocquet, 1984
15	13.11.1978	19.84-76.05	Ms = 5.1	CMT, Harvard University
16	01.09.1985	19.78-75.08	Ms = 5.1	CMT, Harvard University
17	12.02.1989	19.69-74.36	Ms = 5.2	CMT, Harvard University
18	22.05.1990	19.74-76.02	Ms = 5.1	CMT, Harvard University
19	26.08.1990	19.59-77.87	Ms = 5.9	CMT, Harvard University
20	04.09.1990	19.80-75.69	Ms = 5.2	CMT, Harvard University
21	26.08.1991	18.90-80.97	Ms = 5.2	CMT, Harvard University
22	25.05.1992	19.61-77.87	Ms = 6.9	Perrot <i>et al.</i> , 1997
23	27.06.1992	19.03-80.56	Ms = 5.3	CMT, Harvard University
24	27.06.1995	18.50-81.73	Ms = 5.6	CMT, Harvard University

La utilización de estaciones de banda ancha ubicadas en otras partes del mundo para la solución de los mecanismos focales, ha permitido indicar de una forma clara que la zona fuente del terremoto de Cabo Cruz en el año 1992 es compleja (Perrot *et al.*, 1997; Cotilla y Udías, 1997). Evidentemente, el empleo de la información de la estación de Puerto Rico facilitará la cuestión de establecer el verdadero carácter de la ZLPL del norte del Caribe.

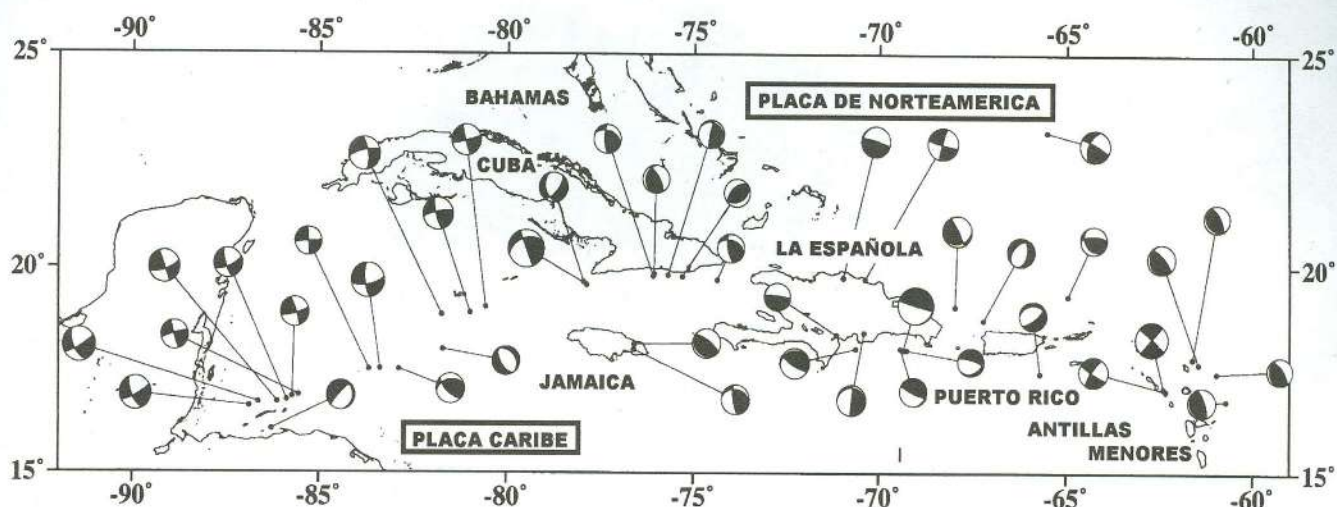


Figura 4. Mecanismos focales del norte de Caribe.

Por lo que toca a los tsunamis es factible con el catálogo de Rubio (1982) preparar la Tabla 6. También se puede asegurar, sobre la base del mencionado catálogo y los mecanismos focales determinados, que la probabilidad de generación de tales fenómenos es muy baja para Cuba.

Tabla 6. Relación de tsunamis que han afectado Cuba.

No.	Fecha	Lugar	Comentarios
1	1755.01.11	S. de Cuba	Terremoto de Lisboa
2	1852.07.17	S. de Cuba	
3	1931.10.01	Playa Panchita, Rancho Veloz (Las Villas)	
4	1932.02.02	S. de Cuba	
5	1939.08.15	Cayo Francés	

RED DE ESTACIONES SISMOLÓGICAS DE CUBA

La primera estación sismológica instalada en el país fue una del tipo Omori - Bosch en el año 1907 (Gutiérrez Lanza, 1914). Esta estación de registro en papel ahumado y de dos componentes, N-S y E-O, operó hasta el año 1920 en Luyanó, Ciudad de La Habana; pertenecía a la Orden de la Compañía de Jesús que fundó el Observatorio del Colegio de Belén en La Habana. Sin embargo, no es hasta el año 1964 en que se instala otra estación, esta vez en la localidad de Soroa, Pinar del Río.

Cuba contaba en 1995 con una red de estaciones sismológicas del tipo convencional (de períodos corto y medio) y una pequeña red de tipo sismotelemétrico en las inmediaciones de la ciudad de Santiago de Cuba, donada la primera fundamentalmente por la ex-Unión Soviética y la ex-República Democrática Alemana (Figura 5). Sin embargo, la operatividad de la red es, en general, deficiente y no permite determinaciones fiables de los hipocentros (Cotilla, 1993). De hecho no se han empleado los registros para la obtención de mecanismos focales.

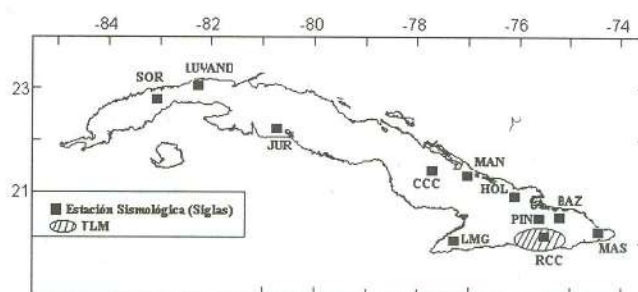


Figura 5. Red de estaciones sismológicas de Cuba. (Las siglas corresponden a los nombres de las estaciones: BAZ-Bazán, CCC-Casorro, HOL-Holguín, JUR-Juraguá, LMG-Las Mercedes, MAN-Manatí, MAS-Maisí, PIN-Pinares de Mayarí, RCC-Río Carpintero, SOR-Soroa. Se indica la localización de la primera estación que operó en Cuba, Luyanó. El área rayada es la ubicación aproximada de la red sismotelemétrica en S. de Cuba).

FIABILIDAD DE LOS CATÁLOGOS

Independientemente de que exista un trabajo sistemático para completar los catálogos de terremotos, es importante para los estudios de sismotectónica y de riesgo sísmico que estos materiales se homogeneicen e incluyan, entre otros aspectos, la fuente del dato, las modificaciones sucesivas de la información, una escala de errores, etc. Como se verá a continuación los catálogos cubanos adolecen de estos aspectos, amén de las no pocas y reiteradas modificaciones.

PARTE OCCIDENTAL

Para la región Occidental de Cuba, en un período de 14 años (1980 - 1994), se han preparado un total de seis catálogos de terremotos (Chuy y González, 1980; González y Chuy, 1983; Chuy *et al.*, 1988; Orbera *et al.*, 1990; González *et al.*, 1994; y Chuy *et al.*, 1983), los que aquí serán denominados como (1), (2), (3), (4), (5) y (6) respectivamente. Dichos catálogos varían mucho en cuanto a datos y han sido utilizados para estudios de

la peligrosidad y el riesgo sísmico. Se incluye otro catálogo, el número (7) de (Chuy *et al.*, 1980), del que sólo interesa la parte de Cienfuegos.

En seguida se presenta un resumen del análisis inicial y general de esos siete catálogos:

a) los catálogos (1), (2), (3), (6) y (7) se han elaborado en el marco de dos temas de investigación: el 310.01 (quinquenio 1981-85) y el 430.03 (quinquenio 1986-90). En todos ellos el método aplicado ha sido la revisión de prensa y publicaciones, aunque en el segundo tema hubo además recorridos por las zonas afectadas por los terremotos. Los catálogos (4) y (5) se prepararon (en un período de un año aproximadamente) con el objetivo específico de realizar investigaciones sismológicas para proyectos especiales (emplazamientos de la industria nuclear) tomando como base los tres primeros. Sin embargo, ellos demuestran una notable modificación de muchos de los parámetros de los eventos sísmicos a pesar del muy poco tiempo dedicado a la actividad; b) las provincias (de acuerdo con la división político-administrativa) son por catálogo: (1), (3) y (4) - Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana y Matanzas; (2) - Pinar del Río; (5) - Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Las Villas, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Avila, Camagüey y Tunas; (6) - La Habana, Ciudad de La Habana y Matanzas; (7) - Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus; c) en ninguno de los siete casos ha existido un procesamiento estadístico, sólido, de la información recopilada y tampoco una valoración ingeniero-geológica; d) la fiabilidad de los reportes de sismos históricos (prensa y publicaciones y de recorridos retrospectivos) es por lo general baja; e) existen dudas con relación a la fiabilidad de las reconstrucciones (posteriores al terremoto) de los efectos producidos por los sismos en la medida que éstas se realizan en días, meses y años subsiguientes; f) hay muy pocas isosistas pero todas muestran demasiada homogeneidad; y g) los especialistas T. Chuy y B. González son autores de todos los catálogos.

El análisis que aquí se realiza es esencialmente cualitativo y sobre la base de los parámetros que aparecen consignados en los catálogos, como: 1) existencia o no de datos instrumentales; 2) fecha, precisión hasta año, mes o día; 3) hora de origen, precisión hasta hora, minuto, o segundo; 4) profundidad por: datos instrumentales, macrosísmicos o ambos; o no existe determinación; 5) intensidad máxima reportada; 6) tipo de dato: prensa y crónicas, inspección después del terremoto, encuesta retrospectiva; 7) número de localidades que reportan el terremoto; 8) existencia o no de mapa de isosistas.

De emplear la lógica, será el catálogo más reciente (González *et al.*, 1994) (5) el más completo y fiable; no obstante, para comparaciones se escogió el catálogo (3). El catálogo (5) tiene 266 eventos y 11 mapas de isosistas; de éstos sólo uno pertenece a la región de estudio (Torriente-Jagüey Grande) y su forma es muy diferente de la original de 1983 (Chuy *et al.*, 1983a). En cuanto a la fiabilidad de los nuevos datos de Orbera *et al.* (1990) que modifican las isosistas, el autor tiene grandes dudas, ya que recorrió los poblados, en los días inmediatos

posteriores al sismo de 1982.12.16 y no hubo el más ligero índice de perceptibilidad por los pobladores. Mientras el catálogo (3) [de una región menor en área] tiene 88 eventos y dos isosistas (años 1880 y 1982) para Cuba Occidental. La figura de la segunda isosista se mantiene igual que como apareció en el trabajo original de 1983 y la del 1880.01.23 ha sido presentada, sin cambios, en todos los trabajos hasta que fue muy modificada por Orbera *et al.* (1990).

A continuación se presenta una muestra estadística de la cantidad de eventos reportados (con su máxima intensidad MSK) en los catálogos (3 y 5):

I (MSK)	?	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0
No. Eventos (Cat. 3)	23	18	1	26	-	17	-	2	-	1
No. Eventos (Cat. 5)	29	57	16	103	15	32	2	8	1	1

Las características temporales de estos dos catálogos son las siguientes:

Eventos en:	Sin Información de				Con Información de
	Mes	Día	Hora	Hora y Minuto	Hora-Minuto-Segundo
Cat. (3)	22	29	57	57	-
Cat. (5)	91	122	137	158	14

Esta información permite concluir que además de los siete apuntes iniciales al conjunto de siete catálogos, para estos dos [(3) y (5)] se cumple que: 1) la fiabilidad de los reportes es baja; 2) no existe un completamiento de los eventos por intensidad; 3) los datos deben ser empleados con reservas.

PARTE ORIENTAL

En seguida se muestra un análisis somero sobre la completitud de la información de los terremotos ocurridos en Santiago de Cuba, atendiendo a cinco parámetros, tomando como ejemplo el catálogo de Chuy y Pino (1982).

I (MSK)	Con Información de					
	Año	Mes	Día	Hora	Minuto	Segundo
9	2	2	2	2	2	0
8	8	8	6	4	4	0
7	10	8	8	6	6	0
6	19	19	19	18	18	0
5	71	71	71	59	58	0

La información contenida en los catálogos cubanos ha variado en no pocas ocasiones sin explicación. Por ejemplo, según Chuy (1982) el terremoto del 1842.05.07 fue de 8 grados de intensidad sísmica (MSK) en Baracoa. También en Chuy y Pino (1982) aparece textualmente lo mismo. En Chuy y Rodríguez (1980) se presentó por primera vez ese evento para las estimaciones de peligro sísmico. En Chuy, González y Vorobiova (1984) se reiteró la ocurrencia y los daños. Sin embargo, en el catálogo de Alvarez *et al.* (1993) no aparece.

Seguidamente se presenta una tabla en la que se incluye la cantidad de eventos sísmicos por intensidad para tres períodos diferentes y sólo para Santiago de Cuba contenidos en los

catálogos de Alvarez *et al.* (1993) [A] y Chuy y Pino (1982) [Ch]. La cantidad de eventos difiere, ya en aumento o disminución, y no hay comentarios al respecto en Alvarez *et al.* (1993). Interpretando los datos y las diferencias es posible suponer, entre otros, que: 1- la actividad sísmica disminuyó; 2- hubo sobrestimación en las descripciones iniciales; 3- hay combinación de los dos puntos anteriores; 4- están por acontecer eventos sísmicos. Cotilla (1993) señaló para La Española y Jamaica una situación similar.

PERIODO									
1492-1800		1800-1932		1932-1998					
Ch	A	Ch	A	Ch	A	Ch	A	Intensidad (MSK)	
1	1	1	1	-	-	2	2	IX	
4	3	3	1	1	1	8	5	VIII	
4	5	6	7	1	1	11	13	VII	
1	1	7	14	11	1	19	16	VI	
10	11	17	22	13	3	40	36		

Por último, como una observación de carácter general para el territorio de Cuba, está el hecho de que hasta el momento no se han determinado deformaciones sísmicas en el terreno. Esta situación ha sido inicialmente abordada por Cotilla y Franzke (1994) en las áreas e inmediaciones donde se han producido los terremotos más fuertes. Sin embargo, los resultados no son satisfactorios ni definitivos.

CONCLUSIONES

De lo expuesto podemos concluir que:

La actividad sísmica del territorio cubano y sus inmediaciones es real y está sujeta a condiciones geodinámicas específicas. Los eventos sísmicos más fuertes se han producido en la Unidad Sismotectónica Suroriental, zona de contacto directo de las placas de Norteamérica y del Caribe en las inmediaciones de Cuba

Los catálogos de terremotos deben ser revisados y las evaluaciones macrosísmicas e interpretaciones deben ser ajustadas concretamente a la fuente original de información

Aún en el supuesto de que la red de estaciones de Cuba operase sin dificultades técnicas es evidente que resulta insuficiente para el estudio preciso de la sismicidad

Dada su posición geográfica, Cuba requiere de una verdadera y activa cooperación internacional para el control de los hipocentros, mecanismos focales y fuentes sísmicas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en parte por la Dirección General de Enseñanza Superior, del Ministerio de Educación y Cultura de España. (Ref. SAB-0302). El apoyo de los Profesores Agustín Udías Vallina y Diego Córdoba Barba fue muy importante. Al

Dr. Leonardo Álvarez Gómez que facilitó algunos datos y observaciones a la versión inicial.

REFERENCIAS

- Alvarez, L., Cotilla, M. y Chuy, T., 1990, Sismicidad de Cuba. Informe final del tema 430.03, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Alvarez, L., Mijailova, R.S. y Chuy, T., 1993, Catálogo de los terremotos fuertes de la región 16°-24° LN y 70°-86° LW, desde el siglo XVI hasta 1988, Informe del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Alvarez, L., Rubio, M., Chuy, T. y Cotilla, M., 1985, Informe final del tema 310.01: Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba, 2 vols, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Alvarez, L., Serrano, M., Rubio, M., Chuy, T. y González, B., 1984, El terremoto del 19 de febrero de 1976. Pílon, región oriental de Cuba, Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba, 5, 5-60, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Bowin, C., 1968, Geophysical study of the Cayman Trough, Journal of Geophysical Research, 73:5159-5173.
- Bowin, C., 1976, Caribbean gravity field and plate tectonics, Geological Society of America, Special Paper, 169-179.
- Chuy, T., 1982, Actividad sísmica de la provincia Holguín, Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba, 2, 20-45. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T., Dzhravev, R.U., Alvarez, L., Alvarez, H. y Mirzoev, K.M., 1988, Informe técnico de las investigaciones macrosísmicas en el territorio de Cuba oriental y en la región de emplazamiento de las variantes 2 y 10 de la CEN de Holguín, Archivos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T. y González, B., 1980, Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba, Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba, 1, 18-32, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T., González, B. y Escalona, A., 1980, Información macrosísmica de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus, Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba, 1, 33-57, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T., González, B. y Polo, B., 1988a, Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba, Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, 4, 21 p., Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T., González, B. y Vorobiova, E., 1984, Sismicidad del territorio de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila, Cuba, Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba, 5, 61-94, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.

- Chuy, T. y Pino, O., 1982, Datos macrosísmicos de los terremotos en la provincia Santiago de Cuba, *Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2, 46-136, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T. y Rodríguez, M., 1980, La actividad sísmica basada en datos históricos. *Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1, 5-17, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T., Vorobiova, E., Alvarez, L., Pérez, E., Cotilla, M. y Portuondo, E., 1983a, El sismo del 16 de diciembre de 1982. Torriente - Jagüey Grande, *Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 3, 44 p., Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, T., Zapata, A. y Rubio, M., 1990, Isosistas del terremoto del 20 de agosto de 1852, *Atlas de la provincia de Santiago de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba.
- Cotilla, M., 1987, Red de estaciones sismológicas, Informe científico - técnico del Instituto de Geofísica y Astronomía, 20 p., Academia de Ciencias de Cuba.
- Cotilla, M., 1993, Una caracterización sismotectónica de Cuba, Tesis en opción al grado de doctor en ciencias, 200 p., Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Franzke, H.J., Alvarez, L., González, E., Díaz, J.L., Grünthal, G., Pilarski, J. y Arteaga, F., 1991a, Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000, Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, 23, 35 p., Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Cotilla, M. and Franzke, J., 1994, Some comments on the seismotectonic activity of Cuba, *Z. Geol. Wiss.*, 22 (3/4), 347-352, Berlín.
- Cotilla, M., González, E., Díaz, J.L. y Cañete, C., 1991b, Estudio complejo geomorfológico - estructural de la zona marítima del sur de Cuba oriental, *Rev. Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, 34, 167-176.
- Cotilla, M., González, E., Franzke, H.J., Díaz, J.L., Oro, J., Arteaga, F. y Alvarez, L., 1991c, Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000, Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, 22, 37 p., Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Cotilla, M. y Udías, A., 1997, Caracterización sismotectónica preliminar del límite Caribe-Norteamérica, *Resúmenes de la I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Almería, España.
- Dean, B.W. and Drake, C.L., 1978, Focal mechanisms and tectonics of the Middle America arc, *Journal of Geology*, 86: 111-128.
- Gutiérrez-Lanza, M., 1914, Conferencias de Seismología pronunciadas en la Academia de Ciencias de La Habana, Imprenta y Librería de Lloredo y Cía., La Habana, 178 p.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1954, *Seismicity of the earth*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- González, E., Cañete, C., Díaz, J.L., Pérez, L. y Cotilla, M., 1989, Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250,000, *Rev. Serie Geológica*, 1, 16-34, Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, Ministerio de la Industria Básica.
- González, B. y Chuy, T., 1983, Actividad sísmica de la provincia Pinar del Río, *Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4, 53-68, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- González, B., Chuy, T., Alvarez, L., Rubio, M., *et al.*, 1994, Estudio sismológico regional complejo de Cuba centro oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares, Informe Científico-Técnico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba, 90 p.
- Hernández, J.R., González, R. y Arteaga, F., 1989, Diferenciación estructuro-geomorfológica de la zona de sutura de la microplaca cubana con la placa Caribe, Editorial Academia, p. 48, La Habana, Academia de Ciencias de Cuba.
- Hess, H.H. and Maxwell, J.C., 1953, Caribbean research project, *Geological Society of America Bulletin*, v. 64, p. 16-18.
- Kanamori, H. and Stewart, G.S., 1976, Seismological aspects of the Guatemala earthquake of february 4, 1976, *Journal of Geophysics Research*, 83: 3427-3434.
- Mann, P. and Burke, K., 1984, Neotectonics of the Caribbean region. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 22, 4: 309-362, November.
- Mocquet, A., 1984, Vitesses de déplacement discontinu le long d'une zone limite de plaques: Caraïbes-Amérique du Nord, Master thesis, University of Rennes, France, p. 53.
- Molnar, P. and Sykes, L.R., 1969, Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanism and seismicity, *Geological Society of America Bulletin*, 80, 9: 1639-1684.
- Monteulieu, E., 1933, Informe de la comisión nombrada para el estudio del terremoto de Santiago de Cuba de febrero de 1932, *Rev. Sociedad Cubana de Ingenieros*, vol. XXV, No. 1, La Habana.
- Monteulieu, E., 1968, Notas y apuntes acerca de terremotos ocurridos en Cuba. Inédito. Archivo del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Orbera, L., González, B., Chuy, T. y Oro, J., 1990, Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del centro de investigaciones nucleares, Vol. I, Sec. Ejecutiva de Asuntos Nucleares, Cuba, 344 p., Academia de Ciencias de Cuba.
- Pacheco, J.F. and Sykes, L.R., 1992, Seismic moment catalog of large earthquakes, 1900-1989, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82, 3, 1306-1349.
- Perrot, J., Calais, E. and Mercier de Lépinay, B., 1997, Tectonic and kinematic regime along the northern Caribbean plate boundary: New insights from broadband modeling of the May 25, 1992, Ms = 6.9 Cabo Cruz, Cuba, earthquake, *Pure and Applied Geophysics*, 149: 475-487.

- Poey, A., 1855a, Tableau chronologique des tremblements de terre ressentis à l'île de Cuba de 1851 à 1855, Paris, A. Bertrand.
- Poey, A., 1855b, Supplément au tableau chronologique des tremblements de terre ressentis à l'île de Cuba de 1851 à 1855, Paris, A. Bertrand.
- Poey, A., 1857, Catalogue chronologique des tremblements de terre ressentis dans les Indes Occidentales de 1530 à 1857, accompagné d'une revue bibliographique contenant tous les travaux relatifs aux tremblements de terre des Antilles, Paris.
- Rosencratz, E. and Mann, P., 1991, Sea MARC II mapping of transform faults in the Cayman trough, Caribbean sea, *Geology*, V, 19, 690-693.
- Rubio, M., 1982, Ocurrencia de tsunamis en el Caribe, *Rev. Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2, 170-180, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Salterafn y Legarra, P., 1884, Ligera reseña de los temblores de tierra ocurridos en la Isla de Cuba, *Anales de la Academia de Ciencias de La Habana*, 21, 203-218.
- Sykes, L.R. and Ewing, M., 1965, The seismicity of the Caribbean region, *Journal Geophysical Research*, 70,20, 5065-5074.
- Viñes, B. y Salterafn, P., 1880, Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salterafn en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880, Ediciones "La Voz de Cuba", La Habana, 68 p.
- Vireux, J., Calais, E., Deschamps, A., Mercier de Lépinay, B. and Bèthoux, N., 1992, Tectonic interpretation of the May 25th 92 Cuban earthquake, *EOS Transactions, AGU Fall Meeting*, San Francisco.

DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA SÍSMICA EN LA REGIÓN FRONTERIZA DE AMBAS CALIFORNIAS

J. Frez C.¹ y V.M. Frías-Camacho²

¹Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

²Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada B.C., 22860, México.

RESUMEN

Este artículo complementa uno anterior (Frez y Frías-Camacho, 1998) que presenta mapas de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias a partir de la información obtenida del Catálogo del Sur de California (SCC) y del Catálogo del Noroeste de México (CNOM), más el resultado de una recopilación tomada de la literatura. Esta información se usa para representar, como superficie tridimensional, la distribución acumulada de la energía radiada en ondas sísmicas asociada a dicha sismicidad. El paso de discretización es de un minuto de grado en latitud y longitud y la energía sumada para cada punto es luego suavizada utilizando como función de peso una distribución gaussiana radialmente simétrica con una desviación estándar que permite una resolución mayor o menor de la suavización. Debido a la relación logarítmica entre energía y magnitud, la distribución de la energía asociada a todos los sismos que aparecen en el SCC indica sólo la energía acumulada que equivale a un sismo de magnitud mayor que alrededor de 6.0. Otras figuras muestran la energía radiada por la actividad microsísmica para varias ventanas de magnitud y tiempo. De esta manera, el concepto de "nivel de sismicidad" aparece cuantificado además de ser intuible. Se discuten las ventajas y desventajas de este tipo de representación.

INTRODUCCIÓN

La energía sísmica es un parámetro importante que se calcula generalmente de otros operacionalmente más simples como la magnitud y el momento sísmico. El lector puede beneficiarse con el artículo de Båth (1981) que resume las investigaciones relacionadas con definición, escalas y determinación de magnitud, además de temas relacionados, hasta fines de la década del 70. Para desarrollos posteriores puede consultarse, entre otros, el texto de Lay y Wallace (1995). La interpretación física de varias relaciones empíricas que relacionan a parámetros focales (magnitud, momento sísmico, energía y dimensiones de fallas) está expuesta en Kanamori y Anderson (1975).

Generalmente se supone que la relación entre la magnitud (M) y la energía que irradia la fuente en forma de ondas sísmicas (E_s) es del tipo

$$\log E_s = \beta M + \alpha \quad (1)$$

También se supone que M_s (magnitud a partir de datos de ondas superficiales) y M_L (magnitud local, es decir, la escala utilizada en el SCC y CNOM) son complementarias y equivalentes en cierto rango. La relación entre magnitud y E_s más ampliamente usada es la de Gutenberg y Richter (1956a)

$$\log E_s = 1.5 M_s + 11.8 \quad (2)$$

Para la magnitud local M_L los resultados de Gutenberg y Richter (1956b) y de Kanamori *et al.* (1993) producen un valor del coeficiente α más cercano a 2.0. Específicamente, Kanamori *et al.* (1993) obtienen

$$\log E_s = 1.96 M_L + 9.05 \quad (3)$$

En ambos casos, la energía resultante se calcula en ergs y los logaritmos tienen base 10. El término α es de menor importancia para nuestros propósitos ya que representa un factor de escala que podemos obviar si nuestro interés se centra en valores relativos de las energías. De acuerdo con los parámetros dados, una diferencia de una unidad de magnitud se traslada a una razón entre las energías correspondientes de $10^{1.5}$ o $10^{2.0}$ (32 o 100, respectivamente); para dos unidades de magnitud, resultan factores de 1000 o 10000, respectivamente. De este modo, la variable "energía" (irradiada a través de ondas sísmicas), además de tener un significado intuitivo importante, permite separar rangos de sismicidad. Por otro lado, es obvio también que el cálculo de E_s usando las ecuaciones (2) o (3) es aproximado y contiene un error importante que proviene tanto del error en la estimación de la magnitud (v. gr., ± 0.2) como de los coeficientes de dichas ecuaciones.

En un trabajo previo (Frez y Frías-Camacho, 1998), presentamos mapas anuales y acumulados de la sismicidad en la región fronteriza de ambas Californias (30.5°N - 32.5°N; 114.0°W - 118.5°W). En el presente artículo, utilizamos la variable E_s acumulada para representar gráficamente distintos niveles de sismicidad de la región de estudio (Figura 1) a partir de la misma información procesada en el anterior artículo. Esta representación no es comúnmente utilizada en la literatura, es atractiva por el significado físico de E_s y cuantifica las concentraciones de sismicidad en los mapas correspondientes cuando el número de los sismos representados es demasiado alto y, por lo tanto, el peso relativo de esas concentraciones no se puede inferir de los mapas de sismicidad. Su limitación se debe a que, debido a la relación logarítmica (3) entre M_L y E_s ,

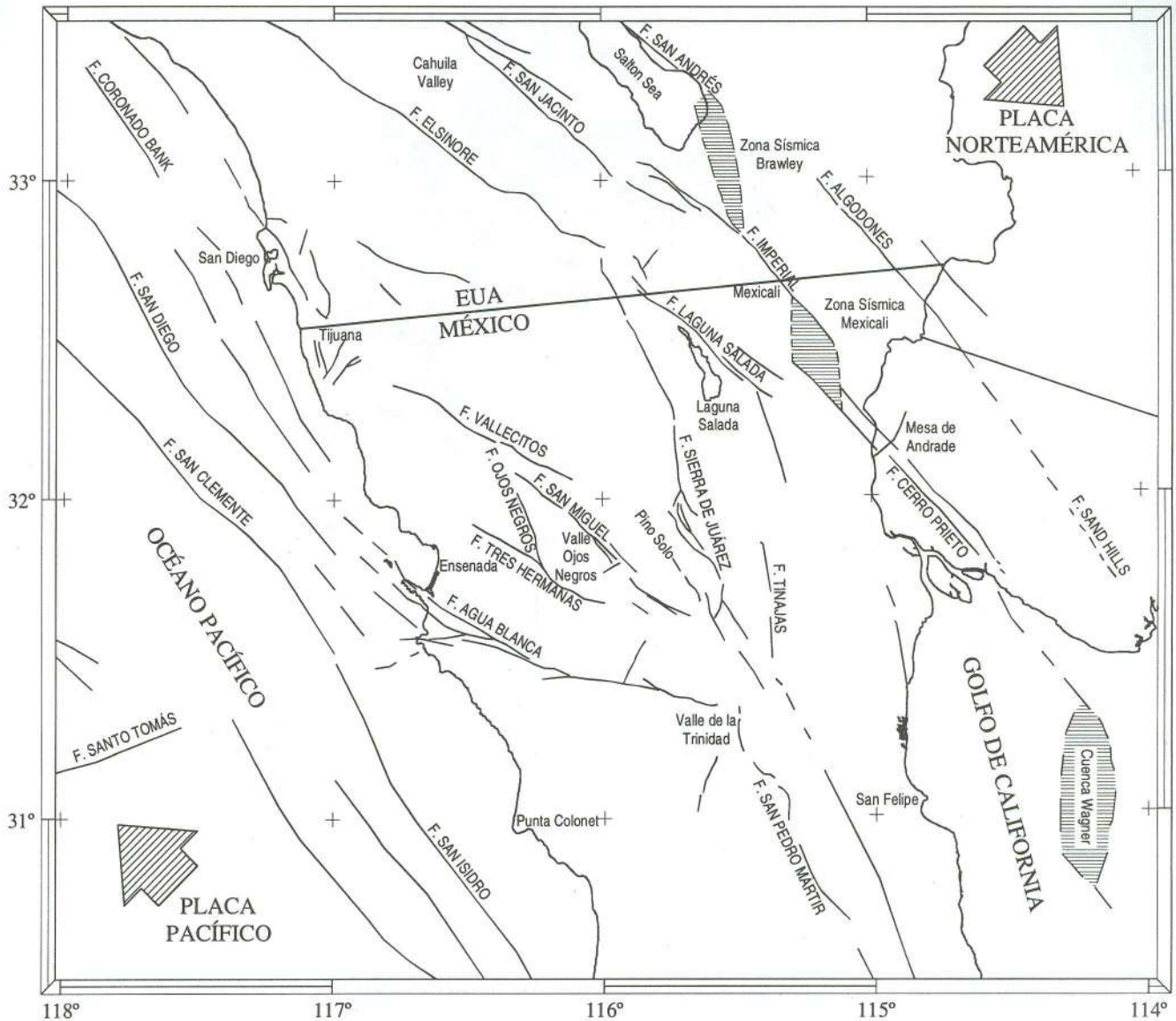


Figura 1. Marco tectónico del área de estudio (corregida de Frez y Frías-Camacho, 1998).

las diferencias en E_s que se pueden resolver visualmente de las superficies tridimensionales no sobrepasan un factor de mil ergs. Para consultas sobre el marco tectónico y sismotectónico regional, véase Suárez-Vidal *et al.* (1991) y Frez y González (1991), respectivamente, en resúmenes que cubren hasta alrededor de 1987. Los nombres geográficos y características tectónicas mencionadas en el texto aparecen en la Figura 1 y fueron también referidos en Frez y Frías-Camacho (1998).

METODOLOGÍA

El método utilizado consiste en sumar las energías sísmicas, obtenidas de las magnitudes según la ecuación (1) con $\alpha = 0$ y para cada punto de una cuadrícula con un paso de un minuto de grado de longitud y latitud. Las coordenadas de los epicentros son redondeados al minuto más cercano de cada coordenada.

Ya que nuestro propósito es mostrar la energía total irradiada, no hemos eliminado las réplicas de los sismos principales. La matriz obtenida se sujeta enseguida a un proceso de suavización, que es necesario si se toma en cuenta el error de la localización epicentral y que las fuentes sísmicas no son puntuales sino discretas. La proyección horizontal del área de falla cubre desde unas decenas de metros a unas pocas decenas de kilómetros para los sismos que incluimos en las siguientes figuras. La suavización que hemos elegido es un promedio ponderado cuyos pesos resultan de una distribución gaussiana centrada en el epicentro de cada sismo y con una desviación estándar que determina la resolución de la suavización. Los epicentros calculados contienen errores del orden de 3' a 5' en los mejores casos, y pueden llegar a 7' o 10' en los peores. El uso de valores de la desviación estándar entre 3' y 7' ofrece características numéricas deseables, es decir, ni las superficies resultantes suavizan demasiado la distribución de energía haciendo perder

Las características de los dos catálogos que forman la mayor parte de la información procesada, además de detalles y nombres relacionados con la distribución de la sismicidad en la región de interés pueden consultarse en Frez y Frías-Camacho (1998).

MAPAS DE ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA

Figura 2. Energía sísmica acumulada entre 1905 y 1998 y que incluye todos los sismos del Catálogo del Sur de California además de resultados de una recopilación bibliográfica. La región es la misma que la ilustrada en la Figura 1. Todos los mapas presentados calculan la energía en pasos discretos de 1° de grado. Las líneas punteadas aquí y en las figuras restantes indican proyección en la superficie plana de la Tierra. El punto de mira tiene una inclinación ($\hat{i}$) de 20° desde la superficie de la Tierra y un acimut ($\hat{a}$) de 330° desde el eje de longitud (positivo a la derecha) y utilizando la regla de la mano derecha. La desviación estándar (σ) utilizada en la suavización es 5°. W: Cuenca Wagner; LS: Laguna Salada.



Figura 3. Energía sísmica acumulada entre 1905 y 1998 para $5.9 \geq M_L \geq 4.5$ utilizando el Catálogo del Sur de California además de una recopilación bibliográfica. La región es la misma que en la Figura 1. Se utilizaron los siguientes valores de parámetros: $\hat{\nu} = 45^\circ$, $\hat{\alpha} = 50^\circ$,

Al hacer esta figura hemos probado valores numéricos del coeficiente β de 1.5 y 1.96, según las ecuaciones (2) y (3). La mayor amplificación de escala que produce el valor 1.96 hace que las energías correspondientes a magnitudes cercanas a 6.0 desaparezcan en la representación gráfica. Como el propósito de esta figura es enfatizar la energía irradiada por sismos potencialmente destructivos, hemos preferido utilizar el coeficiente 1.5 para beneficio de una mejor delineación de las áreas correspondientes. El resto de las figuras de este trabajo están realizadas con el coeficiente 1.96. Esta consideración y el uso de $\alpha = 0$ define las unidades relativas de las figuras que muestran a E_s . El lector puede comparar las escalas verticales de la Figura 2 y de la figura siguiente, notando que el rango de magnitudes, de 6.0 a 7.1 que queremos enfatizar en la Figura 2, corresponde a uno de E_s relativas igual a $[1.0 \times 10^9 - 4.5 \times 10^{10}]$ y $[5.8 \times 10^{11} - 8.2 \times 10^{13}]$ con $\alpha = 0$ según las ecuaciones (2) y (3), respectivamente.

La distribución espacial de la suma de E_s mostrada en la Figura 2 señala que los sistemas de falla que más han irradiado energía sísmica son los de Cerro Prieto/Imperial/San Jacinto y San Miguel, siendo el sismo de Laguna Salada de 1934 el más

importante que se ubica entre ambos sistemas. El extremo sur del primer sistema está señalado por la energía disipada en la Cuenca Wagner y que resulta principalmente del enjambre de 1969, con alrededor de 36 sismos con $M \geq 5.0$. El sismo de mayor magnitud (7.1) registrado en este periodo ocurrió también en 1934 y su epicentro es ubicado cerca del epicentro del sismo Victoria de 1980 (Anderson y Bodin, 1987). Es evidente que la ciudad de Mexicali es la más propensa a sufrir los efectos de un sismo destructivo, si suponemos una "semiperiodicidad" en la ocurrencia de éstos. En los alrededores de Mexicali ocurrieron dos sismos destructivos en 1934 y uno en cada uno de los años siguientes: 1915, 1940, 1979, 1980 y 1987. A los sismos anteriores deben agregarse algunos de menor magnitud, incluyendo enjambres que han sido sentidos por la población.

La energía asociada a sismos con $5.9 \geq M_L \geq 4.5$ ocurridos entre 1906 y 1998 se ilustra en la Figura 3. La relativa abundancia de estos sismos con respecto a los de $M_L \geq 6.0$ hace que su distribución se acerque a la microsísmica. La Figura 3 señala la preponderancia de la actividad de la Cuenca Wagner en la distribución de energía y, además de la actividad de los dos sistemas de fallas principales, aparece la asociada al Borde

Continental, la que ocurre entre el extremo NW de la Falla Cerro Prieto y la de la parte central de la Falla San Miguel.

La Figura 4 muestra la energía liberada por la actividad microsísmica entre 1975 y 1998 (catálogo SCC). El año inicial se escogió para lograr un catálogo relativamente homogéneo en cubrimiento y precisión para $3.5 \geq M_L \geq 2.3$. La preponderancia de la dirección NW-SE en los alineamientos marcados es clara, aunque también hay máximos en las zonas sísmicas de Mexicali y Brawley (efecto de réplicas y enjambres), en la zona de réplicas del sismo de Oceanside de 1986 y en la región de Pino Solo. Esta última región presenta sismos de $M_L \geq 5.0$ en 1978, 1985 y 1988. La Falla Elsinore tiene poca microsismicidad pero aparece claramente delineada. Además, están sugeridas algunas alineaciones en el Borde Continental, incluyendo la conexión de la continuación al NW del sistema San Miguel con la zona de réplicas del sismo de Oceanside. Para un sismo principal de sólo $M_L = 5.4$, esta última actividad ha producido una gran liberación de energía y ha persistido por varios años (Frez y Frías-Camacho, 1998).

La Figura 5 utiliza el catálogo CNOM (1983-1998; $3.5 \geq M_L \geq 2.0$); el propósito de esta figura es aprovechar el buen cubrimiento de este catálogo en la parte sur de la región de

interés. La figura sugiere alineaciones en dirección NW-SE, muestra la preponderancia de la sismicidad asociada a la Zona Sísmica de Mexicali, a la región de Pino Solo y al vértice de contacto entre las fallas Sierra Juárez, San Miguel y la aparentemente inactiva Agua Blanca. En este mapa se distingue la actividad asociada a la Cuenca Wagner y a la extensión NW de las fallas transformes que delimitan la Cuenca Delfín.

El detalle de E_s para la actividad microsísmica ($3.5 \geq M_L \geq 2.3$; 1975-1998) del cuadrángulo 31.00°N - 32.50°N y 116.50°W - 115.00°W que se ilustra en la Figura 6 (catálogo SCC) tiene características de interés sismotectónico. El lector puede auxiliarse con las Figuras 5 y 7 de Frez y Frías-Camacho (1998) para ubicar mejor los alineamientos y cúmulos de sismicidad y utilizar la representación gráfica de la suma de E_s para discriminar la relativa importancia de alineamientos y cúmulos de sismicidad. El máximo de la distribución que se observa en el extremo derecho de la Figura 6 corresponde a la actividad de la Zona Sísmica Mexicali, junto con aquella que ha ocurrido inmediatamente afuera de su flanco occidental. El segundo máximo de importancia, un poco al NW del centro de la figura, se asocia a la región de Pino Solo. La Falla San Miguel no aparece como un alineamiento, al contrario de la forma como está indicada por la actividad macrosísmica en la Figura 2. Una

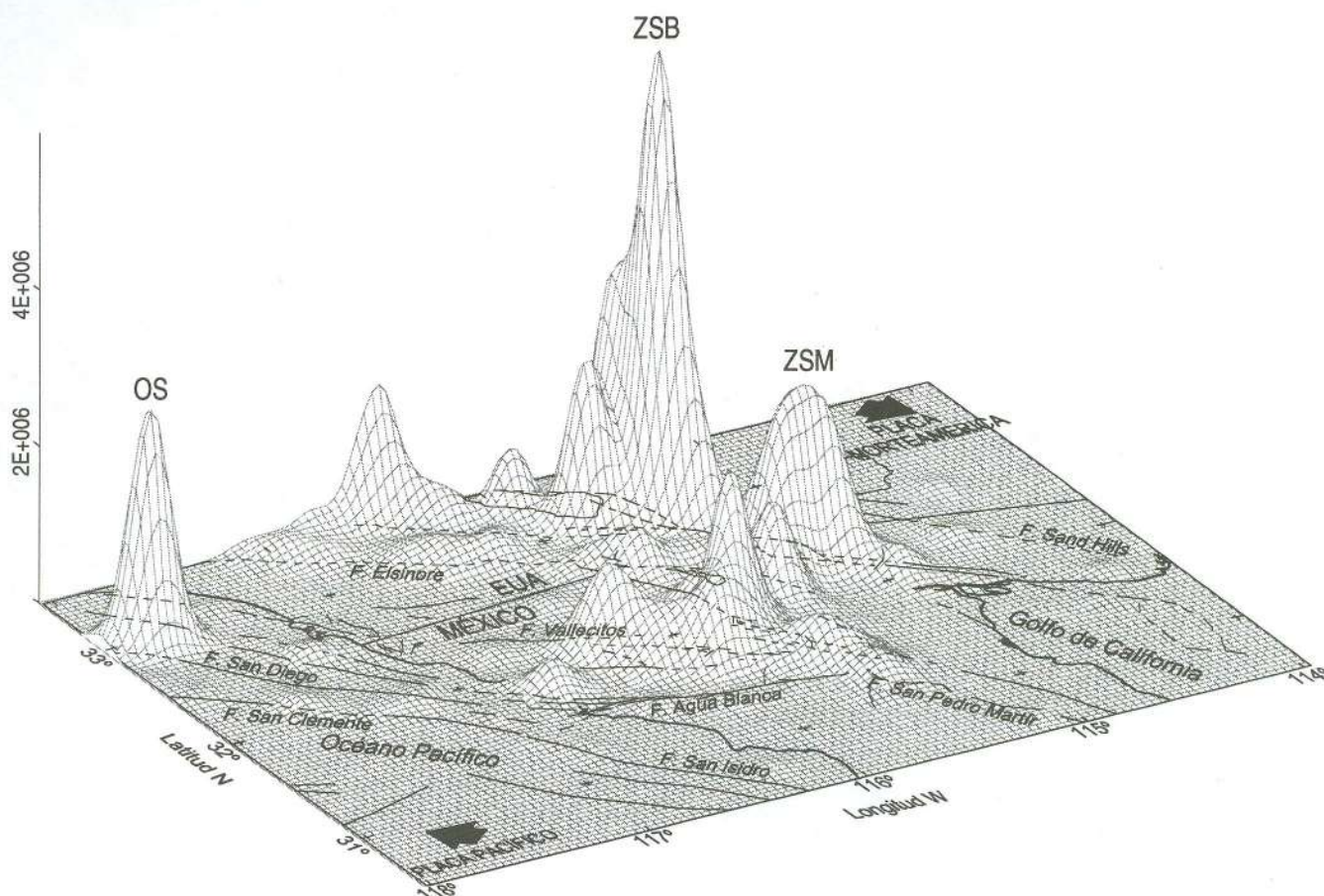


Figura 4. Energía sísmica acumulada entre 1975 y 1998 para $3.5 \geq M_L \geq 2.3$ utilizando el Catálogo del Sur de California. Los parámetros son: $i = 25^\circ$, $\hat{a} = 330^\circ$, $\sigma = 4'$. OS: Oceanside; SZB: Zona Sísmica Brawley; ZSM: Zona Sísmica Mexicali.

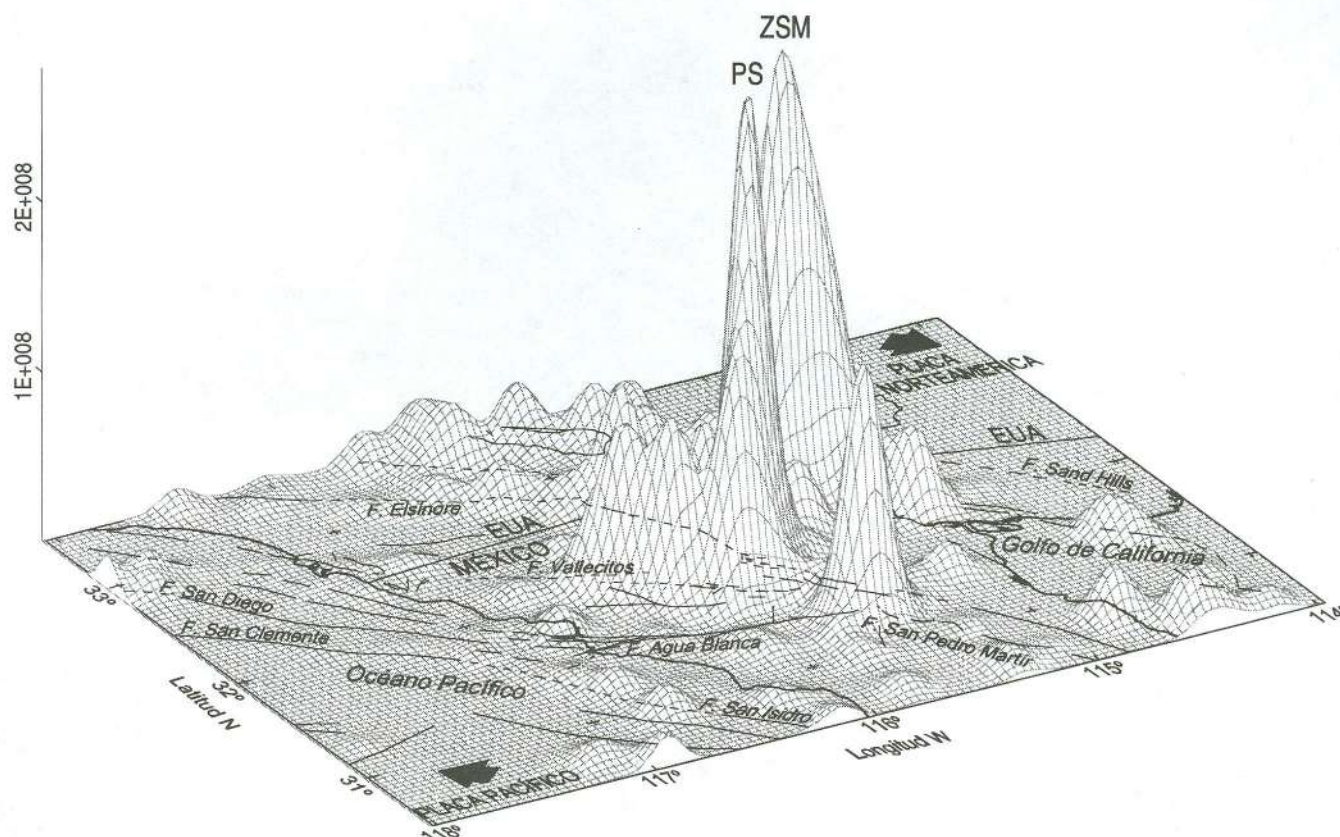


Figura 5. Energía sísmica acumulada entre 1983 y 1998 para $3.5 \geq M_L \geq 2.0$ del Catálogo del Noroeste de México. Se utilizaron los siguientes valores de parámetros: $i = 25^\circ$, $a = 330^\circ$, $\sigma = 4'$. ZSM: Zona Sísmica Mexicali; PS: Pino Solo.

alta concentración de energía que aparece al NW corresponde al vértice formado por las fallas Ojos Negros y San Miguel, la que continúa a un menor nivel hacia el SE, dentro del Valle Ojos Negros. Aún notables son las siguientes concentraciones: una que parece continuarse desde la de Pino Solo hasta sobrepasar la Falla San Miguel; otra que se ubica en el vértice formado por las fallas San Miguel y Sierra Juárez; otra, más al sur, en el extremo norte de la Falla San Pedro Mártir; otros dos cúmulos se ubican en la parte central de la Falla Sierra Juárez y al sur de Laguna Salada. La figura sugiere la presencia de una sismicidad de conexión entre los dos sistemas de fallas principales de la región, uniendo la actividad del extremo NW de la Falla Cerro Prieto con la parte central de la Falla San Miguel. La fuerte actividad del sector de Pino Solo que aparece en forma de un alineamiento NW-SE en 1985 (Frez y Frías-Camacho, 1998) no tiene una clara asociación con alguna falla cartografiada.

DISCUSIÓN

Los mapas epicentrales de sismicidad tienen el defecto de que en ellos es difícil comparar cuantitativamente el nivel de sismicidad cuando se concentran muchos sismos en áreas relativamente pequeñas, ya sea en cúmulos o en alineamientos. Un propósito de este trabajo es hacer esta comparación mediante

la variable "energía sísmica acumulada", que se calcula en cada punto de una malla horizontal homogénea. Este procedimiento no se encuentra comúnmente en la literatura a pesar de sus ventajas. El amplio rango de valores numéricos de E_s que resulta al calcular 10^{BM} permite explorar las características de diversos niveles de sismicidad aunque ello tropieza con la dificultad de contar con estadísticas completas de la ocurrencia de sismos, incluyendo de microsismicidad. En el caso de nuestra región de estudio, la información de la sismicidad instrumental, histórica y de estudios paleosísmicos (ver por ejemplo Hirabashi *et al.*, 1996) es muy limitada para sismos moderados o de mayor magnitud. Por otro lado, la existencia de sismicidad muy esporádica hace dudar que contemos con una distribución representativa de la microsismicidad regional. Un ejemplo lo constituye la actividad que ocurrió al sur de Laguna Salada entre fines de 1975 y comienzos de 1976 en un sitio carente de actividad significativa en los 25 años muestreados con precisión por el SCC. Aún con estas limitaciones, es posible investigar si hay un quiebre en la autosimilaridad de la distribución de hipocentros utilizando técnicas gráficas (como la utilizada en este artículo) y analíticas. Menos ambicioso pero aún importante es determinar el historial de la microsismicidad utilizando la distribución en la superficie de la tierra de la suma de E_s .

El momento sísmico M_0 es una variable que se utiliza también para medir el "tamaño" de un temblor a partir de un

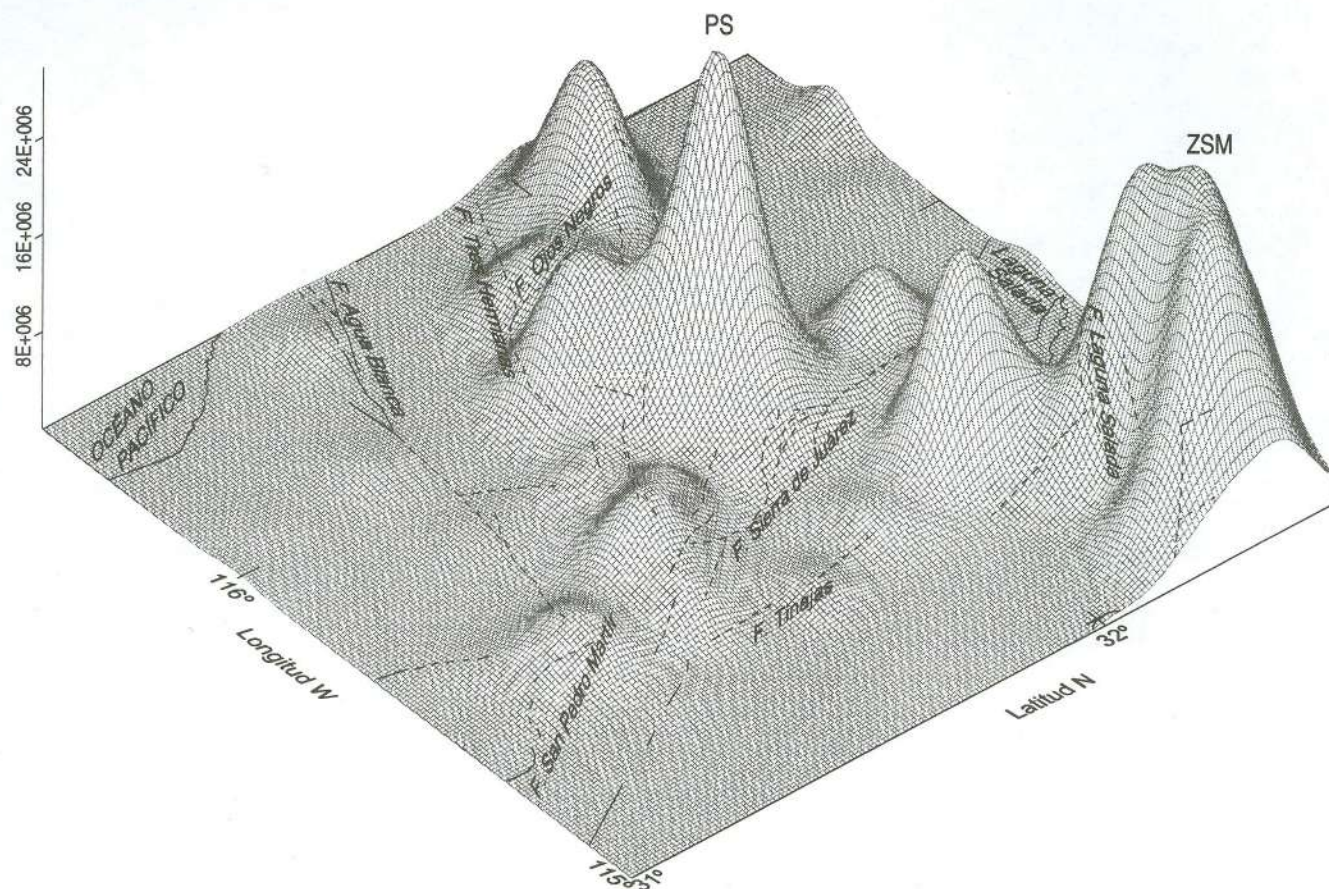


Figura 6. Detalle que resulta de una sección de la Figura 4. La región cubierta es la que tiene la más alta sismicidad en el norte de Baja California, junto con la del Valle Mexicali-Imperial. Se utilizaron los siguientes valores de parámetros: $\hat{i} = 39^\circ$, $\hat{a} = 50^\circ$, $\sigma = 3'$. ZSM: Zona Sísmica Mexicali; PS: Pino Solo.

modelo de la fuente sísmica. Sin embargo, la relación entre M_s y M_0 (Lay y Wallace, 1995)

$$\log M_0 = 1.5 M_s + 16.1, \quad (4)$$

tiene la misma forma matemática que la ecuación (1) y, por lo tanto, la suma de M_0 y la de E_s son casi equivalentes como herramientas de análisis.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal del USGS, CalTech y SCEC, en sus laboratorios ubicados en Pasadena, California, por permitirnos utilizar sus bases de datos, específicamente a L. Jones, J. Mori y K. Hafner. Del mismo modo, apreciamos la ayuda y el buen ánimo de F. Farfán, I. Méndez y L. Orozco para informarnos sobre el uso de los datos del CNOM. Este trabajo constituye una etapa de una investigación financiada por CONACYT (25309-T) y es también el resultado de una vieja insistencia de L. Delgado. Los comentarios de A. Nava, J. González y de los revisores fueron de gran ayuda. En la edición del manuscrito, cooperó entusiasta y pacientemente R. Eaton.

REFERENCIAS

- Abe, K. y S. Noguchi, 1983, Revision of magnitudes of large shallow earthquakes, 1897-1912: Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol. 33, pp. 1-11.
- Anderson, J. G. y P. Bodin, 1987, Earthquake occurrence models and historical seismicity in the Mexicali-Imperial Valley: Seismological Society of America Bulletin, v. 77, p. 562-578.
- Båth, M., 1981, Earthquake magnitude - recent research and current trends: Earth-Science Review, vol. 17, pp. 315-398.
- Doser, D.I. and H. Kanamori, 1986, Depth of seismicity in the Imperial Valley region (1977-1983) and its relationship to heat flow, crustal structure, and the October 15, 1979, earthquake: Journal of Geophysical Research, vol. 91, pp. 675-688.
- Doser, D.I., 1990, Source characteristics of earthquakes along the southern San Jacinto and Imperial fault zones (1937 to 1954): Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 80, pp. 1099-1117.
- Ellsworth, E., 1990, Earthquake history, 1769-1989: en The San Andreas Fault System, California: U. S. Geological Survey Professional Paper 1515, editado por R. E. Wallace, pp. 153-187, Washington, EEUU.

- Frez, J. y J. J. González, 1991, Crustal structure and seismotectonic of northern Baja California: cap. 15 de American Association of Petroleum Geologists Memoir #47, The Gulf and Peninsular Province of the Californias, editado por B. Simoneit y J. P. Dauphin, pp. 261-283, Tulsa, Oklahoma, EEUU.
- Frez, J. y V.M. Frías-Camacho, 1998, Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias: GEOS, Vol. 18, No. 2, p. 112-130.
- Gutenberg, B. y C.F. Richter, 1956a, Magnitude and energy of earthquakes: *Annali di Geofisica*, vol. 9, pp. 1-15.
- Gutenberg, B. y C.F. Richter, 1956b, Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration: *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 46, pp. 105-145.
- Hirabayashi, C.K., T.K. Rockwell, S.G. Wesnousky, M.W. Stirling y F. Suárez-Vidal, 1996, A neotectonic study of the San Miguel-Vallecitos Fault, Baja California, Mexico: *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 86, pp. 1170-1183.
- Hutton, L.K. y D. M. Boore, 1987, The M_L scale in Southern California: *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 77, pp. 2074-2094.
- Hutton, L.K. y L.M. Jones, 1993, Local magnitudes and apparent variations in seismicity rates in Southern California: *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 83, pp. 313-329.
- Kanamori, H. y D.L. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology: *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 65, pp. 1073-1095.
- Kanamori, H., J. Mori, E. Haukson, T. Heaton, L.K. Hutton, and L. Jones, 1993, Determination of earthquake energy release and M_L using Terrascope: *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 83, pp. 330-346.
- Knopoff, L., 1996, Increase long-range intermediate-magnitude earthquake activity prior to strong earthquakes in California: *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, pp. 5779-5796.
- Lay, T. y T.C. Wallace, 1995, *Modern Global Seismology*, Academic Press, EEUU, 521 pp.
- Leeds, A.L., 1979, The relocations of m_b 5.0 northern Baja California earthquakes using S-P times: M. S. Thesis, University of California, San Diego, La Jolla, California, EUA, 101 pp.
- Shor, R. R. y E. Roberts, 1958, San Miguel Baja California Norte earthquakes of February 1956, a field report: *Seismological Society of America Bulletin*, vol. 48, pp. 101-116.
- Suárez-Vidal, F., R. Armijo, G. Morgan, P. Bodin y R. G. Gastil, 1991, Framework of recent and active faulting in Northern Baja California: Cap. 15 de American Association Of Petroleum Geologists Memoir #47, The Gulf and Peninsular Province of the Californias, editado por B. Simoneit y J. P. Dauphin, pp. 285-300, Tulsa, Oklahoma, EEUU.

DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA ZONA EL PALADAR Y LITOLÓGICA DE LA ISLA ANGEL DE LA GUARDA, GOLFO DE CALIFORNIA

Escalona-Alcázar, F.J. y Delgado-Argote, L.A.

Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Km 107 Carr. Tijuana-Ensenada, Ensenada 22830, B.C.

E-mail: escalona@cicese.mx

ldelgado@cicese.mx

RESUMEN

Se presenta una síntesis de la fotointerpretación litológica de la Isla Angel de la Guarda a escala 1:75 000 apoyada con una prospección a lo largo de la costa occidental y la cartografía a detalle de la zona El Paladar a escala 1: 30 000.

La litología interpretada en la isla es similar a la descrita entre San Luis Gonzaga y Bahía de Los Angeles. Incluye un basamento metamórfico Paleozoico y granítico Cretácico cubierto por una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias del Mioceno-Plioceno principalmente. La evolución de la isla ha seguido el patrón de evolución del Golfo de California después del Plioceno entre las inactivas Cuenca Tiburón y zona de fracturamiento Tiburón hasta las activas zona de fallamiento Ballenas y Cuenca Delfín.

En la zona El Paladar se describe una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias interestratificadas de probable edad Mioceno Medio a Tardío. En la mayor parte de la secuencia de esta zona la actividad volcánica ocurrió en un ambiente marino somero que formaría parte del proto-Golfo de California.

INTRODUCCIÓN

Asociadas a la subducción de la placa Farallón por debajo de la placa Norteamérica, durante el Oligoceno-Mioceno se formaron dos cinturones magmáticos paralelos en la margen occidental de México (Sawlan, 1991). El más antiguo lo constituyen las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, de 34 a 27 Ma (McDowell y Keiser, 1977), mientras que el más joven, de 24 a 11 Ma, aflora en la margen oriental de la península de Baja California (Sawlan, 1991).

El cese de la subducción (12.5 Ma) fue seguido por un proceso de extensión (Angelier *et al.*, 1981; Dokka y Merriam, 1982), que formó cuencas marginales en algunas porciones del actual golfo. La presencia de fauna marina en capas sedimentarias interestratificadas con depósitos de material volcánico indica que en estas cuencas incursionaron aguas de afinidad caribeña (Smith, 1991). Actualmente, la actividad volcánica se relaciona con la transición de rift continental a oceánico y con las cuencas extensionales del sistema transtensivo del Golfo de California (Sawlan, 1991). Además, son importantes las manifestaciones de actividad magmática a lo largo de las extensiones de las zonas de fractura en el Golfo, como la documentada frente a la costa de Santa Rosalía (Fabriol *et al.*, 1998) y de San Luis Gonzaga (Lonsdale, 1989). En la costa oriental de la Península, así como en algunas islas del Golfo de California, la actividad volcánica se ha desarrollado principalmente sobre un basamento granítico del Cretácico (Sawlan, 1991). El periodo extensional, correspondiente a la deformación del *Basin and Range*, fue seguido en el Plioceno por el desarrollo del sistema transforme San Andrés-Golfo de California.

Los estudios geológicos a detalle en las islas del Golfo de California son escasos y sólo destacan los efectuados en Isla Tortuga (Batiza, 1978) e Isla San Esteban (Desonie, 1992). Para la Isla Ángel de la Guarda, el único mapa geológico es el publicado por Gastil *et al.* (1975) a escala 1:250,000. En éste se cartografiaron nueve unidades litológicas, donde el basamento está formado por rocas metamórficas del Paleozoico y granitoides del Cretácico, el cual está cubierto principalmente por rocas volcánicas del Mioceno y Plioceno. Posteriormente, Delgado-Argote *et al.* (1995) hicieron un reconocimiento geológico a lo largo de la costa occidental de la isla, así como un estudio fotogeológico de la isla toda. Se reconocieron domos extrusivos y tobas de composición dacítico-latítica, derrames andesíticos y depósitos fluviales en la parte central y sur de la isla. En la parte norte son dominantes los derrames de composición andesítica y lahares, tobas y depósitos fluviales.

Con base en la interpretación de fotografías aéreas escala 1:75 000 y verificación de campo, en este trabajo se propone una estratigrafía de la Isla Ángel de la Guarda y se presentan los resultados de la cartografía a detalle de la zona El Paladar, localizada en la costa suroccidental de la isla (Figura 1).

RASGOS GEOLÓGICOS Y UNIDADES LITOLÓGICAS DE ISLA ANGEL DE LA GUARDA

La isla se caracteriza por la tendencia lineal que presenta la mayor parte de sus márgenes (Figuras 2 y 3). La costa occidental, así como la oriental entre Ensenada Tepetates y Punta El Pulpito son casi rectas, similares a la costa peninsular entre la bahía San

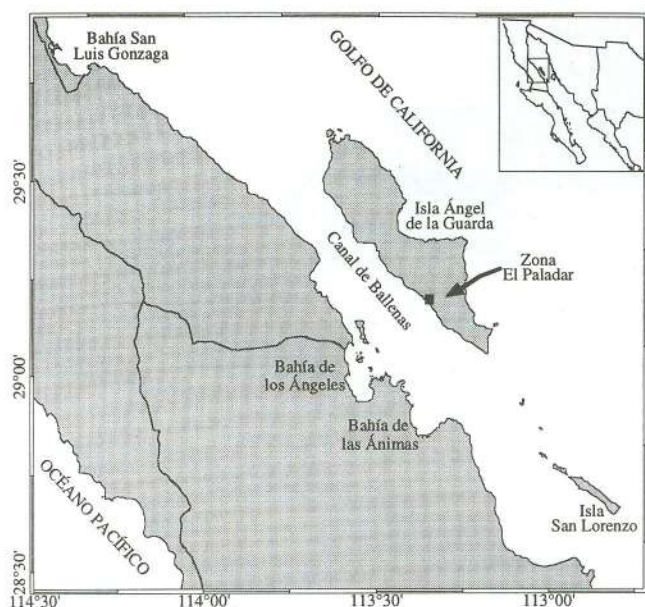


Figura 1. Mapa de localización de la Isla Ángel de la Guarda y la Zona El Paladar. La línea continua en la península muestra la carretera transpeninsular y desviación a Bahía de los Angeles.

Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles, cuya orientación es $N40^{\circ}W$, paralelas a la zona de falla transforme Ballenas (Figura 2). La costa suroriental, entre Punta del Diablo y Punta Las Cruces, tiene una marcada orientación N-S, paralela a la tendencia estructural de las zonas de subsidencia de corteza continental en márgenes de rift de la Cuenca Tiburón, actualmente inactiva (Figura 2). En la parte central de la isla, hacia el poniente de Punta del Diablo, la costa, orientada E-W, también es notablemente rectilínea, lo que sugiere una asociación tectónica. Entre Punta Los Machos y Punta del Diablo, la isla está separada en dos grandes bloques con características litológicas y estructurales distintas. En el bloque septentrional los lineamientos estructurales fotointerpretados muestran tendencias ortogonales con orientaciones hacia el NE y NW, mientras que en el bloque meridional las tendencias se orientan hacia N-S y NNE (Escalona-Alcázar, 1996). Se interpreta en este trabajo que las estructuras del bloque septentrional de la isla están más influenciadas por la cercana zona de fracturamiento Tiburón, mientras que el bloque meridional muestra más la influencia de los márgenes de la cuenca Tiburón, activa hasta antes de que se desarrollara la zona de falla Ballenas. La zona a partir de la cual se dividen los bloques está marcada por lineamientos orientados E-W y, en Punta Los Machos, por volcanismo basáltico del Plioceno (Gastil et al., 1975). Los lineamientos estructurales de la costa occidental muestran tendencias dominantes hacia el NW, paralelas a la costa y a la zona de fallamiento Ballenas, que enmascaran a estructuras más antiguas. La actividad tectónica más reciente de la margen occidental de la isla desarrolla escarpes más abruptos que los de la margen oriental, en donde las playas son extensas.

La interpretación litológica de la isla se realizó utilizando fotografías aéreas en blanco y negro del INEGI (1989) escala 1:75,000, para lo que se utilizaron los siguientes criterios: tono de

gris, drenaje, ubicación con respecto a las unidades adyacentes y textura. En la Zona El Paladar se describió la secuencia estratigráfica y, con muestras representativas de las unidades, se realizó un análisis petrográfico. Lo anterior, junto con las observaciones realizadas a lo largo de la costa occidental de la isla, permitió establecer una secuencia estratigráfica de la isla.

UNIDADES REGIONALES

La interpretación fotogeológica de la Isla Ángel de la Guarda permitió diferenciar 11 unidades litológicas a las que aquí se les da el carácter de regional y que comprenden desde el basamento Paleozoico y Cretácico, hasta los depósitos sedimentarios sin consolidar del Reciente. Estas unidades litológicas se presentan de manera resumida y en orden estratigráfico en la Figura 3, según se describen a continuación.

- Basamento granítico o metamórfico.** Estas rocas cristalinas sólo afloran en la parte centro-sur y el extremo norte de la isla, principalmente en la base de los arroyos o cercanas al nivel del mar donde la erosión es más acentuada. Se caracterizan por tener un drenaje pobremente desarrollado. Los afloramientos interpretados corresponden en gran parte a las unidades que Gastil et al. (1975) definieron como rocas metamórficas y graníticas del Cretácico. Las muestras de rocas graníticas analizadas son principalmente de composición tonalítica sin magnetita. En esta unidad son comunes los diques de composición andesítica, mientras que en las rocas de la costa occidental, los diques pegmatíticos son abundantes.
- Depósitos piroclásticos meridionales.** Esta unidad de aspecto masivo no presenta estratificación aparente; sólo aflora en la parte sur de la isla, donde desarrolla un drenaje dendrítico. Varía composicionalmente desde andesita hasta riolita, y Gastil et al. (1975) la ubican en el Mioceno. Es probable que esta unidad sea correlacionable con la toba pumicítica de la cima de la secuencia de El Paladar (Figura 4).
- Depósitos piroclásticos masivos.** Estas rocas están ampliamente distribuidas en las partes altas del bloque septentrional. Muestran una pobre estratificación y desarrollan un drenaje dendrítico. Aunque no se identificaron en el campo, se infiere que descansan directamente sobre el basamento.
- Lahares.** Los depósitos de lahares son muy abundantes en el bloque septentrional de la isla. Presentan un drenaje dendrítico bien desarrollado y no se observa estratificación. En la costa noroccidental se observa que los constituyentes principales son de andesita y de tobas líticas de hasta 1 m de diámetro.
- Tobas.** Con este nombre se agrupa a una serie de unidades ampliamente distribuidas en toda la isla. Presentan un relieve típicamente abrupto con estratificación bien desarrollada. Por su textura se interpreta que la mayor parte de la serie está formada por cenizas de grano fino. Su distribución corresponde en buena medida con la Unidad Volcánica Indiferenciada del Mioceno definida por Gastil et al. (1975). En varios lugares a lo largo de la costa occidental se observó

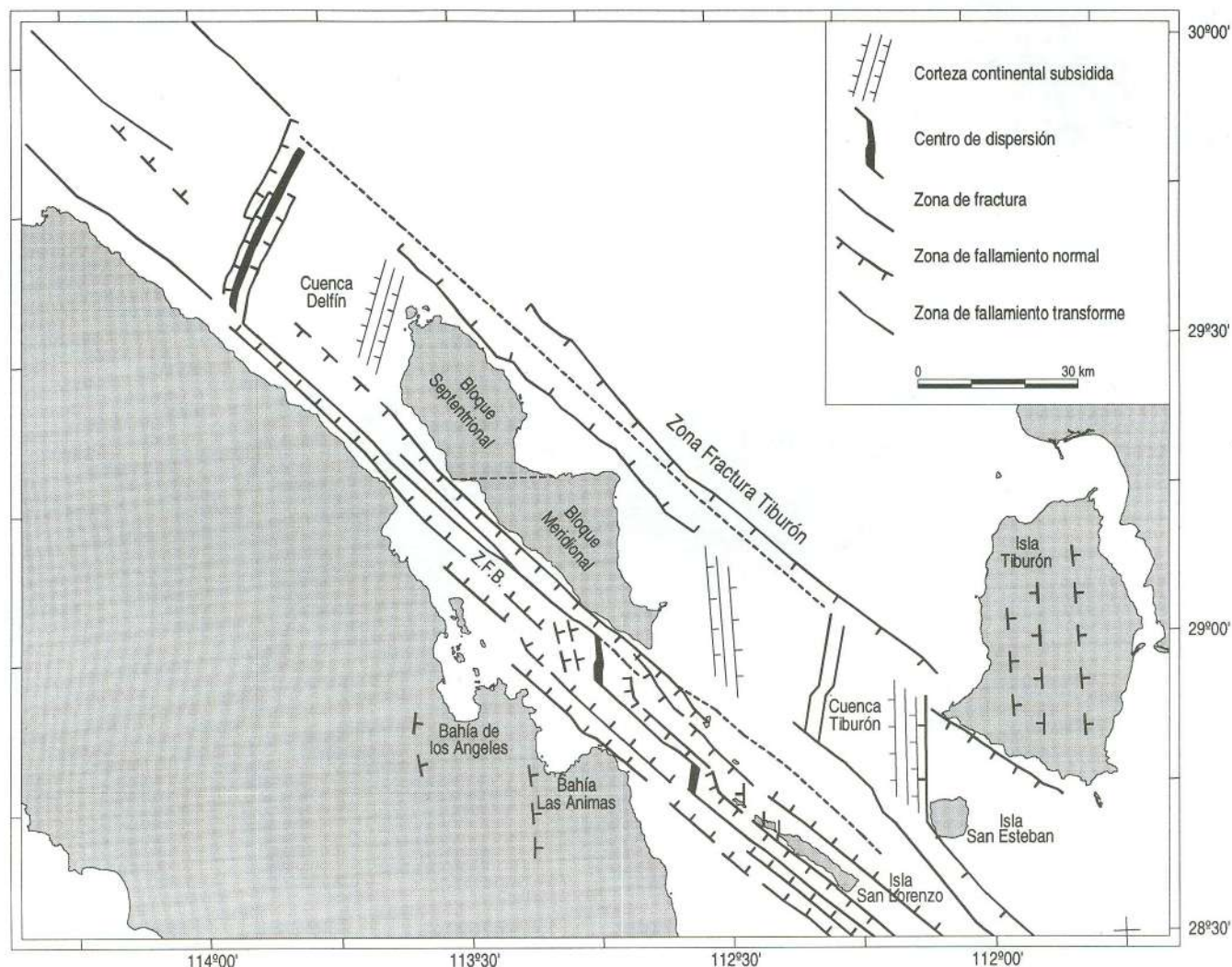


Figura 2. Mapa tectónico de la región de las grandes islas del Golfo de California. Se muestran los rasgos estructurales principales que rodean a la Isla Ángel de la Guarda (modificados de Lonsdale, 1989). Los centros de dispersión activos están indicados con relleno negro y la inactiva Cuenca Tiburón se muestra con líneas paralelas. Z.F.B. es Zona de Fallamiento Ballenas.

que estas rocas descansan sobre derrames y domos de composición dacítica y andesítica y aglomerados. Esta unidad es correlacionable con las tobas vítrea y lítica, areniscas y parte de las lavas cartografiadas en la zona El Paladar (Figura 4).

f. Derrames de basalto y andesita. Estas unidades lávicas están ampliamente distribuidas en la isla e incluyen derrames interpretados como del Mioceno y Plioceno (Gastil et al., 1975). Presentan un drenaje pobremente desarrollado. Aunque en algunos lugares las lavas se encuentran sobre la unidad de tobas, como en la zona El Paladar (Figuras 3 y 4), en algunos otros pueden representar la base de las secuencias de los depósitos piroclásticos masivos. En este último caso, los afloramientos de lavas son alargados y pueden observarse en las partes bajas de cañones profundos. No obstante que su identificación es fácil, su posición estratigráfica y correlación con otros derrames no es siempre clara. En Punta Los Machos (Figura 2) la mayor parte de los derrames están brechados y

su composición es andesítica. Gastil et al. (1975) interpretaron los derrames de esta localidad como de edad Plioceno.

g. Depósitos piroclásticos septentrionales. Estos depósitos sólo afloran en la parte nororiental de la isla, por lo que no han sido descritos en el campo. No muestran rasgos de estratificación claros, cubren parcialmente a las unidades de Tobas y Derrames de basalto y andesita y en ellos se desarrolla un drenaje dendrítico bien integrado.

En el mapa geológico de Gastil et al. (1975) está definida una unidad de rocas sedimentarias marinas del Plioceno, cuyos afloramientos se distribuyen ampliamente en toda la isla. En este trabajo, siguiendo el criterio de grado de consolidación aparente, esta unidad se dividió en terrazas marinas y depósitos sedimentarios marinos, pues los afloramientos del extremo suroriental parecen ser más competentes que los depósitos del norte de la isla.

h. Terrazas marinas. Estas unidades de la porción sur de la isla

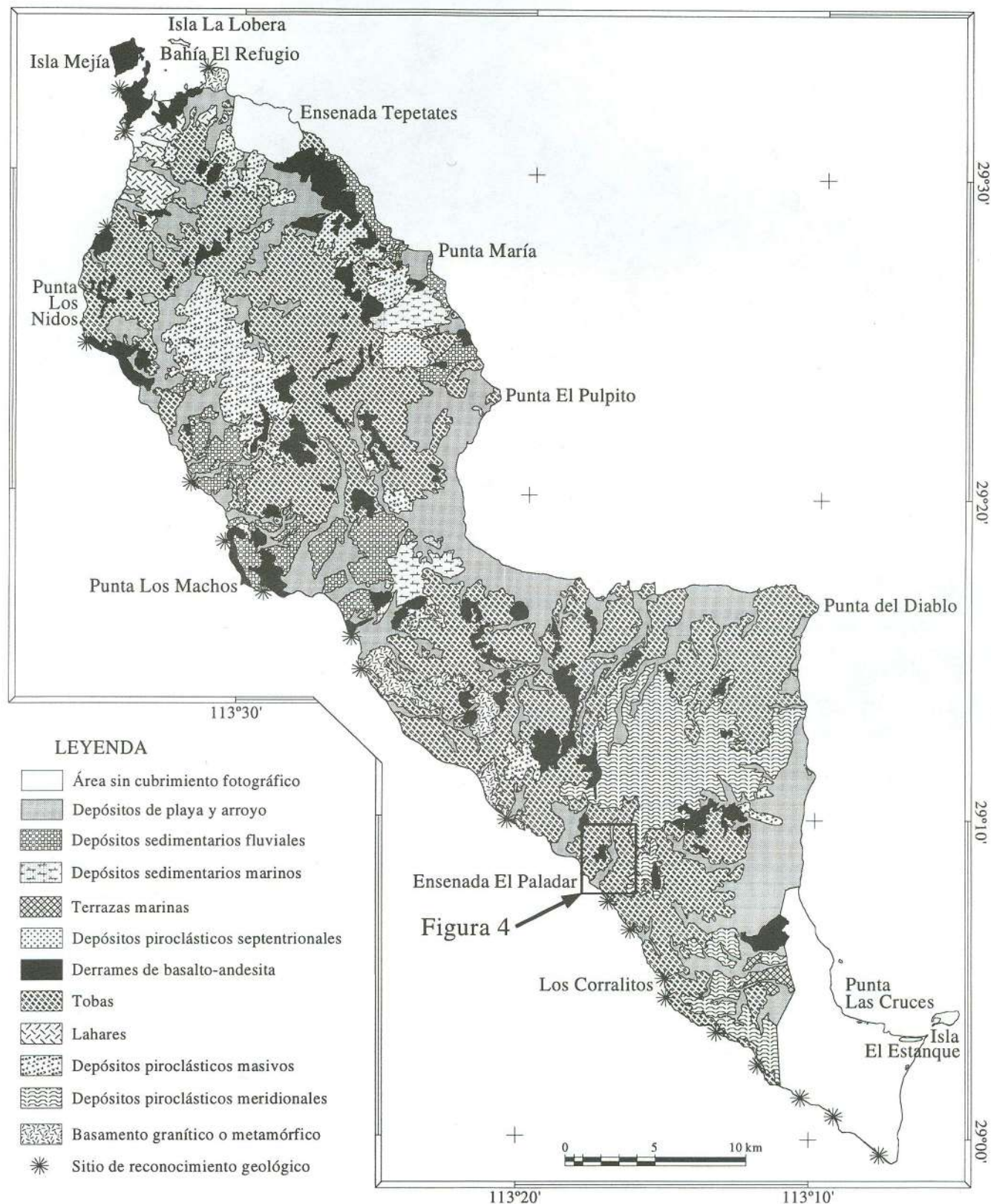


Figura 3. Mapa fotolitológico de la Isla Angel de la Guarda. La posición de las unidades litológicas indica la secuencia estratigráfica sugerida, excepto para la unidad de Derrames de Basalto-Andesita, la cual se presenta en diferentes niveles, cubriendo un rango de edad desde el Mioceno hasta el Plioceno. Se ubican la zona de cartografía de detalle de El Paladar y los sitios de reconocimiento a lo largo de la costa.

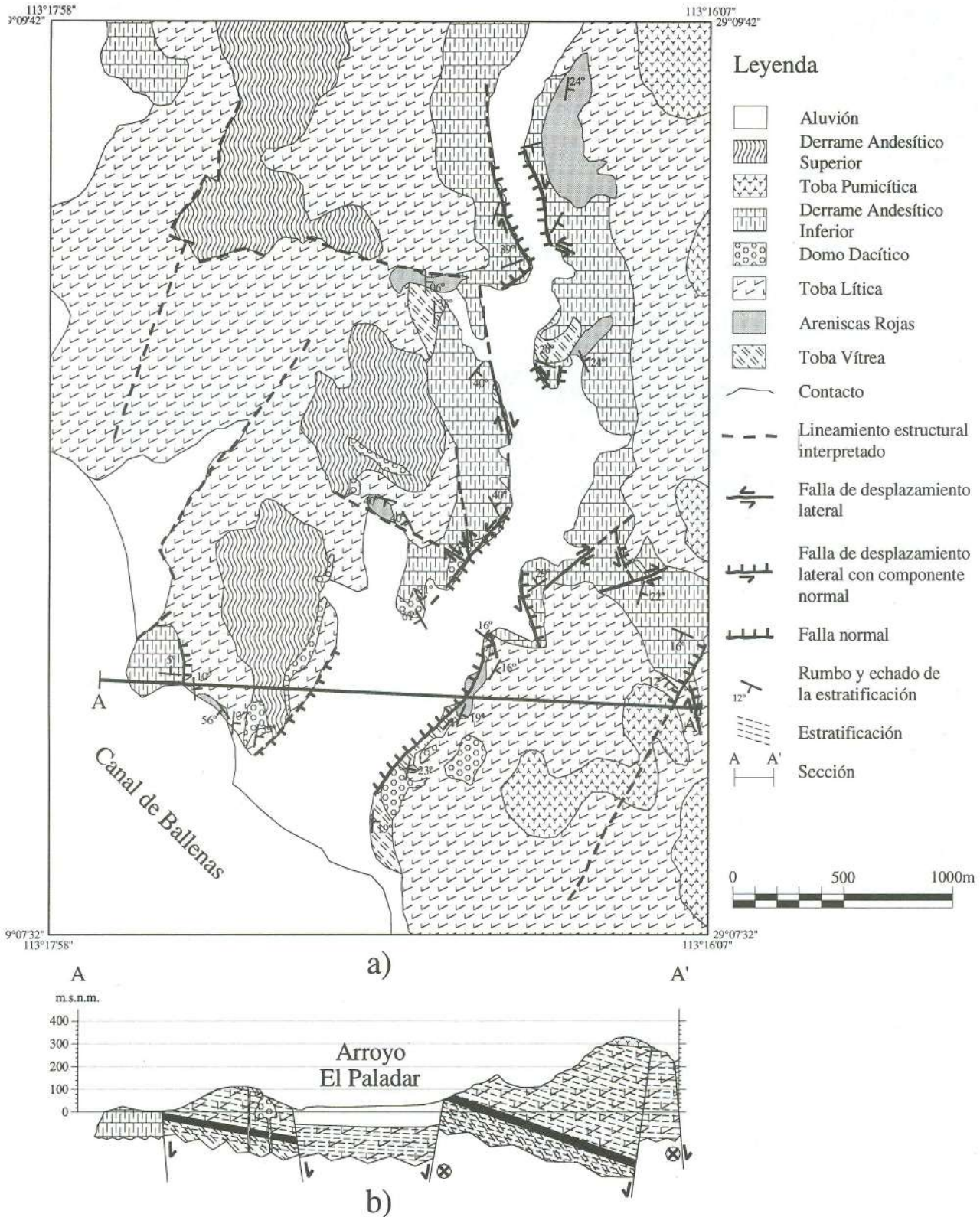


Figura 4. Mapa geológico de la Zona El Paladar; las unidades litológicas se muestran en orden estratigráfico. Se infiere que la Toba Vítrea descansa sobre andesita, la que pudo observarse cerca de la zona a lo largo de la costa. b) Sección estructural a través del arroyo El Paladar con las escalas vertical y horizontal iguales. Las fallas que tienen movimiento con componente de desplazamiento paralelo al plano de falla se indica con una cruz, que muestra el bloque que se aleja del observador.

muestran estratificación y aparentemente están bien consolidadas. Desarrollan un drenaje pobremente integrado y su textura en las fotografías aéreas es "sacaróide".

- i. Depósitos sedimentarios marinos. Estos depósitos agrupan a todas las unidades sedimentarias no consolidadas del norte de la isla que no ocupan los cauces de los arroyos o las playas. Desarrollan un drenaje dendrítico más denso y mejor integrado que el observado en las Terrazas Marinas.
- j. Depósitos sedimentarios fluviales. Estos depósitos afloran ampliamente en la parte central y norte de la isla y, por su distribución, parecen ser abanicos aluviales parcialmente erosionados. Desarrollan un drenaje dendrítico bien integrado, debido a su estado pobremente consolidado. Los afloramientos de esta unidad son equivalentes a la Unidad Sedimentaria Fluvial definida por Gastil et al. (1975). En Punta Los Machos y hacia el norte, se observó que estos depósitos están constituidos por arenisca gruesa, arenisca conglomerática y conglomerado. Los fragmentos de roca son de granito, esquisto, ignimbrita, andesita, basalto y tobas. Su edad puede ser Plio-Pleistoceno y su estratificación buzante 8° hacia el occidente en el bloque meridional de la isla, y de 25° hacia el suroriente en el septentrional, sugiere que la isla ha sufrido basculamiento diferencial entre bloques. En la parte sin cobertura fotográfica también afloran estos depósitos.
- k. Depósitos de playa y arroyo. Esta unidad agrupa a todos los sedimentos del Cuaternario localizados a lo largo de las playas y arroyos.

ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA EL PALADAR

En la Zona El Paladar se cartografiaron siete unidades litológicas en mapas a escala 1: 30 000 (Figura 3). Durante el trabajo de campo se colectaron muestras representativas de las

unidades para su análisis petrográfico. Esta zona se escogió por su fácil acceso y porque a lo largo del arroyo se tiene una exposición de la secuencia volcánica. Además, es representativa de la mitad meridional de la isla pues en ella afloran rocas de distribución muy amplia (Figuras 3 y 4). A continuación, se presenta la descripción de las unidades cartografiadas, con base en los datos de campo y el resultado del análisis petrográfico. Los análisis modales de las rocas volcánicas se presentan en la Tabla 1 y los de las rocas sedimentarias en la Tabla 2.

La base de la secuencia de El Paladar está constituida por una *Toba Vítrea* de color blanco. Se caracteriza por estar formada por horizontes de 2 a 15 cm de espesor que ocasionalmente, alcanzan hasta los 30 cm. Muestra una gradación normal y alternancia rítmica de horizontes líticos, pumicíticos y de ceniza re trabajados, con incremento en el contenido de pómez hacia la parte superior del depósito. El tamaño de grano varía de ceniza a lapilli. Ocasionalmente presenta estratificación cruzada pobremente desarrollada que sugiere que su depósito ocurrió en un ambiente lagunar somero que promovió una buena clasificación de los fragmentos constituyentes. La base de esta unidad no se observa pero, al igual que en otros lugares de la costa occidental, se infiere que descansa sobre derrames andesíticos.

La unidad anterior está cubierta por capas de *Areniscas Rojas*. Su distribución es amplia y su espesor máximo es de 40 m. Las areniscas están constituidas por horizontes que varían de 1 a 10 cm de espesor que muestran una consolidación que varía de moderada a alta. El análisis granulométrico indica que el tamaño de grano varía de arena fina a media, con formas subangulares a subredondeadas. Los fragmentos líticos son de andesita, granito, esquisto máfico y cuarcita. La matriz es de arcilla rojiza con concentraciones que varían entre el 3% y el 15%, mientras que el cementante es de sílice principalmente, con calcita o hematita en menor cantidad. En algunas zonas

Tabla 1. Análisis modal de rocas ígneas de la Zona El Paladar

Unidad	#	Mz		Plag		Cuarzo		Bio		Hb		Px	FLt		Pmz	Esf		Op	M.S.	Ves	Textura
		%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	%		
Derrame Andesítico 2	31	80vd	10	600	x													3	2	6	Hialofítica
	32	61vd	7	480	x	150	x		x		x					24	750	2	x	6	Esferulítica
Toba Pumicítica	16	75.3	2	195	x											22		x		1	Fragmental
	17	25v	3	150	x								1		73d		x				Vitroclástica
Derrame Andesítico 1	1	95v	5	870														x			Hipohialina
	7	92a	7c	847							x							1	x		Pilotaxítica
	13	83vd	11c	450			x	270	5	300	x					x		1			Perlitica
	18	74	18c	300					5	750	1							x			Seriada
	21	63vda	10	1005	1	25					x							3	23		Hipohialina
	22	68vda	13	825	1	330												4	13	1	Hialofítica
Domo Dacítico	3	85vd	5c	800								1				9	900	x			Perlitica
	30	90vd	10	664								x									Hipohialina
	34	63vd	16c	870	x		4	90	7	105								x		9	Hipohialina
Toba Lítica	27	43	17	307	2	105	7	130	1	172			5	450				2		23	Fragmental
	29	67va	8	120	5	120	x						7	150				x	8	5	Fragmental
	14	47v	3	390	x	225							5					x			Vitroclástica
	26	51vd	14c	390	2	187	4	87	x				10	900				2	x	17	Fragmental
Toba Vítreo	2	75va	12c	160	5	142	1	267					3	300				x	1	3	Fragmental

Abreviaturas en la tabla: # = número de muestra, % = porcentaje, φ = tamaño en micrómetros, Mz = matriz, Plag = plagioclasa, Bio = biotita, Hb = hornblenda, Px = piroxeno, FLt = fragmentos líticos, Pmz = pómez, Esf = esferulitas, Op = minerales opacos, M.S. = minerales secundarios, Ves. = vesículas, a = alteración hidrotermal, c = plagioclasas corroídas, d = desvitrificación, v = matriz vítrea y x = abundancia <1%.

Tabla 2. Análisis modal de rocas sedimentarias de la zona El Paladar

Unidad	#	Qm		Op		k		Plg		Lv		Lm		Bio		Qn	Poros	Cem.	M.P.	Mz	Red.	Clas. Text.	Etapa Mad.	T. Roca
		%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ	%	φ									
Horizonte de Areniscas Rojas	24	30	315	15	690	x	345	7	300	5	480	4	600	x	450	5	4	15	x	15	SA-A	P. Clas.	Inm.	Waka Lit.
	25	12	630	10	1620	x	300	7	825	40	4750	7	700	x	300	1	11	12		3	SA-SR	P. Clas.	Subm.	Litarenia Cgl.
	28	6	570	11	855			12	615	12	975	1	1350				13	30	x	15	SA-SR	P. Clas.	Inm.	Waka Lit.
	33	26	300	6	300	1	300	9	345	2	525	5	495	1		2	12	30	x	6	SA	P. Clas.	Inm.	Arenita Lit.
	23	16	315	2	225			4	240	7	450	1	300	x	300		42	13		15	A-SA	P. Clas.	Inm.	Waka Lit.
	35	18	112	4	140			4	140	2	161	x	154	21	990	1	4	30		15	SA	P. Clas.	Inm.	Waka Fld

Abreviaturas en la tabla: #= número de muestra, %= porcentaje, φ= tamaño en micrómetros, Qm= cuarzo monocristalino, Qp= cuarzo policristalino, k= feldespato potásico, Plg= plagioclasa, Lv= líticos volcánicos, Lm= líticos metamórficos, Bio= biotita, Op= minerales opacos, Poros.= porosidad, Cem.= cementante, M.P.= minerales pesados, Mz= matriz, Red.= redondeamiento, Clas. Text.= clasificación textural, Etapa Mad.= etapa de maduración, T. Roca= tipo de roca, A= angular, Cgl.= conglomerática, Fld= feldespática, Inm.= inmadura, Lit.= lítica, P. Clas.= pobremente clasificada, SA= subangular, SR= subredondeado, Subm.= submadura y x= abundancia <1%.

esta unidad se encuentra parcialmente cubierta por un derrame andesítico e interestratificada con una toba lítica, mismos que se describirán adelante. La zona de interestratificación con la *Toba Lítica* tiene un espesor aproximado de 5 m. Esta zona se caracteriza por la presencia de capas de arenisca de aproximadamente 10 cm de espesor, mientras que las de toba varían de 30 a 40 cm. Ocasionalmente, la arenisca de la zona de contacto contiene fragmentos de toba. Se observaron sitios donde algunas grietas en las areniscas están rellenas con fragmentos de toba de ceniza fina, lo que indica periodos de inundación durante los cuales el material tobáceo superior se transportó y depositó sobre las areniscas. La *Toba Lítica* es de color rosado y en su mayor parte es rica en fragmentos líticos y de pómez. Los fragmentos de pómez son escasos en la base y se incrementan hacia la parte superior de la unidad. La matriz es ligeramente menos vítrea que la de la *Toba Vítrea* y en algunos sitios puede estar silicificada y argilitizada. En la parte medio oriental del arroyo esta unidad está cortada por canales rellenos de depósitos de lahares.

Cerca de la boca del arroyo las unidades anteriores están cortadas por una asociación de derrames y diques pertenecientes a un *Domo Dacítico* (Figura 4). Estas rocas de aspecto vitrofírico se distribuyen localmente formando pequeños domos extrusivos cuya coloración característica varía de negro a negro verdoso. En la zona de contacto con las areniscas y tobas anteriores la dacita desarrolla una textura esferulítica al emplazarse en un medio saturado de agua. El contenido de esferulitas disminuye gradualmente hasta una distancia aproximada de 5 m, a partir de la cual predomina la textura perlítica. Es común que en algunas zonas de contacto se desarrolle una zona de mezcla mecánica en la que clastos de hasta 50 cm de diámetro del vitrófiro dacítico se mezclan con tobas y areniscas.

Cubre parcialmente a las areniscas una unidad definida como *Derrame Andesítico Inferior*. Su coloración es rosada a gris y composicionalmente varía de dacita a andesita. Este derrame aflora ampliamente en ambos lados del arroyo y su forma alargada sugiere que pudo haberse emplazado a lo largo de una zona de fracturamiento. El desarrollo de estructuras de flujo plegadas indican una viscosidad alta. Entre los planos de flujo es común el desarrollo de texturas esferulíticas y vesículas. Localmente puede tener hasta 30 m de espesor. En una amplia zona de la parte central del área cartografiada donde aflora esta unidad se observa una zona de oxidación en la que es común que se desarrollen fracturas de tensión que son rellenas por arenisca cementada por sílice. Además, se reconocieron sitios

con estructuras de flujo vertical rodeados por zonas de oxidación y de mezcla mecánica con las unidades inferiores que aparentemente definen conductos por donde parte de estos derrames fueron extrudidos. Se interpreta que el emplazamiento de esta unidad de lavas viscosas ocurrió en una zona saturada de agua en donde se desarrolló un campo local con intensa circulación hidrotermal que fluidizó a los sedimentos aun sin consolidar de la *Areniscas Rojas*, las cuales rellenan las fracturas en un movimiento ascendente. Estos diques de arenisca son de hasta 10 cm de espesor y su longitud puede alcanzar varias decenas de metros.

Le sobreyace a la *Toba Lítica* una *Toba Pumicítica* que aflora en las partes altas de los cerros del área de estudio. Se estima que su espesor es superior a los 20 m. Se caracteriza por su alto contenido de pómez (hasta 73%) en fragmentos de tamaño de lapilli que ocasionalmente se encuentran ligeramente soldados. Desarrolla una textura eutaxítica y localmente, esferulítica. Los horizontes esferulíticos alcanzan los 20 cm de espesor y se restringen a los 3 primeros metros del contacto inferior. Dichos horizontes se encuentran intercalados con horizontes ricos en cristales y pómez.

En la parte occidental del arroyo aflora un derrame de lavas similar, tanto composicional como texturalmente, al *Derrame Andesítico Inferior* (Tabla 1). En vista de que ocupa una posición estratigráfica más alta, en este trabajo se le identifica como *Derrame Andesítico Superior*.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La litología de la Isla Angel de la Guarda es similar a la descrita en la región de Bahía de los Angeles (Delgado-Argote y García-Abdeslem, 1998) y a la cartografiada entre San Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles (Gastil et al., 1975). Se interpreta una columna estratigráfica formada por un basamento metamórfico del Paleozoico y granítico del Cretácico, sobre el que se deposita una serie de rocas volcánicas efusivas y explosivas cuyas composiciones varían de andesítica a riolítica, entre las que se interestratifican unidades sedimentarias marinas. Por comparación con la secuencia de Bahía de los Angeles, se supone que el rango de edad más probable para la secuencia volcánica y sedimentaria es Mioceno Medio a Mioceno Tardío.

La distribución de las unidades litológicas interpretadas a partir de fotografías aéreas, así como algunos rasgos estructurales

regionales y la morfología costera, sugieren que la isla está formada por dos grandes bloques. La margen oriental del bloque septentrional y extremo sur del meridional deben su forma y deformación a la evolución de la zona de fractura Tiburón y Cuenca Tiburón, respectivamente. Esta cuenca es prácticamente inactiva desde hace cerca de un millón de años, al iniciar el desarrollo de la zona de falla Ballenas (Lonsdale, 1989), la cual es responsable de la mayor actividad tectónica actual en la margen occidental de la isla. Por su parte, la costa noroccidental del bloque septentrional muestra un marcado paralelismo con las estructuras internas de falla de la Cuenca Delfín, lo que sugiere una relación directa.

De la comparación entre la litología fotointerpretada de la isla y la cartografiada en la Zona El Paladar, sólo dos unidades tienen correspondencia. La aparente falta de correlación entre las unidades interpretadas y las cartografiadas se debe a la diferencia de escalas a las que fueron realizados los trabajos. De la comparación del mapa geológico de El Paladar (Figura 4) con el fotolitológico, se observa que las unidades cartografiadas como *Toba Lítica*, *Toba Vítrea*, *Areniscas Rojas*, *Domo Dacítico* y parte del *Derrame Andesítico Inferior*, en conjunto, corresponden a la unidad de Tobas de la Figura 3. A esta unidad, Gastil *et al.* (1975) la definieron como una Unidad Volcánica Indiferenciada del Mioceno de rocas andesíticas, dacíticas o riolíticas. La unidad interpretada como Derrames de Basalto-Andesita en la Figura 3 corresponde al *Derrame Andesítico Superior* de la Zona El Paladar. En el mapa de Gastil *et al.* (1975) no aparecen los derrames lávicos identificados y cartografiados en la Zona El Paladar. Esos autores indican que los afloramientos de las unidades basálticas se encuentran distribuidos en la parte central de la isla y en escasos afloramientos en el sur, lo cual contrasta con la amplia distribución mostrada en la Figura 3.

Se interpreta que la secuencia volcánica y sedimentaria es de edad Mioceno, al igual que secuencias similares cercanas a la isla Ángel de la Guarda (Gastil *et al.*, 1979; Delgado-Argote y García-Abdeslem, 1998). En la zona de El Paladar, la gradación normal, la presencia de estratificación cruzada y capas de ceniza re trabajadas con alternancia rítmica de estratos de diferente composición en la *Toba Vítrea*, sugieren que la actividad volcánica se realizó en pulsos de diferente intensidad y que el depósito se efectuó en un ambiente de laguna marginal o mar somero de baja energía. La caída del material volcánico en el agua produjo la gradación normal del material piroclástico (Ledbetter y Sparks, 1979; Ninkovich *et al.* 1978). En esta cuenca se depositaron los horizontes de *Areniscas Rojas* durante periodos de calma de la actividad volcánica. El depósito de las areniscas continuó hasta que se reinició la actividad volcánica y se depositó la base de la *Toba Lítica*. La parte superior de esta última unidad indica un depósito aéreo que sugiere que la cuenca fue rellenada, o bien, que los cuerpos de agua desaparecieron durante la actividad volcánica.

Las texturas y estructuras, tanto del *Domo Dacítico*, como del *Derrame Andesítico Inferior*, muestran que su emplazamiento ocurrió en un ambiente rico en agua, aunque no existen

evidencias que indiquen que los derrames se hayan emplazado en cuerpos de agua. Los conductos alimentadores de la unidad de andesita, al atravesar las areniscas ricas en agua, formaron una amplia zona de oxidación asociada con la convección provocada por el magma al entrar al ambiente lagunar. La fluidización de los sedimentos inyectados en las fracturas de la andesita se debe al calentamiento y presurización, que además pudo haber producido hidrofracturamiento (Smellie *et al.*, 1998).

Una de las aportaciones más importantes de este trabajo es el reconocimiento de los depósitos sedimentarios interestratificados con rocas volcánicas. Si el conjunto volcanosedimentario es de edad Mioceno, entonces la Zona de El Paladar representa una localidad adicional donde afloran rocas que representan una porción del proto-Golfo de California. En la parte centro occidental de la isla se fechó por el método K-Ar una dacita en 18 Ma que infrayace a tobas (Delgado-Argote *et al.*, 1997) que puede ser correlacionable con la secuencia de El Paladar y que, junto con una andesita con horizontes intercalados de conglomerados y areniscas de 18.8 Ma de la Sierra Las Animas (Delgado-Argote *et al.*, 1997), en la región de Bahía de los Angeles, representarían las unidades litológicas más antiguas en las que se tienen evidencias de incursión marina.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado parcialmente con fondos del CICESE y del CONACyT (1004-T9111). Agradecemos a los compañeros y amigos de Bahía de Los Angeles por el apoyo logístico durante el trabajo en la isla, así como a Juan Sidón y Martín Díaz de la embarcación Atenea por su profesional y paciente apoyo durante el reconocimiento a lo largo de las costas. A Beatriz Martín y Héctor Romero por sus comentarios y sugerencias sobre el manuscrito y a Víctor M. Frías Camacho por su ayuda en la edición de los mapas. A Héctor Romero y Jorge Ledezma por sus atinados comentarios en el arbitraje.

REFERENCIAS

- Angelier, J., Colletta, B., Chorowicz, J., Ortlieb, L., and Rangin, C., 1981, Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the opening of the Sea of Cortez, Mexico, *Journal of Structural Geology*, v. 3, no. 4, p. 347-357.
- Batiza, R., 1978. Geology, petrology, and geochemistry of Isla Tortuga, a recently formed tholeiitic island in the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin* 89, 1309-1324.
- Delgado-Argote, L.A., Castrejón-González, I., Escalona-Alcázar, F.J. y Mendoza-Borunda, R., 1995, Reconocimiento estructural y litológico de la margen occidental de la Isla Ángel de la Guarda e interpretación fotogeológica; GEOS, Unión Geofísica Mexicana, Boletín Informativo, Resúmenes y Programas de la Reunión Anual 1995, Vol. 15, No. 2, p. 105.
- Delgado-Argote, L.A. and García-Abdeslem, J., 1998, Shallow Miocene basaltic magma reservoirs in the Bahía de los Angeles

- Basin, Baja California, Mexico, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (en prensa).
- Delgado-Argote, L.A., López-Martínez, M. y Escalona-Alcázar, F., 1997, Geoquímica y geocronología del volcanismo de Bahía de los Angeles-Isla Angel de la Guarda, IV Reunión Internacional Sobre Geología de la Península de Baja California, Sociedad Geológica Peninsular.
- Desonie, D.L., 1992, Geologic and geochemical reconnaissance of Isla San Esteban: post-subduction orogenic volcanism in the Gulf of California, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 52, p. 123-140.
- Dokka, R.K. and Merriam, R.H., 1982, Late Cenozoic extension of the northeastern Baja California, Mexico, *Geological Society of America Bulletin*, v. 93, p. 371-378.
- Escalona-Alcázar, F.J., 1996, Estratigrafía volcánica y deformación neogénica de la zona El Paladar, costa SW de la isla Angel de la Guarda, Golfo de California, Escuela de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad Autónoma de Zacatecas, 45 pp.
- Fabrial, H., Delgado-Argote, L.A., Dañoibeitia, J.J., Córdoba, D., González, A., García-Abdeslem, J., Bartolomé, R., Martín-Atienza, B. and Frías-Camacho, V.M., 1998, Backscattering and geophysical features of volcanic rifts offshore Santa Rosalia, Baja California Sur, Gulf of California, Mexico, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Special Issue "Rift-related Volcanism: Geology, Geochemistry and Geophysics" (sometido).
- Gastil, R.G., Phillips, R.F., Allison, E.C., 1975, Reconnaissance Geology of the State of Baja California, *Geological Society of America, Memoir* 140, 170 pp.
- Gastil, R.G., Krummenacher, D., and Minch, J., 1979, The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California, *Geological Society of America Bulletin*, v. 90, p. 839-857.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1989, Fotografías aéreas de la Isla Angel de la Guarda, líneas 34, 35, 36 y 37 de la zona H12-7, escala 1: 75 000.
- Ledbetter, M.T., and Sparks R.S.J., 1979, Duration of large-magnitude explosive eruptions deduced from grade bedding in deep-sea ash layers, *Geology*, v. 7, p. 240-244.
- Lonsdale, P., 1989, Geology and tectonic history of the Gulf of California, *in*: E.L. Winterer, D.M. Hussong, and R.W. Decker, eds., *The Eastern Pacific Ocean and Hawaii*, *Geological Society of America, The Geology of North America*, v. N, p. 499-521.
- McDowell, F.W. and Keiser, R.P., 1977, Timing of Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, México, *Geological Society of America Bulletin*, v. 88, p. 1479-1487.
- Ninkovich, D., Sparks, R.S.J. and Ledbetter, M.T., 1978, The Exceptional Magnitude and Intensity of the Toba Eruption, Sumatra: An Example of the Use of Deep-sea Tephra Layers as a geological Tool, *Bulletin of Volcanology*, v. 41-3, p. 286-298.
- Sawlan, M.G., 1991, Magmatic evolution of the Gulf of California Rift; *in*: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, eds., *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 47, p. 301-369.
- Smellie, J.L., Millar, I.L., Rex, D.C. and Butterworth, P.J., 1998; Subaqueous, basaltic lava dome and carapace breccia on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica, *Bulletin of Volcanology*, v. 59, p. 245-161.
- Smith, J.T., 1991, Cenozoic marine mollusks and paleogeography of the Gulf of California, *in*: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, eds., *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 47, p. 447-480.

PROGRAMACIÓN PARALELA EN ESTACIONES DE TRABAJO DE UN MODELO NUMÉRICO DE UN ACUÍFERO CONFINADO RESUELTO POR ELEMENTO FINITO

José Gómez-Valdés y Roberto Soto-Amador
CICESE, Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B. C., México

RESUMEN

Con la finalidad de analizar el rendimiento del paquete Parallel Virtual Machine (PVM) en un red local de estaciones de trabajo con poder de cómputo heterogéneo, se presenta un ejercicio de programación paralela. Se trabaja con un modelo matemático de un acuífero confinado homogéneo isotrópico con flujo en una dimensión. Se usa el método de elemento finito para discretizar el dominio del flujo en elementos rectangulares y se resuelve numéricamente la ecuación diferencial parcial que describe el flujo en el acuífero, utilizando el método de Galerkin. Se obtiene un sistema de ecuaciones algebraicas que se resuelven con métodos iterativos. Se hace un programa para computadora en lenguaje C para cada método iterativo usado. Se diseña al algoritmo paralelo según el paradigma maestro-esclavo. En el caso del método de Jacobi, bastó con descomponer el dominio en partes iguales para obtener una eficiencia aceptable. En cambio con el método de Gauss-Seidal, además de hacer descomposición del dominio resultó necesario paralelizar el avance de las iteraciones. Aunque la red local que se utilizó en este trabajo es de uso múltiple y no fue diseñada para hacer cómputo paralelo, se encuentra lo esperado, esto es, la salida del código paralelo es igual a la salida del código secuencial y se reduce significativamente el tiempo de ejecución al incrementar el número de computadoras. Con el uso del método de Gauss-Seidal se alcanza una aceleración más alta que con el método de Jacobi.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Construir un sistema de ecuaciones algebraicas según el método de elemento finito a partir de un modelo matemático del flujo de agua dependiente del tiempo en un acuífero confinado, el cual consiste de un dominio rectangular de material poroso en un flujo saturado, homogéneo, isotrópico y de fondo rocoso e impermeable. Implantar en lenguaje de programación C el algoritmo secuencial. Enseguida, con el uso del paquete PVM (Parallel Virtual Machine) hacer un programa en C que se ejecute en paralelo en estaciones de trabajo en redes locales. La solución numérica del algoritmo paralelo y del algoritmo secuencial deberán de ser idénticas. Medir la eficiencia tanto del algoritmo paralelo como de la red local.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático de agua subterránea en un acuífero se obtiene a partir del principio de conservación de masa y de la ley de Darcy. Si se tiene que el agua subterránea es incompresible, conservación de volumen se obtiene de la igualdad entre el volumen de agua que sale del acuífero y el volumen de agua que entra más la razón en la cual el nivel de agua cambia con el tiempo. La ley de Darcy, por otro lado, establece que la razón de flujo de volumen por unidad de área es directamente proporcional al gradiente hidráulico. La constante de proporcionalidad es la conductividad hidráulica del medio, que depende del tipo de material que conforma el acuífero.

Aplicando la ley de Darcy y conservación de volumen en el caso de un acuífero confinado homogéneo e isotrópico con flujo bidimensional variable en el tiempo, sin fuente de carga o descarga, se obtiene

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (1)$$

donde $h(x,y,t)$ es la carga hidráulica, x , y son las coordenadas cartesianas, t el tiempo, S es el coeficiente de almacenamiento y T es la transmisividad. La transmisividad del acuífero es el producto de su conductividad hidráulica por su espesor.

La Eq. 1 es una versión de la ecuación de difusión.

ELEMENTO FINITO

El método de elemento finito, que se ajusta bien a cualquier tipo de dominio, se ha usado bastante en el modelado de acuíferos, sobre todo en problemas de transporte de contaminantes (Barry, 1990). Con el fin de obtener la mejor aproximación posible a la geometría del problema físico, el dominio espacial se divide en subdominios (elementos finitos) de forma poligonal, por lo general triángulos o cuadriláteros, los cuales son especificados por un nodo en cada vértice. Estos nodos son los puntos internos del dominio del problema en donde $h(x, y, t)$ es calculada. El método permite que $h(x, y, t)$ sea definida dentro de cada elemento en términos de los valores nodales por medio de funciones de interpolación (las funciones base). Cada función base se asocia a un nodo. Después, se establece un conjunto de ecuaciones integro-diferenciales siguiendo la técnica de Galerkin. De esta manera, se genera un sistema de ecuaciones

lineales, cuya solución se puede encontrar por métodos directos o métodos iterativos.

Método de Galerkin

Se pueden usar otras técnicas de elemento finito en la búsqueda de la solución numérica de la Eq. 1 (ver por ejemplo Zienkiewicz, 1977). Nosotros empleamos la técnica de Galerkin, por su consistencia con el método variacional, ampliamente utilizado en sistemas físicos. Enseguida se detalla la aplicación de ésta técnica (más información se puede encontrar en Wang y Anderson (1982)).

Se inicia proponiendo una solución aproximante $\hat{h}(x, y, t)$ de la forma

$$\hat{h}(x, y, t) = \sum_{l=1}^n h_l(t) N_l(x, y), \quad (2)$$

donde $N_l(x, y)$ es la función base asociada con el nodo l y n es el número total de nodos en el dominio del problema. Para simplificar, de aquí en adelante $\hat{h}(x, y, t) = \hat{h}$ y $N_l(x, y) = N_l$.

La Eq. 2 se sustituye en la Eq. 1 y se pide que el residual pesado con las funciones base sea nulo, es decir,

$$\iint_D \left(\frac{\partial^2 \hat{h}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{h}}{\partial y^2} - \frac{S}{T} \frac{\partial \hat{h}}{\partial t} \right) N_l dx dy = 0, \quad (3)$$

donde $l = 1, \dots, n$ y D es el dominio del problema. La integral indica que hay una ecuación para cada nodo.

Para reducir el orden de las derivadas, y así evitar problemas de discontinuidades, se integra por partes la Eq. 3, esto es,

$$\begin{aligned} \iint_D \left(\frac{\partial \hat{h}}{\partial x} \frac{\partial N_l}{\partial x} + \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} \frac{\partial N_l}{\partial y} \right) dx dy + \iint_D \frac{S}{T} \frac{\partial \hat{h}}{\partial t} N_l dx dy \\ = \int_{\Gamma} \left(\frac{\partial \hat{h}}{\partial x} n_x + \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} n_y \right) N_l d\sigma, \end{aligned} \quad (4)$$

donde Γ es la frontera del dominio del problema, n_x y n_y son las componentes del vector normal hacia fuera de la frontera y σ es la longitud de arco.

Enseguida se elijen las funciones base y se sustituyen en la Eq. 4. Debido a que el dominio es rectangular, se justifica usar elementos rectangulares, pero no se recomiendan para problemas con fronteras irregulares, en los que es más apropiado usar elementos triangulares. Las integrales son evaluadas elemento a elemento por cuadratura Gaussiana. Con notación matricial podemos expresar más claramente el resultado de estas acciones en la forma

$$G\bar{h} + P\frac{\partial \bar{h}}{\partial t} = \bar{f}, \quad (5)$$

donde G y P son las matrices de los coeficientes de las ecuaciones algebraicas que resultan de sustituir las funciones base en los integrandos del lado izquierdo de la Eq. 4, $\bar{h}$ es el vector columna solución y $\bar{f}$ es el vector columna que resulta de la integral de línea del lado derecho.

Existen varios esquemas para resolver la parte temporal de la Eq. 5. Nosotros usamos una aproximación en diferencias finitas de la derivada temporal de h , y resolvemos el sistema de ecuaciones lineales en forma implícita.

Sistemas lineales

Para sistemas de ecuaciones lineales como el de la Eq. 5 con muchas incógnitas, el método directo de eliminación Gaussiana consume mucho tiempo de CPU. Esto se puede ilustrar calculando el tiempo que se requiere al factorizar una matriz de dimensión n , que es igual a $(1/3)Cn^3$, donde C es el tiempo en que una computadora hace un ciclo en el proceso de factorización. Si $n = 10,000$ y $C = 0.65 \times 10^{-6}$ (de una IBM 370 3090), entonces se obtiene un tiempo de CPU de 2.5 días (Hager, 1988). Los métodos iterativos son más eficientes, consumen menos tiempo de CPU, ya que van generando una secuencia de soluciones que va convergiendo a la solución del sistema de ecuaciones. Aquí se escogen por su facilidad de implantación los métodos iterativos de Jacobi y Gauss-Seidel en donde el algoritmo no cambia de iteración a iteración.

EL CASO DE UN ACUÍFERO EN DONDE EL FLUJO ES UNIDIRECCIONAL

No obstante que el modelo matemático es simple y que por ello la aplicación de la técnica de Galerkin también es sencilla, existe una rica variedad de problemas que se pueden resolver numéricamente con el material expuesto en las secciones anteriores. En este trabajo, para efectos de comparación, nosotros tomamos el mismo problema que Wang y Anderson (1982, Sec. 7.2).

El caso corresponde a un acuífero confinado homogéneo e isotrópico con flujo unidimensional en la dirección x . El espesor del acuífero es de 10 m, la forma es rectangular y tiene las siguientes características: la base va de $x = 0$ a $x = l = 100$ m, en la vertical el nivel del agua es inicialmente ($t = 0$) 16 m. Repentinamente cae el nivel del agua en $x = l$, de 16 m a 11 m. Los parámetros del acuífero son $T = 0.02 \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ y $S = 0.002$. Las condiciones a la frontera son $h(0, t) = 16$ m y $h(l, t) = 11$ m para $t > 0$. Asimismo la condición inicial es $h(x, 0) = 16$ m en $0 \leq x \leq l$ (Figura 1).

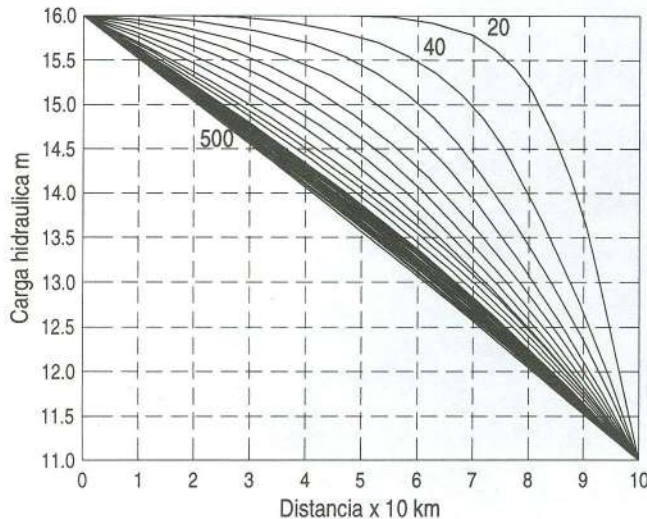


Figura 1. Dominio, elementos, condiciones iniciales y de frontera del acuífero confinado tratado en este trabajo.

ALGORITMO SECUENCIAL

Después de desarrollar la Ec. 1 por el método de elemento finito usando elementos rectangulares y siguiendo el método de Galerkin, se hace un programa secuencial en lenguaje C, estructurado en tres partes o bloques (Figura 2). Se elige C, como lenguaje de programación, por sus ventajas de portabilidad y precisión (Frez, 1997). En el primero de los bloques se definen las coordenadas nodales y se especifican los valores iniciales de los nodos interiores y de los nodos frontera con niveles de agua fijos. En el segundo bloque se construyen las matrices del sistema de ecuaciones algebraicas (G y P de la Ec. 5), se suman en secuencia las contribuciones de cada elemento y se ejecutan las integraciones por cuadratura Gaussiana. En el bloque tres se resuelve el sistema de ecuaciones algebraicas por métodos iterativos y la dependencia temporal en forma implícita. El ejecutable del programa C otorga los resultados correctos. En la Figura 3 se presenta la solución numérica para $t = 20, 30, \dots, 300$ min, usando $\Delta t = 5$ min con el método de Gauss-Seidel y se compara la solución numérica con la solución analítica para el caso estacionario; se aprecia, que a medida que t se hace más grande la solución numérica se acerca más a la solución analítica. También se hace una versión C usando el método de Jacobi, modificando sólo las declaraciones de la estructura do...while, con el cual se obtiene la misma solución numérica.

SOFTWARE Y HARDWARE

SOFTWARE

El software PVM es un paquete de rutinas de programación paralela para usarse en computadoras en red y en computadoras paralelas. Se compone de dos partes: 1) un proceso Unix llamado **pvm**, el que se ejecuta en todas las estaciones de trabajo, y mantiene en funcionamiento paralelo a las computadoras, y 2)

```

proc_begin main (proceso de control)
// bloque # 1
for_begin (geometria)
for_end
for_begin (condiciones iniciales)
for_end
for_begin (condiciones de frontera)
for_end
// bloque # 2
for_begin (construccion de las matrices cuadradas G y P)
[se genera numero de nodos del elemento k]
[se calcula 0.5* altura y 0.5.*ancho]
for_begin (calcula de los elementos de las matrices)
for_begin (cuadratura gaussiana)
for_end
for_end
for_end
// bloque # 3
for_begin (solucion del sistema lineal)
for_begin (construccion de la matriz columna f)
for_end
do (metodo iterativo)
[error = 0.0]
[Jacobi o Gauss_Seidel]
while [max > error]
for_begin (actualizacion)
for_end
for_begin (salida del vector solucion)
for_end
for_end
proc_end
    
```

Figura 2. Seudocódigo del problema del flujo dependiente del tiempo.

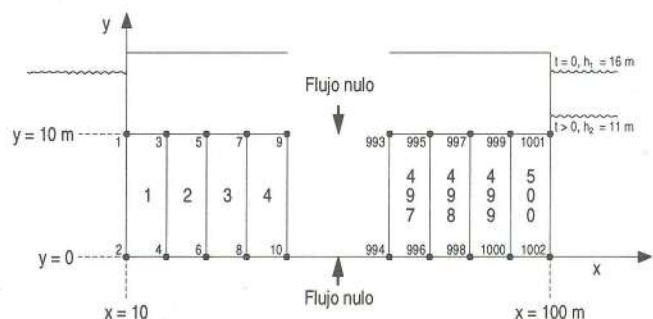


Figura 3. Solución numérica para diferentes tiempos de del problema del flujo dependiente del tiempo en un acuífero rectangular, donde $\Delta t = 5$ min.

una librería de subrutinas llamada **libpvm**. **pvm**, que funciona como un controlador y enrutador, y provee el punto de contacto, el proceso de autenticación, el control de procesos y la detección de fallas. Existen dos tipos de procesos **pvm**: a) el que corre en la computadora de control (que puede ser cualquiera de las computadoras) y el que corre en cada una de las otras. Se considera que las computadoras tienen un funcionamiento equivalente entre sí, pero sólo la computadora de control puede inicializar a las otras y agregarlas a la configuración de la red. **libpvm** contiene las subrutinas que se usan para pasar mensajes, crear procesos, sincronizar tareas y modificar la configuración. El software PVM tiene versiones para los lenguajes Fortran, C

y C++. (Más detalles se pueden encontrar en Geist et al. (1994) y en la página internet <http://www.epm.ornl.gov/pvm>).

Debido a que cada problema físico tiene su propio grado de paralelismo, no hay una metodología para elaborar esquemas paralelos óptimos. Sin embargo, una serie de elementos básicos de programación paralela para el modelo de pasar mensajes han sido bien identificados (véase por ejemplo Ragsdale, 1991). Entre estos elementos, uno básico es la elección de la forma de manejar el dominio del problema. Hacer una partición del mismo, en entidades iguales, ha dado muy buenos resultados en la paralelización de diversos programas Fortran en física e ingeniería. Existen dos técnicas de programación paralela en el modelo de pasar mensajes que han dominado en los últimos cinco años. Una de ellas consiste en hacer un sólo programa y cargar su ejecutable en cada CPU, y la otra en hacer dos programas: uno de los ejecutables se carga en la computadora control y el otro en las demás computadoras. Gómez-Valdés y Wang (1995) probaron que la primera técnica opera eficientemente en las computadoras paralelas de memoria distribuida Intel. Geist et al. (1994) recomiendan a la segunda técnica para ambientes PVM.

En la técnica de programación de dos programas, también conocida como paradigma maestro(a)-esclavo(a), el código maestro corre en la computadora de control y el código esclavo corre en las otras computadoras. El código maestro controla la inicialización y la terminación de los esclavos y recolecta resultados parciales (también puede hacer las veces de esclavo). El código esclavo hace los cálculos y las llamadas de las subrutinas de comunicación.

HARDWARE

La Figura 4 muestra la red utilizada en este estudio, la cual está instalada en el edificio de Oceanología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). La red cuenta con 3 procesadores SPARC SLC, 1 procesador SPARC 1+ y 2 SPARC IPC. El conducto de comunicación es ethernet, topología tubular con control CSMA/CD. Esta red fue adquirida a principios de la década de los 90, tiene Unix como sistema operativo, los usuarios son estudiantes del Departamento de Oceanografía Física, quienes usan las computadoras para procesar datos y correr modelos oceanográficos. Durante el día la carga computacional en la red es elevada, siendo mayor por la mañana. Esta red está conectada a la red principal del CICESE, lo cual implica un potencial de cómputo mayor, ya que PVM está cargado en uno de los servidores de la red principal, y hay más computadoras disponibles en otros departamentos.

ALGORITMO PARALELO

Acto seguido se pasa a construir el algoritmo paralelo PVM en lenguaje C, usando el paradigma maestro(a)-esclavo(a). También se puede usar Fortran o C++, pero la ventaja de C consiste en tener más portabilidad. En el primer bloque de

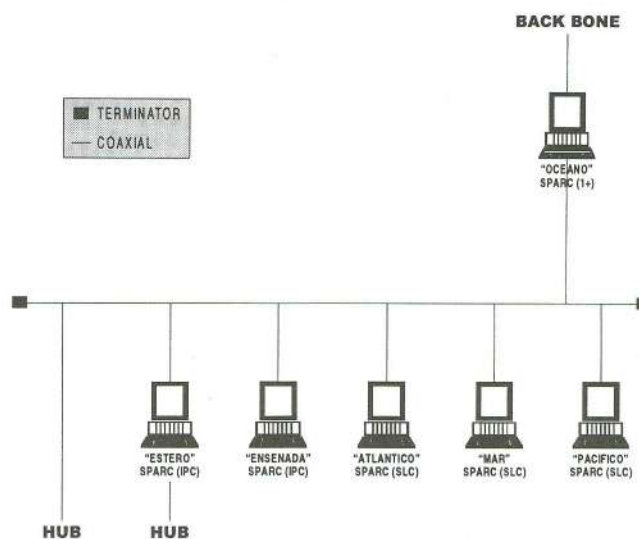


Figura 4. Red de estaciones SUN del Departamento de Oceanografía Física del CICESE, conectada a la red principal a través del servidor Sparc 1 + OCEANO.

programación actúan la computadora maestra y las computadoras esclavas. En el código maestro se inicializan las variables *nnode* (número de nodos) y *nproc* (número de computadoras), y en el código esclavo se calcula $nlem = ((nnode/2)-1)$, número de elementos y se efectúa la asociación entre los subdominios y las computadoras. Aquí se asigna a cada computadora esclava $nlem/nproc$ elementos; si $nlem$ no es divisible por $nproc$ entonces se asigna un elemento de más a una o varias computadoras. El bloque de programación número dos se desarrolla completamente en el programa esclavo, donde cada esclavo trabaja con su correspondiente subdominio. Al hacer la descomposición del dominio resulta que cada computadora esclava comparte dos nodos con las esclavas vecinas, por lo que los valores en las matrices locales en cada computadora son parciales en al menos dos renglones. Para que cada esclava trabaje con las matrices locales completas se establece, en esta porción del programa, un bloque de comunicación entre esclavas, el cual se resume como sigue:

1. La esclava r envía a la esclava $r+1$ los renglones que comparte con ella; al mismo tiempo la esclava r recibe los dos renglones de la esclava $r-1$.
2. Se completan los valores de los renglones recibidos en todas las esclavas intermedias y en la última.
3. La esclava r envía los valores actualizados a la esclava $r-1$; al mismo tiempo la esclava r recibe de la esclava $r+1$ los valores actualizados correspondientes al paso 1.

El grado de paralelización del sistema de ecuaciones lineales dependiente del tiempo que se encuentra en el bloque tres de programación (Figura 2), es función del método iterativo y del esquema para manejar el incremento en Δt . Como se había dicho anteriormente, en este problema usamos Jacobi y Gauss-Seidel

y el tiempo se resuelve implícitamente. (Más detalles se pueden encontrar en Soto-Amador (1996)).

MÉTODO DE JACOBI

Un sistema lineal como el de la Eq. 5 se puede expresar como

$$Ax = b, \quad (6)$$

donde A es una matriz cuadrada, x es el vector de incógnitas y b es el vector de los terminos independientes.

El método de Jacobi consiste en resolver localmente cada incognita de la Eq. 5. Esto significa que en cada iteración se barre todo el dominio del problema en la forma

$$x_i^{n+1} = \frac{b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^n - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j^n}{a_{ii}} \quad (7)$$

donde i va de 1 a k , y n es el número de la iteración, x_j es el vector de incógnitas, a_{ij} es la matriz de coeficientes y b_i es el vector de los términos independientes. Este método se puede paralelizar fácilmente, ya que se puede hacer una partición en x_p tal que cada computadora calcula los x_i^{n+1} asignados, usando

los x_i^n propios y hace su propia actualización: $x_i^n \leftarrow x_i^{n+1}$.

Después de calcular en paralelo los x_i^{n+1} , las computadoras comunican los valores nuevos a sus vecinos para poder avanzar. El cómputo y la comunicación se hacen en el programa esclavo. Como la convergencia hacia la solución es lenta con este método, resulta que al emplear más iteraciones habrá más comunicación, por lo tanto decrecerá la eficiencia del programa paralelo.

MÉTODO DE GAUSS-SEIDEL

El método de Gauss-Seidel es otra manera de resolver iterativamente la Eq. 5. En este método se usan valores actualizados tan pronto están disponibles, en la forma

$$x_i^{n+1} = \frac{b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^{n+1} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j^n}{a_{ii}}, \quad (8)$$

donde la nomenclatura es idéntica a la usada en la Eq. 7. Su grado de paralelización depende de la estructura de la matriz de coeficientes. En el caso de una matriz densa, es decir, donde la mayor parte de los elementos de a_{ij} son diferentes de cero, el algoritmo tendrá un bajo grado de paralelización, ya que no se puede hacer una partición paralela eficaz en x_p , puesto que una porción de x_j es evaluada al tiempo n y otra al $n+1$. Sin embargo, si la mayoría de los coeficientes son ceros y si los coeficientes de la matriz diferentes de cero se encuentran concentrados alrededor de la diagonal principal, en forma simétrica, entonces se puede obtener cierto grado de paralelización.

Para el caso del problema del acuífero que nos ocupa, la matriz es simétrica y en banda, con un ancho de banda de 7. Como los renglones de la matriz se pueden distribuir entre las esclavas en forma continua, la paralelización se realiza en función del número de iteraciones haciendo una descomposición del dominio. Como los métodos iterativos parten de una solución inicial, el cómputo paralelo empieza por el cálculo de la iteración 1 en la esclava 0 (E_0), la cual una vez que avanza en el proceso, estará en condiciones de enviar los valores que la esclava E_1 requiere para trabajar en la iteración 2 al mismo tiempo que E_0 continua con la iteración 1. E_1 envía los valores que la esclava E_2 requiere para trabajar en la iteración 3, al mismo tiempo que E_1 esta trabajando en la iteración 2 y E_0 en la iteración 1 y así sucesivamente. Nótese que el algoritmo tiende a ser más paralelo a medida que se incrementa el número de iteraciones. En cada una de las iteraciones hay comunicación entre las computadoras, tarea que se realiza en el programa esclavo.

EFICIENCIA

Alto rendimiento en computación en paralelo implica al menos dos cosas: reducción del tiempo total de computación e incremento del trabajo de computación en un determinado tiempo. El aumento de la velocidad de procesamiento y la eficiencia paralela son dos parámetros que regularmente se evalúan en el desarrollo de los algoritmos paralelos. En Gómez-Valdés (1996) se discute ampliamente su definición. Sin embargo, su evaluación en redes locales heterogéneas (conformadas de computadoras diferentes) es compleja (Horie y Kuramae, 1996), debido a que alguno, varios o inclusive todos los factores siguientes pueden entrar en juego (Fox et al., 1989):

- El problema no es paralelizable.
- El aumento de la velocidad está limitado por un imbalance en el método.
- Los costos de comunicación en el algoritmo son muy altos.
- El aumento de la velocidad está limitado por la rapidez de la computadora más lenta (imbalance en la configuración).
- La velocidad de comunicación en la red es baja.
- El número de computadoras es muy grande para el problema.

La Tabla 1 muestra el tiempo de ejecución de los programas paralelos, usando 500 elementos. Los experimentos fueron realizados cuidando que la carga computacional extra sobre la red fuera mínima y usando procesadores con poder de cómputo semejante. El programa paralelo con el método de Jacobi resultó más rápido para 3 y 4 procesadores que el programa paralelo usando el método de Gauss-Seidel, pero con 5 procesadores resultó más rápido el método de Gauss-Seidel. Con este último método el programa paralelo se acerca a la escalabilidad computacional (a medida que se agregan más computadoras la eficiencia crece).

Tabla 1. Tiempo de ejecución (en segundos (s)) del programa paralelo para el problema del flujo dependiente del tiempo usando los métodos iterativos Gauss-Seidel y Jacobi.

Procesadores	Gauss-Seidel (s)	Jacobi (s)
3	1809	1142
4	1438	1073
5	1301	1389

DISCUSIÓN

En el presente estudio se desarrollan algoritmos paralelos del problema del flujo de agua dependiente del tiempo. Se usa el paradigma maestro-esclavo. Las soluciones numéricas de los algoritmos paralelos son idénticas a las soluciones numéricas de los algoritmos secuenciales correspondientes. Dougherty (1991), por otro lado, discute las ventajas de usar computadoras paralelas en el estudio de fenómenos hidrológicos.

El desarrollo de algoritmos paralelos y su evaluación en una red local heterogénea de estaciones de trabajo es actualmente una línea de investigación de mucho interés en computación científica. Debido a que las redes locales cuentan por lo general con procesadores diferentes, es común encontrar en ellas el problema del balanceo de la carga de los procesadores. Además cuando el número de estaciones de trabajo se incrementa, también se incrementa el número de mensajes, lo que da lugar al problema de escalabilidad. Cabe mencionar que si el algoritmo paralelo es escalable, entonces es posible adherir más computadoras, al incrementar el tamaño del dominio, sin deteriorar la eficiencia. En este estudio, el problema del balanceo de la carga de procesadores fue resuelto en parte usando procesadores con aproximadamente el mismo poder de cómputo. Aprovechando que las computadoras SPARC SLC son las más comunes de la red, fueron estas las utilizadas en los experimentos de toma de tiempos realizados. Otro punto de interés a considerar en la computación paralela en redes de computadoras es que la red no está cien por ciento disponible para este fin, sobre todo en la academia, sino que son redes de uso múltiple. De forma tal que en el proceso de desarrollo de programas en paralelo se deben compartir los recursos computacionales existentes. En este estudio, para hacer el análisis de rendimiento, se eligieron horas de trabajo de mínimo uso de computadoras. El problema de escalabilidad es más complejo, pues involucra todos los desbalances posibles: de los procesadores, de la carga computacional de cada estación de trabajo, de la carga de la red y de los problemas de paralelización de los algoritmos. En computadoras paralelas de memoria distribuida, e.g., la familia Intel, algunos problemas pueden alcanzar alta eficiencia (Gómez-Valdés y Wang, 1995), sin embargo, en redes heterogéneas es difícil alcanzar alto rendimiento (Horie y Kuramae, 1996). Es interesante señalar que en un trabajo reciente (Tapia-Armenta, 1997) se obtuvo una aceleración de 1.3 en una computadora paralela de memoria compartida usando únicamente la opción de paralelización automática de un modelo numérico del océano costero. No obstante que PVM trabaja bien en la red local de estaciones de trabajo del Departamento de Oceanografía Física

del CICESE, la eficiencia es baja. Para que PVM sea de utilidad a nivel de producción es necesario conectar computadoras del mismo CPU usando otro tipo de topología y tecnología, como por ejemplo cableado con tecnología FDDI (Fiber Distributed Data Interface).

Los métodos iterativos son muy comunes en la solución de sistemas lineales. El método de Jacobi, por su sencillez, es uno de los métodos preferidos en la enseñanza (Hager, 1988). Una de las desventajas de utilizarlo radica en que converge lentamente, implicando una baja eficiencia. Pero es fácilmente paralelizable, dado que los elementos del vector solución, x_j , pueden ser calculados por partes. Sin embargo, la lenta convergencia implica mayor número de mensajes, por ello se obtiene el mayor deterioro de la eficiencia al aumentar el número de procesadores. Por lo tanto, éste método se recomienda sólo en la fase de aprendizaje del proceso de paralelización. El método de Gauss-Seidel, base de otros métodos iterativos estacionarios, e.g., la familia de los esquemas de relajación, converge más rápido que el método de Jacobi, aunque para algunos problemas su razón de convergencia es aún lenta (Barrett *et al.*, 1994).

Su paralelización no es inmediata, pero como su convergencia es más rápida, el método ofrece una ventaja al disminuir el número de mensajes. En el proceso de paralelización, se toma ventaja de la estructura de la matriz de coeficientes. Hay cierto grado de paralelización cuando la matriz, sin importar su tamaño, tiene muchos ceros, es simétrica y sus elementos distintos de cero se encuentran agrupados alrededor de la diagonal principal. Además, se hace una paralelización sobre el avance en el número de iteraciones. Aquí, usando Gauss-Seidel se encuentra la más alta aceleración de tres a cuatro estaciones de trabajo. Debido a que se trata de un ejercicio de programación paralela, sólo se reporta la aceleración de tres a cinco procesadores.

Hoy en día resulta difícil justificar la adquisición de supercomputadoras con un sólo procesador, cuyo costo es de decenas de millones de dólares, pues con decenas de estaciones de trabajo, cuyo costo puede ser menor que un millón de dólares, se puede obtener el mismo poder de cómputo, al trabajarlas en un ambiente paralelo, evitando entre otras cosas los problemas de mantenimiento y calentamiento. Sin embargo, es necesario aprender a programar en paralelo. Por ello, se recomienda la enseñanza de los elementos básicos de la computación paralela a nivel de licenciatura y de posgrado usando una red de estaciones de trabajo, homogénea de preferencia, en un ambiente PVM o cualquier otro ambiente de paso de mensajes.

La Secretaría de Educación Pública de México (SEP), desde principios de 1998, ha proporcionado a instituciones de nivel medio y superior una gran cantidad de computadoras personales (cientos), cada una con un poder de cómputo equivalente a una estación de trabajo. Por otra parte, la propia SEP está construyendo edificios en donde se agrupa a las computadoras, ofreciendo así una buena oportunidad para introducir tecnologías de vanguardia en el proceso educativo de los jóvenes mexicanos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Marisa Echevarría su ayuda en el proceso de revisión ortográfica del manuscrito. Rogelio Vázquez y Marco Antonio Pérez Flores hicieron una revisión crítica al manuscrito que mejoró la calidad del mismo y a Víctor M. Frías Camacho por su ayuda en la edición de las figuras. El trabajo fue financiado por CONACYT, bajo el contrato 225008-5-3523T.

océano costero. Tesis de Maestría, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, IPN, México, 78 pp.

Wang, H.F. and M.P. Anderson, 1982. Introduction to groundwater modeling: finite difference and finite element methods. W.H. Freeman and Company, NY, 237 pp.

Zienkiewicz, O.C., 1977. The finite element method. Mc Graw-Hill, London, 787 pp.

REFERENCIAS

Barrett, R., M. Berry, T.F. Chan, J. Demmel, J. Donato, J. Dongarra, V. Eijkhout, R. Pozo, C. Romine and H. van der Vorst., 1994. Templates for the solution of linear systems: Building Blocks for Iterative Methods. SIAM, Philadelphia, 112 pp.

Barry, D.A. 1985. Supercomputers and their use in modeling subsurface solute transport. *Reviews of Geophysics*, 28, 277-295.

Dougherty, D.E., 1991. Hydrologic application of the connection machine CM-2. *Water Resources Research*, 27, 3137-3147.

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.

Frez, J., 1997. Geofísica computacional y enseñanza en el posgrado. *GEOS*. 17, 60-66.

Geist *et al.*, 1994. PVM: Parallel virtual machine, a users guide and tutorial for networked parallel computing. The MIT Press, Cambridge, MA, 279 pp.

Gómez-Valdés, J. and D-P. Wang, 1995. Massively parallel processing in coastal ocean circulation model. *Journal of Scientific Computing*, 10, 305-323.

Gómez-Valdés, J. 1996. Computación paralela en las geociencias. *GEOS*. 16, 137-141.

Hager, W.W., 1988. Applied numerical linear algebra. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 424 pp.

Horie, T. and H. Kuramae, 1996. Evaluation of parallel performance of large scale computing using workstation network. *Computational Mechanics*, 17, 234-241.

Ragsdale, S., 1991. Parallel Programming. McGraw-Hill, Inc. New York, 123 pp.

Soto-Amador, R., 1996. Computación paralela con PVM en una red local heterogénea. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Ensenada, B.C. México, 49 pp.

Tapia-Armenta, J.J., 1997. Actualización, optimización y paralelización automática de un modelo tridimensional de la circulación del

INFLUENCIA DE FENÓMENOS SOLARES DE PEQUEÑA Y GRAN ESCALA SOBRE EL MEDIO TERRESTRE Y EL NIÑO

Román Pérez-Enríquez

Depto. de Física Espacial, Instituto de Geofísica, UNICIT-UNAM

Apdo. Postal 15, Juriquilla, Qro. 76220

E-mail: roman@tonatiuh.igefcu.unam.mx

RESUMEN

Se estudia la influencia de la actividad del Sol sobre nuestro planeta, considerando tanto las diferentes emisiones, tales como radiación electromagnética, plasma y partículas energéticas, como las fuentes de éstas en el disco solar. Se hace una discusión sobre el origen solar de algunas perturbaciones que viajan en el medio interplanetario y llegan a la Tierra para producir tormentas geomagnéticas, sobre la importancia de las eyecciones de masa coronal (EMCs), de las protuberancias eruptivas y de las ráfagas solares en la generación de radiación, plasma y perturbaciones de gran escala, y partículas energéticas a la altura de la órbita de la Tierra, sobre la distribución longitudinal de las EMCs con respecto a la hoja de corriente heliosférica (HCH), sobre la geoeffectividad de esta HCH y, finalmente, sobre la relación entre esta actividad y fenómenos climáticos tales como El Niño.

The influence of the solar activity on our planet is studied considering the different emissions, such as electromagnetic, plasma and energetic particles, as well as their origin in the solar disk. A discussion is carried out on the solar origin of some perturbations that travel in the interplanetary medium and arrive to Earth to produce geomagnetic storms, on the importance of the coronal mass ejections (CMEs), eruptive prominences and solar flares in the generation of radiation, plasma and great-scale perturbations, and energetic particles at Earth's orbit, on the longitudinal distribution of CMEs with respect to the heliospheric current sheet (HCS), on the geoeffectivity of this HCS and, finally, on the relation between this activity and climatic phenomena such as El Niño.

INTRODUCCIÓN

El problema de la influencia de la actividad solar sobre el clima terrestre está aun lejos de ser resuelto. Se han encontrado relaciones significativas entre la variabilidad solar y algunos fenómenos troposféricos. Por ejemplo, según Paine (1983) grandes tormentas con presiones centrales de 1000 mbar están invariablemente acompañadas por un rompimiento en la tropopausa. Se observa que la altura de la troposfera, que promedia entre 10 y 16 Km, tiene una oscilación de 0.5 Km con el ciclo solar, con un pico cerca del máximo de manchas solares (Gage and Reid, 1981). No obstante, la energía involucrada es demasiado pequeña como para afectar los procesos atmosféricos de manera clara. Aunque se han sugerido varios mecanismos que indican la existencia de un vínculo entre fenómenos meteorológicos y la actividad solar (Bates, 1981; Cole, 1984; Lundstedt, 1984), no existe todavía un acuerdo en cuanto a los procesos físicos que están involucrados en las relaciones Sol-Tierra.

La radiación electromagnética del Sol es con seguridad la mayor fuente de energía del medio terrestre (Dickinson, 1986). La parte del espectro de las ondas cortas (longitudes de onda menores a 320 nm), aunque contiene una energía total pequeña, tiene suficiente energía por fotón para disociar moléculas, por lo que puede destruir células vivas (e.g., Harm, 1980), de aquí que una de las funciones de beneficio más importantes de

nuestra atmósfera sea la absorción de estos fotones energéticos. A nivel solar y, como ya vimos, estratosférico, esta radiación es sumamente variable.

La radiación electromagnética es quizá el parámetro fundamental en la relación entre el Sol y el clima. Esto está completamente avalado por el estudio realizado por Friis-Christensen y Lassen (1991) quienes encontraron variaciones de largo periodo en la temperatura de la Tierra estrechamente asociadas con variaciones en la longitud del ciclo solar, lo que parece llevar a éste como un indicador de cambios de largo periodo de la energía emitida por el Sol. No obstante, el papel que juegan las partículas energéticas y el plasma solar que llegan de manera impulsiva a las inmediaciones de la Tierra no puede ser ignorado.

Entre los fenómenos de la actividad solar que son importantes para las relaciones Sol-Tierra se encuentran, por orden de escala: las ráfagas solares que emiten radiación electromagnética en todo el espectro, especialmente radiación de alta energía y partículas energéticas, algunas de las cuales escapan al medio interplanetario y llegan a la atmósfera de la Tierra, donde son absorbidas; protuberancias eruptivas, a las que se asocian algunas emisiones de plasma y eyecciones de masa coronal, que se consideran ahora como una consecuencia del rearrreglo magnético de la corona, en donde el plasma es expulsado en grandes cantidades y, en ocasiones, a gran velocidad. Las eyecciones más veloces producen en el medio

interplanetario ondas de choque que golpean fuertemente el campo geomagnético produciendo, en condiciones adecuadas, tormentas geomagnéticas y auroras. A las ondas de choque se asocian también partículas relativistas. A menudo las eyecciones de masa coronal están asociadas con grandes ráfagas.

En este trabajo se hace una discusión sobre el origen solar de algunas perturbaciones que viajan en el medio interplanetario y llegan a la Tierra para producir tormentas geomagnéticas; sobre la importancia de las eyecciones de masa coronal (EMCs), de las protuberancias eruptivas y de las ráfagas solares en la generación de radiación, plasma y perturbaciones de gran escala, y partículas energéticas a la altura de la órbita de la Tierra; sobre la distribución longitudinal de las EMCs con respecto a la hoja de corriente heliosférica (HCH); sobre la geoeffectividad de esta HCH y; finalmente, sobre la relación entre esta actividad y fenómenos climáticos tales como El Niño.

ORIGEN DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS EN EL DISCO SOLAR Y PERTURBACIONES DE GRAN ESCALA EN EL MEDIO INTERPLANETARIO

Eventos de partículas de muy alta energía, los llamados SEPs, se observan regularmente a la altura de la órbita de la Tierra y, en ocasiones, aun en tierra, lo que se conoce como eventos a nivel terrestre (GLEs). Ahora es ampliamente aceptado que aquellos SEPs que muestran un perfil de tipo extendido o gradual son producidos por EMCs, mientras que los que presentan un perfil impulsivo son producidos por ráfagas (Reames, 1993). Más aun, de acuerdo con Reames (1995), Reames et al. (1996), las ráfagas son incapaces de producir las altas energías observadas en algunos eventos SEP. Estos resultados se basan principalmente en el estado de carga de las partículas que indican que los eventos impulsivos provienen de regiones con altas temperaturas (millones de grados), que corresponden a las regiones cromosféricas donde se producen las ráfagas, mientras que los graduales provienen de regiones coronales. No obstante, en los últimos años ha quedado en evidencia, gracias principalmente a las observaciones de rayos gamma (Chupp et al., 1982; Okudeira, 1989) y al análisis teórico de los datos (Manzhavidze y Ramaty, 1993), que protones de muy alta energía se encuentran ya presentes durante la fase impulsiva de una ráfaga solar. Simnett (1985) ha propuesto que gran parte de la energía de una ráfaga proviene de los iones supraterrmales en el rango de energía de 100 a 1000 MeV. De acuerdo con Antonucci et al. (1982, 1984), Simnett y Strong (1984), Veck et al. (1984), Simnett y Ryan (1985), Smith y Brecht (1986), existe evidencia de que puede haber aceleración de partículas a altas energías en una región activa antes de la ocurrencia de una ráfaga. De hecho, McDonald y van Hollebeke (1985) mostraron la existencia de precursores en ráfagas aproximadamente 3 horas antes de dos

ráfagas de rayos gamma: la del 21 de junio de 1980 y la del 3 de junio de 1982.

En 1985 y 1988, Pérez Enríquez propuso que algunas de las partículas atrapadas en el intenso campo magnético de un anillo coronal podían ser aceleradas para generar, después de su precipitación hacia la atmósfera solar, una inestabilidad cromosférica capaz de producir una ráfaga. En 1992, Pérez Enríquez y Durand presentaron una simulación numérica de la aceleración estocástica de una distribución maxwelliana de partículas, atrapadas en un campo magnético como el de una región activa solar. Mostraron la posibilidad de crecimiento de una cola supraterrmal en la distribución de velocidades y que la distribución angular de estas partículas es anisotrópica, es decir, inestable.

En 1995, Pérez Enríquez y Mendoza propusieron un esquema para explicar los diferentes SEPs que incluye ráfagas, EMCs y choques EMC. La función de las ráfagas es producir y acelerar las partículas; el de las EMCs es el de estirar y eventualmente abrir las líneas de campo; y el de los choques EMC el de acelerar más a las partículas y transportarlas longitudinalmente hacia el meridiano central. Esta última conclusión proviene de los resultados del estudio del retraso entre el tiempo de ocurrencia de la ráfaga posiblemente originaria del SEP y el tiempo de detección para cada uno de estos SEPs. El catálogo de SEPs proviene del Solar Geophysical Data (1992). La distribución de retrasos en longitud heliosférica se muestra en la Figura 1, en la que se observa que hay una clara tendencia de los retrasos a disminuir a medida que las fuentes supuestas tienen lugar más hacia el hemisferio oeste del Sol. Esto es reforzado por Harrison (1994), quien afirma que existe una clara asociación entre muchas ráfagas y EMCs.

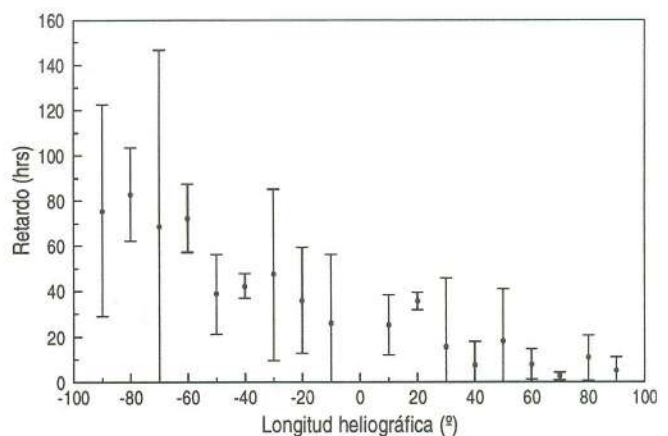


Figura 1. Distribución en longitud heliosférica de los retrasos entre el tiempo de ocurrencia en la superficie solar de la ráfaga posible fuente de un SEP, y el tiempo de detección de cada SEP en el catálogo del Solar Geophysical Data (Pérez-Enríquez y Mendoza 1995).

Generalmente se piensa que los comienzos repentinos de tormentas geomagnéticas (SCs) son causados por ondas de choque. En la actualidad, las EMCs han sido identificadas

como una de las fuentes más conspicuas de choques interplanetarios (Sheeley et al., 1985; Cane et al., 1988), no obstante que las ráfagas (Fengsi y Dryer 1991), los filamentos eruptivos (Joselyn y McIntosh, 1981) y los hoyos coronales de baja latitud (Pérez Enríquez y Mendoza, 1990; Bravo et al., 1991a, b; Bravo y Pérez Enríquez, 1994) no han podido ser descartados como posibles fuentes. En particular, Bravo y Pérez Enríquez (1994) estudiaron la posible relación espacial de 49 EMCs que estuvieron asociadas con choques interplanetarios con hoyos coronales y/o filamentos que desaparecieron. Encontraron que en la mayoría de los casos (~82%) un hoyo se encontraba entre $\pm 30^\circ$ de longitud del limbo sobre el que se observó la EMC. El posible escenario que surge es que los eventos relacionados pueden ocurrir como resultado de la desestabilización MHD de una gran región de la atmósfera solar que contenga diferentes tipos de estructuras magnéticas. Sustentados por evidencia observacional de la asociación entre choques interplanetarios y hoyos coronales, Bravo y Pérez Enríquez concluyen que las EMCs provienen de regiones magnéticamente cerradas, mientras que los choques se forman a partir de hoyos coronales.

DISTRIBUCIÓN DE EMCs CON RESPECTO A LA HCH

La asociación encontrada entre EMCs y otros fenómenos de la actividad solar indica que el campo magnético general del sol debe estar íntimamente conectado con estas eyecciones. Al analizar los lugares de ocurrencia de EMCs, tanto de las relacionadas como de las no relacionadas con choques interplanetarios, en el disco solar, Mendoza y Pérez Enríquez (1993a, b) corroboran los resultados de Kahler et al. (1987) y Hundhausen (1993) de que hay una buena asociación entre EMCs y el ecuador heliomagnético, el cual se convierte luego en la HCH (Figura 2), pero muestran que, durante periodos de máximo solar, los EMCs presentan una asociación también con regiones de campo neutro no necesariamente pertenecientes al ecuador heliomagnético. Pérez Enríquez y Mendoza (1994, 1995) encuentran también una asociación entre ráfagas relacionadas con SEPs y los casquetes coronales.

GEOEFECTIVIDAD DE LA HCH

La geoefectividad de la HCH ha sido extensamente investigada. Por ejemplo, Fengsi y Dryer (1991) mostraron que los choques tienden a propagarse más rápidamente a lo largo de la HCH, y Gosling et al. (1991) encontraron una correlación positiva entre EMCs y el índice de actividad geomagnética k_p , lo que, aunado al resultado de Mendoza y Pérez Enríquez (1993a) de que el ecuador heliomagnético, identificado con la HCH, es el lugar preferencial donde ocurren las EMCs, indica que la HCH puede jugar un papel importante en la interacción Sol-Tierra. Por otro lado, Mendoza y Pérez Enríquez (1995) estudiaron los efectos sobre la actividad geomagnética de SSCs en relación con los cruces de la Tierra por la HCH y

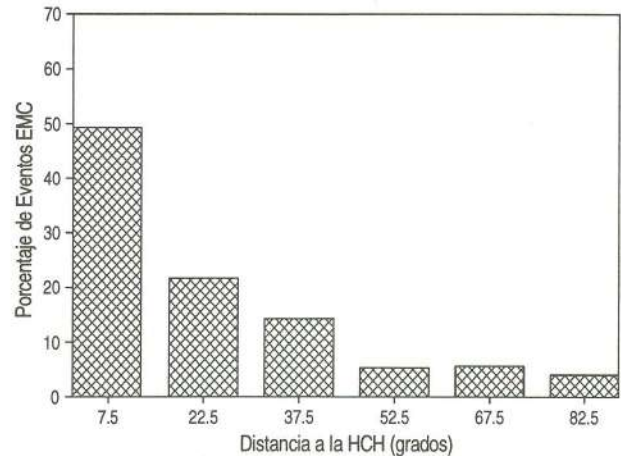


Figura 2. Distribución de distancias de EMCs con respecto al sitio en donde se genera la HCH, identificado con el ecuador heliomagnético (Mendoza y Pérez Enríquez, 1993a y b).

encontraron que la mayoría de los SSCs asociados con EMCs con onda de choque asociada ocurren cuando la Tierra se encuentra cerca del cruce de la HCH (Figura 3). También encontraron que los efectos del SC sobre la Tierra son independientes de su posición con respecto a la hoja, y que no hay una diferencia significativa entre cruces de polaridad magnética positiva a negativa y de negativa a positiva. Esto contrasta con resultados previos (Pérez Enríquez y Mendoza, 1993a, b) quienes realizaron un análisis de épocas superpuestas de la intensidad del índice aa de actividad geomagnética para actividad fluctuante (tal como la describen Legrand y Simon, 1981, con datos que se remontan a 1868) de cinco días antes a 5 días después del día de referencia (día cero), el cual se toma como el día en que la Tierra cruza la frontera entre un sector heliosférico y otro. Se grafican tanto todos los eventos como por separado aquellos cruces de sector de polaridad positiva a negativa y viceversa. Los resultados de Pérez Enríquez y Mendoza (1993) indican que la actividad fluctuante es producida en 80% de los casos por este cruce pero, más aun, que el patrón de cambio de actividad quieta a fluctuante

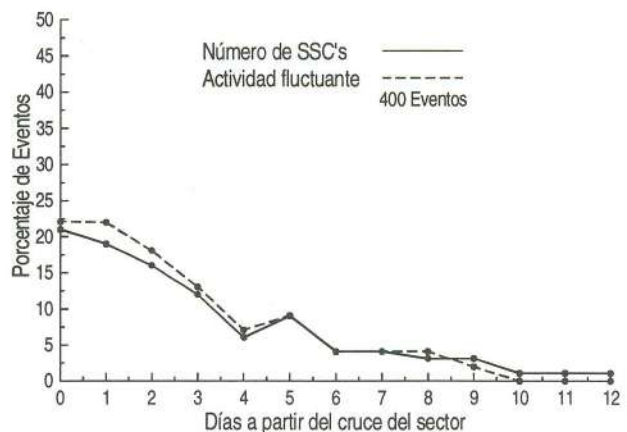


Figura 3. Distribución de la ocurrencia de SSCs asociados con EMCs con onda de choque asociada ocurren cuando la Tierra se encuentra cerca del cruce de la HCH (Mendoza y Pérez Enríquez, 1995).

corresponde casi exclusivamente a cruces de polaridad magnética negativa a positiva (Figura 4).

ACTIVIDAD SOLAR Y FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS TALES COMO EL NIÑO

Como se mencionó en la Introducción de esta revisión, se han encontrado relaciones estadísticamente significativas entre la actividad solar y fenómenos atmosféricos. Por ejemplo, Friis Christensen y Lassen (1991) encontraron una cercana relación entre la longitud del ciclo solar y variaciones de las anomalías de temperatura en el hemisferio norte. Por otro lado, Labitzke y van Loon (1990) encontraron una correlación significativa entre el ciclo solar de 11 años y la oscilación casi bianual (QBO) en la atmósfera alta y baja del hemisferio norte.

En relación con el evento de El Niño (o, más correctamente, El Niño-Oscilación del Sur, ENSO), se ha mostrado que este fenómeno es producido por inestabilidades en el sistema oceano-atmósfera (Zebiak y Cane, 1987; Schopf y Suárez, 1988). Estos autores han encontrado a partir de la serie histórica de eventos El Niño compilados desde 1525 por Quinn et al. (1987) que el intervalo medio de retorno de El Niño es de ~3 años. De acuerdo con Philander (1986), no parece haber duda de que el ENSO es producido por inestabilidades en el sistema oceano-atmósfera. Cane et al. (1986) presentaron un modelo que toma en cuenta esta interacción y cuya capacidad predictiva parece estar limitada por la consideración de factores externos al acoplamiento océano-atmósfera. Al considerar el problema tomando en cuenta la posible influencia de la actividad solar en el sistema, Pérez Enríquez et al. (1989), utilizando la serie de eventos El Niño obtenida por Quinn et al. (1987) y los datos históricos de auroras, encontraron una mayor

probabilidad de ocurrencia de el El Niño alrededor de picos individuales de la actividad auroral (Figura 5). Al realizar un análisis del espectro de potencias de El Niño, Anderson (1990) encontró evidencia que muestra que menor número de eventos ocurren en tiempos en los que hay un número alto de manchas en el disco del Sol. Similarmente, Enfield y Cid (1991) y Mendoza y Pérez-Enríquez (1996) encontraron que a más largos periodos hay una marcada anticorrelación entre la actividad del Sol y El Niño (Figura 6), por lo que parece que la actividad solar, más que un proceso disparador de EL Niño, tiende más a ser un proceso inhibitor. En efecto, Enfield y Sid (1991) encontraron resultados que sugieren que cuando la actividad solar es alta los Niños fuertes ocurren aproximadamente cada 12 años, mientras que cuando la actividad solar es baja El Niño es libre de desarrollarse a una periodicidad más corta de alrededor de 8 años. Para Niños débiles, estos números son 3.5 y 3.1, respectivamente.

Al estudiar las condiciones de la actividad solar durante eventos El Niño, Mendoza y Pérez Enríquez (1991)

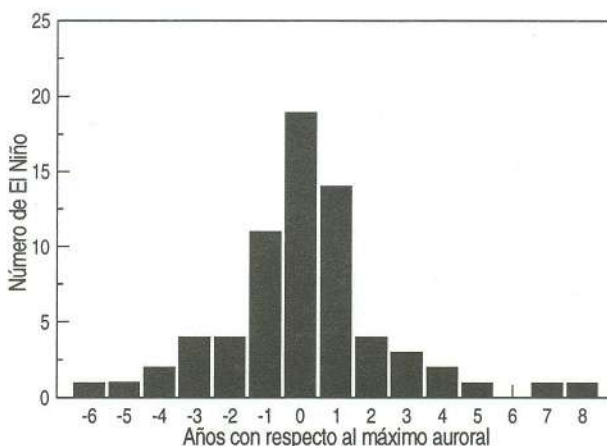


Figura 5. Distribución de ocurrencia de eventos El Niño con respecto a picos de actividad auroral (Pérez-Enríquez et al., 1989).

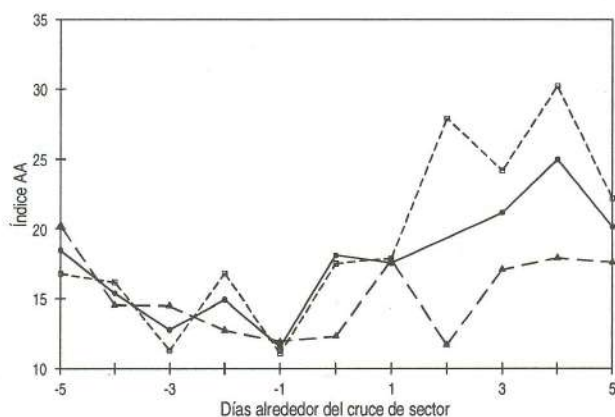


Figura 4. Análisis de épocas superpuestas de la intensidad del índice aa de actividad geomagnética para actividad fluctuante (tal como la describen Legrand y Simon, 1985) de cinco días antes a 5 días después del día de referencia (día cero), el cual se toma como el día en que la Tierra cruza la frontera entre un sector heliosférico y otro. Se grafican tanto todos los eventos (línea continua), como por separado, aquellos cruces de sector de polaridad positiva a negativa (línea cortada) y viceversa (línea punteada) (Pérez-Enríquez, 1993).

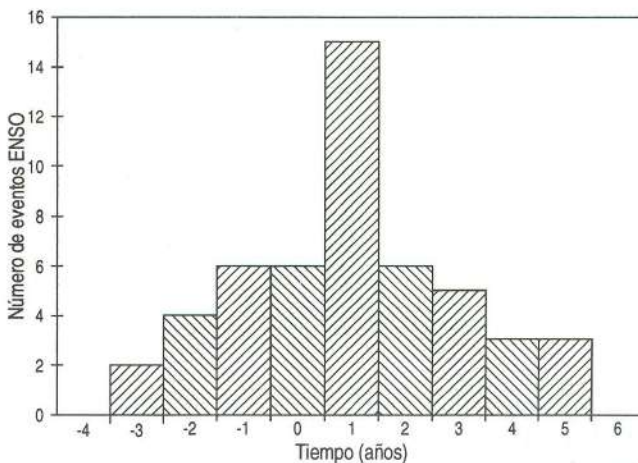


Figura 6. Histograma que muestra la distribución de eventos El Niño alrededor de la tasa máxima de desaparición de manchas en el disco solar, durante la fase descendente del ciclo solar (Mendoza et al., 1991).

encontraron que la mayoría de los eventos ocurren cuando la tasa negativa de manchas solares es pequeña y el número de manchas es también pequeño (es decir, cerca del mínimo solar). En particular, estos autores encontraron que El Niño tiende a ocurrir alrededor de 3 años antes del mínimo solar (Figura 7).

COMENTARIOS FINALES

De acuerdo con lo visto anteriormente, podemos decir que parecen existir regiones en el disco solar asociadas con los llamados cascos corales que son lugares en donde ocurren fenómenos explosivos tales como ráfagas, filamentos eruptivos y EMCs los cuales, junto con los hoyos corales, pueden generar ondas de choque en el medio interplanetario. Estas ondas de choque pueden a su vez, dadas las condiciones de interconexión adecuadas entre el medio interplanetario y la magnetosfera terrestre, tales como una componente sur del campo magnético interplanetario por varias horas, producir tormentas geomagnéticas o actividad geomagnética fluctuante y auroras.

Aunque no existe a la fecha una aceptación general acerca de la influencia que la actividad solar tiene sobre fenómenos climáticos tales como El Niño, parece ser que dicha influencia existe y se puede resumir en dos comportamientos generales: dentro del ciclo solar de 11 años la probabilidad de ocurrencia de este evento es mayor durante periodos cercanos al mínimo solar y, a más largo periodo, la ocurrencia de El Niño está anticorrelacionada con la actividad solar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en parte por CONACYT. Agradezco también las correcciones y comentarios del árbitro Enrique Gómez.

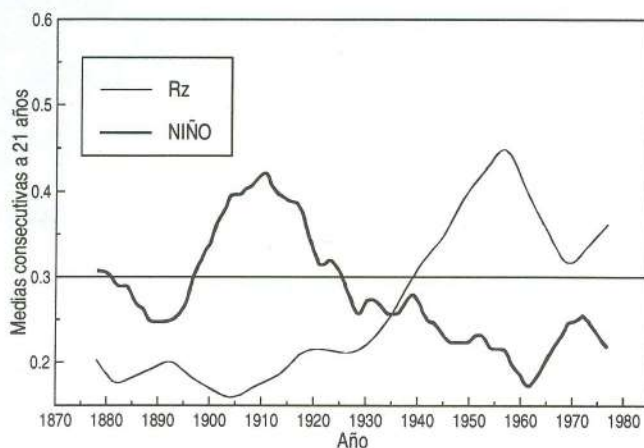


Figura 7. Comportamiento a largos periodos de el evento El Niño y actividad solar expresada a través de manchas, utilizando medias móviles de 21 años (Mendoza y Pérez-Enríquez, 1996).

REFERENCIAS

- Anderson, R.Y., 1990. Solar-cycle modulation of ENSO: A possible source of climatic change, in J.L. Betancourt and A.M. MacKay (Eds.), *Proceedings 6th Annual Pacific Climate (PACIM) Workshop*, Technical Report 23, 77.
- Antonucci, E., B.R. Dennis, A.H. Gabriel and G.M. Simnett, 1985. Initial phase of chromosphere evaporation in a solar flare, *Solar Physics*, 96, 129-142.
- Antonucci, E., A.H. Gabriel and B.R. Dennis, 1984. The energetics of chromospheric evaporation in solar flares, *Astrophys. J.*, 287, 917-925.
- Bates, J.R., 1981. A dynamical mechanism through which variations in solar ultraviolet radiation can influence tropospheric climate, *Solar Physics*, 74, 399-415.
- Bravo, S., B. Mendoza and R. Pérez-Enríquez, 1991a. Coronal holes as sources of large scale solar wind disturbances and geomagnetic perturbations, *Journal of Geophysical Research*, 96, 5387.
- Bravo, S., B. Mendoza and R. Pérez-Enríquez, 1991b. Some specific cases of geomagnetic storm sudden commencements and the discussion of their possible source, *Geofísica Internacional*, 30, 23-30.
- Bravo, S. and R. Pérez-Enríquez, 1994. Coronal mass ejections associated with interplanetary shocks and coronal holes, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 28, 17-25.
- Cane, H.V., D. Reames and T.T. von Rosening, 1988. The role of interplanetary shocks in the longitude distribution of solar energetic particles, *Journal of Geophysical Research*, 93, 9555.
- Cane, M.A., S.E. Zebiak and S.C. Dolan, 1986. Experimental forecast of El Niño, *Nature*, 321, 827-831.
- Chupp, E.L., D.J. Forrest, J.M. Ryan, J. Heslin, K. Pinkau, G. Kanbach, E. Rieger and G.H. Share, 1982. *Astrophys. J. Lett.*, 263, L95-L99.
- Cole, D.D., 1986. Possible effects of solar variability on the middle atmosphere, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 46, 721-725.
- Dickinson, R.E., 1986. Effects of solar electromagnetic radiation on the terrestrial environment, in P.A. Sturrock (de.), *Physics of the Sun*, Vol. III, Reidel Publ. Co, pp. 155-191.
- Enfield, D.B. and L.S. Cid, 1991. Low-frequency changes in El Niño-Southern Oscillation, *Journal of Climate*, 4, 1137-1146.
- Fengsi, W. and M. Dryer, 1991. Propagation of solar flare-associated interplanetary shock waves in the heliospheric meridional plane, *Solar Physics*, 132, 373-394.
- Friis-Christensen, E. and K. Lassen, 1991. Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate, *Science*, 254, 698-700.
- Gage, K.S. and G.C. Reid, 1981. Solar variability and the secular variation in the tropical tropopause, *Geophysical Research Letters*, 8, 187-190.

- Harm, 1980. *Biological effects of ultraviolet radiation*, Cambridge Univ. Press.
- Harrison, R.A., 1984. *Advances in Space Research*, 86,23.
- Hundhausen, A.J., 1993. The size and locations of coronal mass ejections: SMM observations from 1980 and 1984-1989, *Journal of Geophysical Research*, 98, 13177.
- Joselyn, J.A. and P.S. McIntosh, 1981. Disappearing solar filaments: a useful predictor of geomagnetic activity, *Journal of Geophysical Research*, 86, 4555.
- Kahler, S.W., E.W. Cliver, H.V. Cane, R.E. McGuire, D.V. Reames, N.R. Sheeley and R.A. Howard, 1987. Solar energetic proton events and coronal mass ejections near solar minimum, *Proceedings of the 20th International Cosmic Ray Conference*, 3, 121.
- Labitske, K. and H. van Loon, 1990. Association between the 11-year solar cycle, the quasi-biennial oscillation and the atmosphere: a summary of recent work, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A330, 577-589.
- Legrand, J.P. and P.A. Simon, 1981. Ten cycles of solar and geomagnetic activity, *Solar Physics*, 70, 199-204.
- Lundstedt, H., 1984. Influence of interplanetary interaction regions on geomagnetic disturbances and tropospheric circulation, *Planetary Space Review*, 32, 1541-1545.
- Mandzhavidze, N. and R. Ramaty, 1993. Particle acceleration in solar flares, *Nuclear Physics B, Proc. Suppl.* 33, 141-160.
- McDonald, F.B. and M.A. van Hollebeke, 1985. Helios 1 energetic particle observations of the solar gamma-ray/neutron flare event of 1982 June 3 and 1980 June 21, *Astrophysical Journal*, 290, L67-L91.
- Mendoza, B., R. Pérez-Enríquez and M. Alvarez-Madrigal, 1990. The intense solar activity of March 1989 as a precursor for the occurrence of an ENSO by the end of 1989, *Solar Physics* 126, 195-199.
- Mendoza, B., R. Pérez-Enríquez and M. Alvarez-Madrigal, 1991. Analysis of solar activity conditions during periods of El Niño events, *Annales Geophysicae*, 9, 195-199.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1992. Solar activity and El Niño, *Geofísica Internacional*, 31, 41-46.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1993a. The association of coronal mass ejections during solar maximum times with the heliomagnetic current sheet, *Advances in Space Research*, 13, 183-186.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1993b. Association of coronal mass ejections with the heliomagnetic current sheet, *Journal of Geophysical Research*, 98, 93655-9370.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1994. Geoeffectiveness of the HCS, *Proceedings 8th ISTP Symposium*, Sendai, Part I, 25.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1995a. The geoeffectiveness of the heliospheric current sheet, *Journal of Geophysical Research*, 100, 7877-7888.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1995. The origin in the corona of SEPs associated with CMEs, *Proceedings 24th International Cosmic Ray Conference*, 4, 42-45.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1996. The occurrence rate of El Niño and its relation to solar activity, *Proceedings 4th COLAGE*, Tucumán, B-17.
- Okudaira, K., 1989. Particle acceleration as viewed from the observation of flare-associated gamma-ray emission. *Space Sci. Rev.*, 51, 117-122.
- Paine, D.A., 1983. A climate hypothesis describing the solar-terrestrial system as a frequency domain with specific response characteristics, *ESO*, June 28, 425-428.
- Pérez-Enríquez, R., 1985. On the role of energetic particles in solar flares, *Solar Physics*, 97, 131-144.
- Pérez-Enríquez, R., 1988. *The role of particle acceleration in solar flares*, M. Phil. Thesis Dissertation, Imperial College, University of London, 212 pp.
- Pérez-Enríquez, R. and H. Durand, 1992. Stochastic particle acceleration by a random electric field in coronal loops, *Geofísica Internacional*, 31, 47-49.
- Pérez-Enríquez, R., B. Mendoza and M. Alvarez-Madrigal, 1989. Solar activity and El Niño: the auroral connection, *Il Nuovo Cimento*, 12C, 223-230.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1990. A low-latitude coronal hole as the only possible explanation for the 25 November 1978 geomagnetic storm, *Journal of Geophysical Research*, 95, 10717-10719.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1993a. Geomagnetic response of the Earth to crossings of the heliospheric current sheet, *Journal of Geophysical Research*, 98, 19349-19354.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1993b. The geomagnetic response of the Earth's crossing of the heliospheric current sheet, *Advance in Space Research*, 13, 41-44.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1994. Solar energetic proton events and their relation with flares and CMEs, *Proceedings 8th ISTP Symposium*, Sendai, Part I, 13.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1995a. Distribution of SEP related flares in the solar disk, *Proceedings 24th International Cosmic Ray Conference*, 4, 46-49.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1995b. The role of flares, CMEs and CME shocks in the generation of solar energetic proton events, *Solar Physics*, 160, 353-362.
- Philander, S.G.H., 1986. Predictability of El Niño, *Nature*, 321, 810-811.
- Quinn, W.H., T.V. Neal and S. Antunes-Mayolo, 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries, *Journal of Geophysical Research*, 92, 14-449.
- Reames, D.V., 1993. Non-thermal particles in the interplanetary medium, *Advance in Space Research*, 13, 331.

- Reames, D.V., L.M. Barbier and C.K. Ng, 1996. The spatial distribution of particle accelerated by coronal mass ejection-driven shocks, *Astrophysical Journal* 466, 473.
- Sheeley, N.R., R.A. Howard, M.J. Koomen, et al., 1985. Coronal mass ejections and interplanetary shocks, *Journal of Geophysical Research*, 90, 163.
- Schopf, P.S. and M.J. Suarez, 1988. Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model, *Journal of Atmospheric Sciences*, 45, 549-567.
- Simnett, G.M., 1985. *Proceedings 19th International Cosmic Ray Conference*, 4, 70-73.
- Simnett, G.M. and J.M. Ryan, 1985. *Proceedings 19th International Cosmic Ray Conference*, 4, 82-85.
- Simnett, G.M. and K.T. Strong, 1984. The impulsive phase of solar limb flares, *Astrophysical Journal*, 284, 839-847.
- Solar proton events affecting the Earth's Environment, *Solar Geophysical Data*, No. 577, Part II, p. 71.
- Veck, N.J., K.T. Strong, C. Jordan, G.M. Simnett, P.J. Cargill and E.R. Priest, 1984. The development and colling of a solar limb-flare, *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, 210, 443-462.
- Zebiak, S.E. and M.E. Cane, 1987. A model of ENSO, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2262.

SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO

GRUPO RESNOM

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Apartado Postal #2732, Ensenada, Baja California, México
E-mail: resnor@cicese.mx

REFERENCIAS

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 período comprendido de Mayo a Agosto de 1998.

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 Rocoso en Baja California Norte. La profundidad de los eventos (PROF) se reporta en kilómetros y cuando la fija el operador se indica con un asterisco. El error cuadrático medio (RMS) lo calcula el programa HYPO71 con los residuales de los tiempos de viaje. En la tabla de coordenadas epicentrales también se indica el número de lecturas empleadas para la localización de los eventos. La magnitud MD se estima con la duración del registro usando las relaciones empíricas propuestas por González y García (1986).

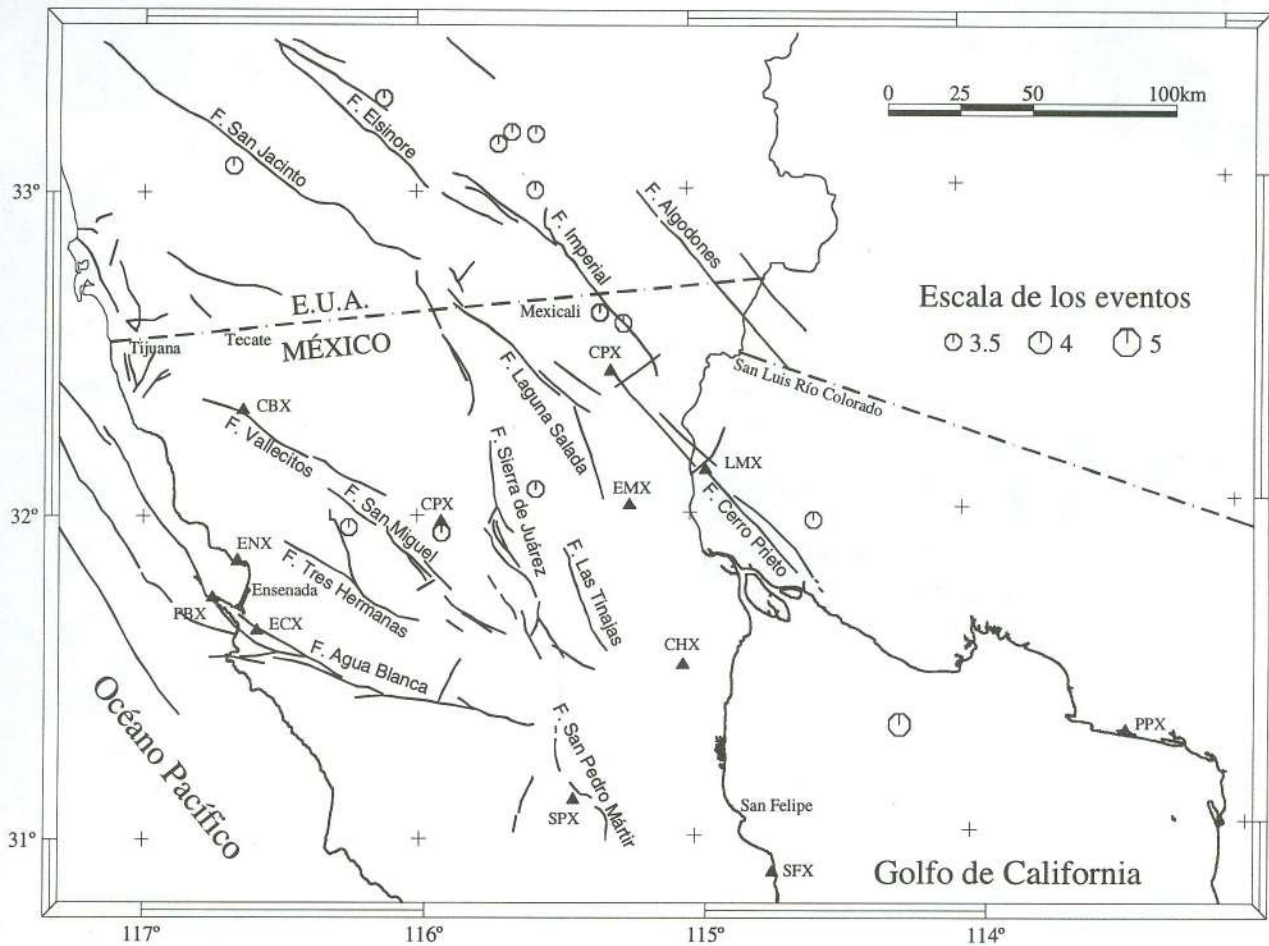
González-G., J.J. y García-A. R., 1986, Escala de magnitud-coda para estaciones sismográficas en el norte de Baja California, Resumen extenso en Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., p. 399-406.

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.

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



TIEMPO			COORDENADAS		PROF.	M _b	RMS	NO	REGIÓN	
DIA	HR	MN	SEG	LAT. N						LON. O
MAYO 1998										
03	08	23	37.78	31°56.78'	115°54.69'	16.52	3.6	0.06	10	Localizado a 3 km al este de RDX.
09	10	19	08.41	33°08.75'	115°41.52'	8.00*	3.6	0.05	13	Localizado a 89 km al noroeste de CPX.
29	13	54	25.36	31°57.85'	116°15.04'	11.99	3.7	0.05	14	Localizado a 18 km al este de PGX. (norte de la Falla San Miguel).
JUNIO 1998										
08	18	49	02.98	31°58.10'	114°32.73'	8.00	3.8	0.09	14	Localizado a 43 km al sureste de LMX.
15	12	56	13.44	31°19.76'	114°14.80'	2.03	4.4	0.16	16	Localizado a 58 km al oeste de PPX. (frente a las costas del Golfo de California).
JULIO 1998										
07	01	54	41.37	33°10.61'	115°33.24'	8.00*	3.5	0.21	10	Localizado a 88 km al noroeste de CPX. (entre las Fallas sur San Andrés y norte de la Falla Imperial, sentido en el Centro, Calexico, CA y Mexicali, B.C.).
07	19	14	4.07	33°10.96'	115°38.58'	8.18	3.7	0.14	11	Localizado a 91 km al norte de CPX. (entre las Fallas sur San Andrés y norte de la Falla Imperial, sentido en el Centro, Calexico, CA y Mexicali, B.C.).
10	21	29	13.23	33°17.46'	116°07.01'	10.00*	3.8	0.17	12	Localizado a 120 km al noreste de CBX. (Falla San Jacinto, CA., EUA.).
21	21	40	44.35	33°00.04'	115°33.51'	8.00*	3.6	0.11	12	Localizado a 69 km al norte de CPX. (norte de la Falla Imperial, CA., EUA.).
24	18	51	43.04	33°04.91'	116°40.18'	10.00*	3.8	0.14	12	Localizado a 85 km al norte de CBX. (Falla Elsinore, EUA.).
29	15	13	38.08	32°37.22'	115°19.37'	17.97	3.5	0.05	14	Localizado a 22 km al noroeste de CPX. (Falla Imperial, sentido al este de Mexicali, B.C.).
AGOSTO 1998										
03	01	30	39.08	32°04.67'	115°33.90'	14.00*	3.6	0.17	12	Localizado a 33 km al oeste de EMX. (entre las Fallas Laguna Salada y Sierra de Juárez).
27	03	10	18.27	32°35.27'	115°14.18'	15.82	3.6	0.10	14	Localizado a 20 km al norte de CPX. (sur de la Falla Imperial).

ERRATA

En la Fig. 1 del artículo intitulado "Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias", por Frez y Frías-Camacho, GEOS, Vol. 18, No.2, aparecen intercambiados los nombres de las fallas Elsinore y San Jacinto.

DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1998

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

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

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



Rolando Labacha
Miembro # 999

Reunión Anual 1998
Puerto Vallarta, México
9-13 de Noviembre

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

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - MIEMBROS 1998

No.	Miembro	97	98	Nombre	Institución	División o Instituto	Departamento o Facultad	E-mail
1	678	X		Aceves Quesada Fernando	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
2	20	X	X	Aguiñe Díaz Gerardo J.	UNAM	UNICIT	Campus Juriquilla	gjad@servidor.unam.mx
3	16	X	X	Alaniz Álvarez Susana A.	UNAM	UNICIT	Campus Juriquilla	alaniz@servidor.unam.mx
4	271		X	Alatorre Zamora Miguel Angel	UDG	CUCEI	Física Matemática	maaz@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
5	19	X	X	Alatriete Vilchis David Rey	IMP	Exploración y Producción	Prospección Geofísica	adavid@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
6	668	X	X	Alba Valdivia Luis Manuel	UNAM	Geofísica	Paleomagnetismo	lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
7	4	X	X	Álvarez Borrego José	CICESE	Física Aplicada	Óptica	josue@cicese.mx
8	3	X	X	Álvarez Borrego Saúl	CICESE	Oceanología	Ecología	saul@cicese.mx
9	676	X		Álvarez Manilla Alfonso				
10	267	X		Álvarez Sánchez Luis G.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	l Alvarez@cicese.mx
11	8	X	X	Aragón Areola Manuel de Jesús		Canteras El Taco	Geología	
12	18	X		Arellano Gómez Victor Manuel	IIE	Geotermia		vag@axp2.iie.org.mx
13	278		X	Arellano Guadarrama José Fco.	CFE	Residencia de Estudios	Exploración	
14	287	X	X	Axen Gary	UCLA		Earth and Space Sciences	gaxen@ess.ucla.edu
15	296	X	X	Bandy William L.	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	bandy@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
16	28	X	X	Barajas Díaz Pablo	ITESO		Habitat y Desarrollo Urbano	
17	30	X		Barragán Reyes Rosa María	IIE	Geotermia		
18	305	X	X	Beier Martín Emilio José	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ebeier@cicese.mx
19	26	X	X	Bermúdez Angulo María Luisa	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	maria@gea.ingen.unam.mx
20	711		X	Bernal Franco Gladys	UABC	Investigaciones Oceanológicas	Geoquímica Ambiental	gbernal@bahia.ens.uabc.mx
21	37	X	X	Bohnel Norbert Harald	UNAM	UNICIT	Campus Juriquilla	harald@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
22	34		X	Brassea Ochoa Jesús	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jbrassea@cicese.mx
23	27	X		Bravo Cabrera José Luis	UNAM	Geofísica	O. de Radiación Solar	jbravo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
24	24	X		Brño Castillo Luis	CIBNOR	Unidad Guaymas	Hidrología	lbrño@cibnor.mx
25	32	X	X	Buendía Carrera Enrique	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima	
26	632	X	X	Bulgakov Sergey N.	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	sbulgano@udg.serv.cencar.udg.mx
27	536	X	X	Burrola Sánchez María Sara	CIBNOR	Zona Costera		sburrola@cibnor.mx
28	324		X	Caballero Miranda Cecilia	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	maga@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
29	51		X	Calmus Thierry	UNAM	Geología	ERNO	tcalmus@servidor.unam.mx
30	246		X	Campa Uranga María Fernanda	UAGRO		Ciencias de la Tierra	
31	325	X	X	Campos Enriquez Oscar	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	ocampos@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
32	581	X	X	Cañón Tapia Edgardo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ecanon@cicese.mx
33	52	X	X	Carbajal Pérez Noel	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Est. Inv. Marinas Mazatlán	noelc@ola.icmyl.unam.mx
34	557	X		Carbonell Ramón	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	rcarbonell@ja.csic.es
35	54		X	Carcione José M.		Osservatorio Geofisica Sperime		
36	321	X		Cárdenas Soto Martín	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	martin@hermes.ingen.unam.mx
37	331	X		Carrasco Nuñez Gerardo	UNAM	Geología	Geología Regional	gerardoc@servidor.unam.mx
38	330	X	X	Carreño Ana Luisa	UNAM	Geología	Paleontología	anacar@servidor.unam.mx
39	663	X	X	Castrejón Israel				
40	645	X		Castrejón Pineda Héctor Ricardo	UNAM			
41	47	X	X	Castro Escamilla Raúl	CICESE	Ciencias de la Tierra	Ingeniería	root@sacbe.fi-a-unam.mx
42	45	X		Castro Goraia Renato	UNAM	Geofísica	Sismología	raul@cicese.mx
43	49		X	Castro Leyva Teresa	IMP		Exploración y Producción	
44	53		X	Cerca Martínez Luis Mariano	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mcerca@cicese.mx
45	664	X	X	Charre Meza Adolfo Salomé	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	acharre@cicese.mx
46	68		X	Chávez Peréz Sergio	U NEVADA	Sismological Laboratory	School of Mines	
47	624	X		Cifuentes Gerardo	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo y Exploración	gercifue@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
48	726		X	Cisneros Stoianowski Gerardo	SILICON GRAPHICS			gerardo@cray.com
49	424	X	X	Cobo Rivera Juan Manuel	CFE	Suministro de Vapor	Operación de Pozos, CPU	
50	558	X	X	Córdoba Barba Diego	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
51	58	X		Corona Ruiz Martín	CFE	Campo Geotérmico Cerro Prieto		
52	566	X		Correa Mora Francisco	UNAM	Geofísica	Geoquímica y Exploración	pancho@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
53	723		X	Cortés Cortés Abel	UCOL	Observatorio Vulcanológico		corles@cgic.ucol.mx
54	59	X	X	Cruz Castillo Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mcruz@cicese.mx
55	686	X	X	Cupul Magaña Arnica Levi	UDG		Recursos Naturales	cmagana@vallarta.cuc.udg.mx
56	559	X	X	Dahobetia Juan José	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	jdahobetia@ja.csic.es
57	342	X		Davydova Belitskaya Valentina	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	vdavidov@udg.serv.cencar.udg.mx
58	69	X	X	De Cserna Gombos Zoltan	UNAM	Geología	Geología Regional	
59	82	X	X	Delgado Argote Luis Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ldelgado@cicese.mx
60	75	X		Delgado Contreras Juan Antonio	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jdelgado@cicese.mx
61	454	X	X	Diego Orozco Arturo	IMP	Exploración y Producción	Geofísica	arturo@orion.explimp.mx
62	341	X	X	Dworak R. Juan A.	SEP	Tecnológico del Mar		
63	573	X		Eliás Herrera Mariano	UNAM	Geología	Geología Regional	elias@servidor.unam.mx
64	580		X	Escalona Alcázar Felipe de Jesús	CICESE	Ciencias de la Tierra	Depto. Geología	
65	86	X	X	España Hernández Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	fesparz@cicese.mx
66	87	X	X	Espindola Castro Juan Manuel	UNAM	Geofísica	Vulcanología	jme@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
67	88	X	X	Espinosa Cardena Juan Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jespinos@cicese.mx
68	92	X	X	Fabrial Beauville Hubert	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	hfabrial@cicese.mx
69	346	X	X	Farreras Sanz Salvador	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	sfarera@cicese.mx
70	91	X	X	Ferrari Pedraglio Luca	UNAM	UNICIT	Campus Juriquilla	luca@servidor.unam.mx
71	137	X	X	Filonov Anatoly E.	UDG		Físico Matemáticas	afilonov@udg.serv.cencar.udg.mx
72	97	X	X	Fletcher John M.	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	jfletcher@cicese.mx
73	679	X		Flores Cruz Fernando				
74	348	X	X	Flores Luna Carlos Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	cflores@cicese.mx
75	675	X	X	Forsythe Lance	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	forsythe@cicese.mx
76	96	X	X	Frez Cárdenas José	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	jofrez@cicese.mx
77	680	X	X	Fuentes Vargaz Carlos	UNAM	Geofísica	Sismología	carlos@olin.igeofcu.unam.mx
78	108	X	X	Galicia Pérez Marco Antonio	UCOL			galicia@volcan.ucol.mx
79	578	X	X	Gallegos Cruz Apolonio	IPN	Ciencias Básicas	Física	
80	101	X	X	García Abdeslem Juan	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jgarcia@cicese.mx
81	104	X	X	García Arthur Rosalia	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	arthur@cicese.mx
82	368	X	X	García García Fernando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	dire@mvica.atmosferv.unam.mx
83	100	X	X	Garduño Monroy Victor Hugo	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	Ingeniería Química	vgmonroy@zeus.cci.umich.mx
84	358		X	Garduño René	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
85	724	X	X	Gavilanes Ruiz Juan Carlos	UCOL	Observatorio Vulcanológico		gavilan@cgic.ucol.mx
86	119	X	X	Gaviño Rodríguez Juan Heberto	UCOL	Oceanografía Física	Ciencias Marinas	gavinho@volcan.ucol.mx
87	366		X	Gay Carlos	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
88	122	X	X	Glowacka Ewa	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	glowacka@cicese.mx
89	121	X	X	Gómez Treviño Enrique	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	egomez@cicese.mx
90	112	X	X	Gómez Valdés José	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jgomez@cicese.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - MIEMBROS 1998 (continuación)								
No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
1	678	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
2	20	Domicilio Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
3	16	Domicilio Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
4	271	Prol. el Mediero #517 Mod. F-201	San Gilberto	Zapopan	Jal.	México	45150	
5	19	Temaca #6241	Aragón Inguarán	México	D.F.	México	07820	
6	668	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
7	4	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
8	3	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
9	676	Circuito Jardín #356-3	Alamos 31	Querétaro	Qro.	México	76160	
10	267	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
11	8	2170 SE 17th Street Suite 202		Fl. Lauderdale	FL	USA	33316	
12	18	Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
13	278	Carr. Pascualito-Pescaderos Km.26.5		Mexicali	B.C.	México	21100	3636
14	287	UCLA - Box 951567		Los Angeles	CA.	USA	90095-1567	2732
15	296	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
16	28	Periférico Sur #8585		Tlaquepaque	Jal.	México	45090	31-175
17	30	Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
18	305	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
19	26	Calle 128A #29-15 Depto. 403		Santa Fé de Bogotá	Bogotá	Colombia		
20	711	Villa de San Miguel #36	San Miguel	Ensenada	B.C.	México	22760	
21	37	Domicilio Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
22	34	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
23	27	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
24	24	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
25	32	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
26	632	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44130	
27	536	Km. 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
28	324	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
29	51	Apdo. Postal 908		Hermosillo	Son.	México	83000	
30	246	Hacienda Xajay #426	Echegaray	Naucalpan	Edo. México	México	53300	
31	325	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
32	581	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
33	52	Apartado Postal No. 811		Mazatlán	Sin.	México	82000	811
34	557	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
35	54	P.O. BOX 2011		Opicina	Trieste	Italy	34016	2011
36	321	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	70472
37	331	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
38	330	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
39	663	Callejón de la Garfía #14	Centro	Taxco	Guerrero	México	40200	
40	645	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
41	47	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
42	45	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
43	49	Oficina de Correo		Cd. del Carmen	Camp.	México	24101	224
44	53	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
45	664	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
46	68	Shetland # 348	Cosmopolita	Azcapotzalco	Edo. México	México		
47	624	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
48	726	Av. Vasco de Quiroga #3000		Santa Fé	México	México	1210	
49	424	Av. Argentina #545	Residencial Hípico	Mexicali	B.C.	México	21200	
50	558	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
51	58	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	
52	566	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
53	723	Av. 25 de Julio #965		Villas San Sebastián	Col.	México	28045	
54	59	Av. Volcan Fernandina #92	El Mirador	México	D.F.	México	14449	
55	686	Av. Universidad #203	Delegación Ixtapa	Puerto Vallarta	Jal.	México		
56	559	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
57	342	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44421	
58	69	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
59	82	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
60	75	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
61	454	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	7730	
62	341	Km. 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Son.	México	85480	742
63	573	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
64	580	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
65	86	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
66	87	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
67	88	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	434843
68	92	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
69	346	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
70	91	Domicilio Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
71	137	Río Aulán #2180-34	Altas	Guadalajara	Jal.	México	44421	
72	97	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
73	679	Antonia Nava s/n Esc. Pri. Makarenko	Carmen Serdán	México	D.F.	México	4910	
74	348	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
75	675	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22830	2732
76	96	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
77	680	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
78	108	Apartado Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Col.	México	28200	275
79	578	Té #950	Iztacalco	México	D.F.	México	8400	
80	101	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
81	104	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
82	368	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
83	100	Av. Rey Tariatcuri #374-D	Villabella	Morelia	Mich.	México	58090	
84	358	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
85	724	Av. 25 de Julio #965		Villas San Sebastián	Col.	México	28045	
86	119	Apartado Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Col.	México	28200	275
87	366	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
88	122	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
89	121	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
90	112	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - MIEMBROS 1998

No.	Miembro	97	98	Nombre	Institución	División o Instituto	Departamento o Facultad	E-mail
91	672	X	X	González Fernández Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mindundi@cicese.mx
92	113	X	X	González García José Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	javier@cicese.mx
93	118		X	González Morales Carlos Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	cgonzale@cicese.mx
94	99		X	González Morán Tomás	UNAM	Geofísica	Recursos Naturales	lglez@tonatihu.igeofcu.unam.mx
95	690		X	Gorsline Donn S.	USC		Earth Sciences	gorsline@earth.usc.edu
96	370	X	X	Graef Ziehl Federico	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	fgraef@cicese.mx
97	388	X	X	Grajales Nishimura Manuel	IMP	Exploración	Geociencias	grajales@geologia.unam.mx
98	570	X	X	Green Ruiz María de Jesús	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Geología Marina	mgreen@ola.icmyf.unam.mx
99	111	X	X	Guerrero García José C.	UNAM	Geología	Geoquímica	josec@servidor.unam.mx
100	126	X		Helenes Escamilla Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	jhelenes@cicese.mx
101	125		X	Herguera García Juan Carlos	CICESE	Oceanología	Ecología	herguera@cicese.mx
102	572	X	X	Hernández Bernal María del Sol	UNAM	Geología	Geología Regional	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
103	582	X		Hernández Guerrero José	PEMEX	Integración e Interpretación	Activo Macuspana	zyanya@hotmail.com
104	564	X		Hernández Treviño Teodoro	UNAM	Geofísica	Exploración y Geomagnetismo	tht@tonatihu.igeofcu.unam.mx
105	689		X	Herrera Charles Roberto	IPN	CITEDI		charles@citedi.mx
106	387		X	Hinojosa Corona Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ahinc@cicese.mx
107	669	X		Hughes Simon	UNAM	Geofísica	Vulcanología	shuhes@tonatihu.igeofcu.unam.mx
108	127	X	X	Huidobro González Adolfo	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	lermo@inti.ingen.unam.mx
109	128		X	Huizar Álvarez Rafael	UNAM	Geología	Geología Regional	huizar@servidor.unam.mx
110	719		X	Hutton Wallis	U. WISCONSIN	Geophysical		wallis@geology.wisc.edu
111	722		X	Israde Alcántara Isabel	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	Ingeniería Civil	aisrade@zeus.ccu.umich.mx
112	131		X	Jacques Ayala Cesar	UNAM	Geología	Estación Regional del Noroeste	jacques@servidor.unam.mx
113	130		X	Jáuregui Ostos Ernesto	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	ejos@mvica.atmosfscu.unam.mx
114	133	X		Jiménez Ilescas Ángel R.	IPN	CICIMAR	Oceanología	ajimenez@ipn9021.ipn.mx
115	132	X		Jiménez Jiménez Zenón	UNAM	Geofísica	Sismología	zenon@igeofcu.unam.mx
116	395		X	Juárez S. Faustino	UNAM	Geofísica	LUGIS	tino@tonatihu.igeofcu.unam.mx
117	135	X	X	Kostoglodov Vladimir	UNAM	Geofísica	Sismología	vladimir@olin.igeofcu.unam.mx
118	640	X		Kotsarenko Nikola Y.	UNAM	Geofísica	Física Espacial	kotsaren@tonatihu.igeofcu.unam.mx
119	655	X		Kuraica Ogie	KINEMATICS	Sales Manager		sales@kmi.com
120	598	X		Lares Reyes María Lucila	CICESE	Oceanología	Ecología	llares@cicese.mx
121	141	X	X	Lavín Peregrina Miguel F.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	mlavin@cicese.mx
122	399	X	X	Lázaro Mancilla Octavio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	olazaro@cicese.mx
123	483	X	X	Ledesma Vázquez Jorge	UABC	Geología	Ciencias Marinas	ledesma@bahia.ens.uabc.mx
124	404	X		Lemo Samaniego Javier Fco.	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	lermo@inti.ingen.unam.mx
125	602	X		Lira Herrera Héctor	CFE	Residencia Gral. Cerro Prieto	Estudios	
126	730		X	Lluch Cota Daniel Bernardo	CIBNOR		Geología Marina	
127	731		X	Lluch Cota Salvador Emilio	CIBNOR		Geología Marina	
128	146	X		López Mariscal Juan Manuel	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	malope@cicese.mx
129	145	X	X	López Martínez Margarita	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	marlopez@cicese.mx
130	398	X		Lozada Zumaeta Manuel	IMP	Exploración Geofísica		manuel@orion.expl.imp.mx
131	615	X	X	Machain Castillo María Luisa	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Geología Marina	machain@ola.icmi.unam.mx
132	653	X		Magaña Rueda Víctor Orlando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	victor@belenos.atmosfscu.unam.mx
133	175	X		Marinone Moschetto Silvio G. L.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	marinone@cicese.mx
134	677	X	X	Márquez González Alvaro	UCM	Petrología y Geoquímica	Ciencias Geológicas	alvaromg@eucmax.sim.ucm.es
135	673	X	X	Martín Atienza Beatriz	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	mindundi@cicese.mx
136	2	X	X	Martín Barajas Arturo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	martin@cicese.mx
137	408	X	X	Martínez García Mario	CIBNOR	Dirección General		mmartine@cibnor.mx
138	156	X		Martínez Serrano Raymundo G.	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	rms@tonatihu.igeofcu.unam.mx
139	630	X		Martínez Zatarain Alejandro	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	martinez@udgscv.cencar.udg.mx
140	667	X	X	Matthes Miguel	APASCO	Ingeniería	Geología	
141	436	X		Mejía Trejo Adán	UABC	Investigaciones Oceanológicas	Oceanografía Física	amejia@bahia.ens.uabc.mx
142	164	X	X	Méndez Delgado Sóstenes	UANL	Ciencias de la Tierra		somendez@ccr.dsi.uanl.mx
143	631		X	Meulener Peña Ángel R.	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	ameulens@udgscv.cencar.udg.mx
144	95	X		Michaud Francois	U. P. ET M. CURIE	Laboratoire de Geodynamique	UMR GeoSciences Azur	micho@ccr.obs-vmfr.fr
145	167	X	X	Montesinos Silva Genaro	UGTO	Ciencias Agrícolas	Agronomía	genaros@dulcinea.ugto.mx
146	414	X		Monzón C.O.	UDG	CUCEI	Física Matemáticas	monzon@quantum.ucting.udg.mx
147	421	X	X	Morán Zenteno Dante Jaime	UNAM	Geología	Geoquímica	dante@tonatihu.igeofcu.unam.mx
148	173	X	X	Morandi Soana María Teresa	U. DE LOS ANDES	Laboratorio de Geofísica	Ciencias	maria@cien.ula.ve
149	619	X	X	Mortera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	Geofísica	Sismología y Vulcanología	carlosm@olin.igeofcu.unam.mx
150	608	X		Moya Juan Carlos	U. COLORADO		Geological Sciences	moya@creep.colorado.edu
151	180	X	X	Munquía Orozco Luis	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	lmunquia@cicese.mx
152	434	X	X	Murrieta José Luis	UNAM			
153	176		X	Natividad Batzabal Miguel Ángel	UVER	Meteorología Aplicada	Instrumentación Electrónica	fnava@cicese.mx
154	177	X	X	Nava Pichardo Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	enava@vmredipn.ipn.mx
155	670	X	X	Nava Sánchez Enrique H.	IPN	CICIMAR	Oceanología	afns@servidor.unam.mx
156	181	X	X	Nieto Samaniego Ángel Francisco	UNAM	UNICIT	Campus Juriquilla	cidiroax@vmredipn.ipn.mx
157	696		X	Norzagaray Campos Mariano	IPN	CIDIR	Ingeniería Tecnológica	lcomu@vallarta.cuc.udg.mx
158	182	X	X	Núñez Cornú Francisco Javier	UDG	CUC, Vallarta	Geografía y Organización Terr.	
159	183	X	X	Ocampo Torres Francisco Javier	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ocampo@cicese.mx
160	452	X		Ochoa De la Torre José Luis	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jchoa@cicese.mx
161	455	X	X	Oda Noda Bertha	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	
162	714		X	Oleshko Klaudia	UNAM	Geología	Edafología	sieba@servidor.unam.mx
163	568	X	X	Orozco Esquivel María Teresa	UANL	Ciencias de la Tierra		morozco@ccr.dsi.uanl.mx
164	665	X	X	Orta Francisco	APASCO	Ingeniería	Geología	
165	713	X		Ortiz Aleman Carlos	CISAC	Fundación J. Barros Sierra AC.	Sismología	javier@olin.igeofcu.unam.mx
166	191	X	X	Pacheco Alvarado Francisco J.	UNAM	Geofísica	Sismología	gpacheco@cibnor.mx
167	549	X		Padilla Arredondo Gustavo	CIBNOR	Unidad Guaymas	Geología	
168	189		X	Palma Guzmán Sergio Hugo	CFE	Geotermia		
169	190		X	Palma Pérez Oswaldo	CFE	Geotermia		
170	201	X		Pavía López Edgar	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	epavia@cicese.mx
171	205		X	Payero De Jesús Juan S.	UASD		Física	jpayero@tricom.net
172	202	X		Paz Moreno Francisco A.	USON	Geología		paz@geologia.uson.mx
173	66	X		Pedrin Aviles Sergio	CIBNOR	Zona Costa	Geología Marina y Geoquímica	spedrin@cibnor.mx
174	706		X	Peraza Vizcarra Ramón	UAS	Ciencias del Mar		
175	200	X		Pereyra Díaz Domitilo	UVER	Metereología Aplicada	Instrumentación Electrónica	dpereyra@speedy.coacadu.uv.mx
176	457		X	Pérez de Tejada Héctor	UNAM	CECIMAC	Física Espacial	hector@funame.ifisicaen.unam.mx
177	463		X	Pérez Enríquez Román	UNAM	UNICIT	Campus Juriquilla	roman@tonatihu.igeofcu.unam.mx
178	196		X	Pérez Flores Marco Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	mperez@cicese.mx
179	195		X	Pérez Rocha Luis Eduardo	CISAC	Fundación J. Barros Sierra, A.C	Geofísica	japerez@calafia.uabcs.mx
180	197	X	X	Pérez Venzor José Antonio	UABCS	Ciencias del Mar	Geología	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - MIEMBROS 1998 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
91	672	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22830	2732
92	113	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
93	118	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
94	99	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
95	690			Los Angeles	CA.	USA	90089-0740	
96	370	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
97	388	Tokio #921-202B	Portales	México	D.F.	México	3300	
98	570	Explanada de la Azada y Crestón		Mazatlán	Sin.	México	82040	
99	111	Circuito Inv.Cient.Cd. Universitari	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
100	126	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
101	125	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
102	572	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
103	582	Av. Sitio Grande #2000 Edif 3 1Piso	Fracc. Carrizal	Villahermosa	Tab.	México	86035	270
104	564	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
105	689	Av. del Parque #1310	Mesa de Otay	Tijuana	B.C.	México	22510	
106	387	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
107	669	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
108	127	Av. México #120	Del Carmen	México	D.F.	México	4100	
109	128	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
110	719	1215 West Dayton St.		Madison	WI	USA	53706	
111	722	Edif. U Universidad Michoacana	Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	México	58070	
112	131	De la Rivera #21		Hermosillo	Son.	México	83288	
113	130		Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
114	133	Colegio Militar #192	Esterito	La Paz	B.C.S.	México	23020	592
115	132	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
116	395	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
117	135	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
118	640	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
119	655	222 Vista Avenue		Pasadena	CA.	USA	91107	
120	598	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
121	141	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
122	399	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22830	2732
123	483	Km. 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22800	453
124	404	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
125	602	C. Pascualitos-Pescadores Km. 26.5	Cerro Prieto	México	D.F.	México	21100	
126	730	Km. 0.5 al Conchalito		Mexicali	B.C.	México	23000	128
127	731	Km. 0.5 al Conchalito		La Paz	B.C.S.	México	23000	
128	146	Km. 170 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
129	145	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
130	398	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	7730	
131	615	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	70305
132	653	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
133	175	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
134	677	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
135	673	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22830	
136	2	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
137	408	Km. 1, Carret. San Juan de la Costa	El Comitán	La Paz	B.C.S.	México	23000	128
138	156	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
139	630	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
140	667	Campos Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	D.F.	México	11550	
141	436	Km. 106 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
142	164	Carret. Cerro Prieto Km. 8	Hacienda de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	2732
143	631	A las Praderas 320	Prados Vallarta	Zapopan	Jal.	México	45020	
144	95	La Darse B-P #48		Villefranche sur Mer	Paris	France	6230	
145	167	Apartado Postal #311		Imapato	Gto.	México	36500	311
146	414	M. García Barragán y Corregidora		Guadalajara	Jal.	México	44421	
147	421	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
148	173	Yagrumo, Quinta Frailejón	Sta. María Sur	Mérida	Mérida	Venezuela	5101	
149	619	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
150	608	1300, 30th, A1-24		Boulder	CO.	USA	80303	
151	160	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
152	434	Nogueira #1		Jalapa	Ver.	México	91000	
153	176	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91090	136
154	177	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
155	670	Apdo. Postal 592		La Paz	B.C.S.	México	23000	
156	181	Targantitos #1		Guanajuato	Gto.	México	36000	
157	696	Av. Homos #1003	Ampliación Indeco	Xoxocotlan	Oax.	México	71230	
158	182	Gelati 99-1001	San Miguel Chap	México	D.F.	México	11850	
159	183	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
160	452	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
161	455	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
162	714	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
163	568	Carret. Cerro Prieto Km. 8	Hacienda de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	104
164	665	Campos Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	D.F.	México	11550	
165	713	Carret. al Ajusco #203	Héroes de Padiema	México	D.F.	México	1400	
166	191	Circuito Exterior, Cd.Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
167	549	Km. 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
168	189	Lic. Angel Compers #65	Dr. Miguel Silva	Morelia	Mich.	México	58120	
169	190	El Greco #5181	Real Vallarta	Zapopan	Jal.	México	45020	
170	201	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
171	205	Ciudad Universitaria		San Domingo		Rep. Dominicana		
172	202	Apartado Postal No. 847		Hermosillo	Son.	México	83000	847
173	66	Km. 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
174	706			Mazatlán	Sin.	México		
175	200	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91090	136
176	457	Km. 07 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2681
177	463	Domicilio Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
178	196	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
179	195	Santa María #214	Manihualco	Azcapotzalco	Edo. de México	México		
180	197	Km. 5.5 Carretera al Sur	Universitaria	La Paz	B.C.S.	México	23000	19-B

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. -MIEMBROS 1998						
No.	Miembro	97	98	Nombre	Institución	E-mail
181	788	X	X	Peterson Villalobos Héctor	LIBRA	libra@telnor.net
182	671	X		Prieto Mendoza Jesús José	UABCS	jprieto@calafia.uabcs.mx
183	207	X		Quintero Legorreta Odranoel	UNAM	odranoel@servidor.unam.mx
184	674	X	X	Ramírez Hernández Jorge	UABC	iramirez@cslam1.mdx.uabc.mx
185	638		X	Ramírez Herrera María Teresa	UNAM	mteresa@igiris.jgeograf.unam.mx
186	496	X		Ramírez Ruiz Juan José	UCOL	
187	211	X	X	Ramírez Trejo Ana Rosa		
188	212	X		Ramírez Vázquez Carlos Ariel	UCOL	carlosr@cgc.ucof.mx
189	693		X	Ramos Leal Jose Alfredo	IPN	
190	208	X	X	Randall Roberts John	UGTO	
191	213	X		Rebollar Bustamante Cecilio J.	CICESE	rebollar@cicese.mx
192	215	X		Reyes Dávila Gabriel Angel	UCOL	gabrielr@cgc.ucof.mx
193	717		X	Rocha Fernandez Jose Luis	UVER	abraxas@speedy.coacade.uv.mx
194	482	X		Rodríguez Castillo Ramiro	UNAM	rrdz@tonatiuh.jgeofcu.unam.mx
195	579		X	Rodríguez González Miguel	UNAM	mrod@gea.ingen.unam.mx
196	225		X	Rodríguez Ramírez Joel	CICESE	joel@cicese.mx
197	698		X	Rodríguez Zúñiga Jose Luis	CISAC	san2@mpsnet.com.mx
198	497	X	X	Romero Espejel J.G. Héctor	CICESE	hromero@cicese.mx
199	560	X		Romero Pascual Mercedes	UCM	romero@eucmos.sim.ucm.es
200	218	X	X	Romo Jones José Manuel	CICESE	jromo@cicese.mx
201	475	X		Rosillo Jarrillo Gerardo	IMP	gerardo@orion.expl.imp.mx
202	611	X		Rosales Álvarez Julio	CFE	
203	610	X		Rosales Grano Pedro	SEP	
204	575	X		Rosas Elguera José	UDG	jrosas@quantum.ucting.udg.mx
205	639	X		Rubio Culebras Eduardo	ICT-CSIC	erubio@ija.csic.es
206	242	X	X	Sabina Ciscar Federico	UNAM	fjs@uxmym1.iiimas.unam.mx
207	228		X	Saldaña Flores Ricardo	IMP	rsf@p.jie.org.mx
208	472	X		Saldívar Medina Eric	UMICH	
209	712		X	Sánchez Gómez Rubén	UDG	rubens@udgserv.cencar.udg.mx
210	226	X	X	Sánchez Monzó Alfredo	IMP	alfredo_sanchez@hotmail.com
211	227	X		Sánchez Zamora Osvaldo	UNAM	osvaldo@olin.jgeofcu.unam.mx
212	241	X		Santamaría Saldaña Dora Elva	CFE	
213	527	X		Sarmiento López Citlali	IMP	
214	230	X	X	Schaaf Peter	UNAM	pschaaf@tonatiuh.jgeofcu.unam.mx
215	727		X	Schultz David M.	NSSL	schultz@nssl.noaa.gov
216	233	X		Silva García Jose Teodoro	IPN	tsilva@vmredipn.ipn.mx
217	1	X	X	Singh Shri Krishna	UNAM	krishna@olin.jgeofcu.unam.mx
218	232	X		Skiba Yuri N.	UNAM	skiba@servidor.unam.mx
219	512		X	Soler Arechalde Ana María	UNAM	anesoler@tonatiuh.jgeofcu.unam.mx
220	235	X	X	Steinich Birgit	UNAM	birgit@steinich.unioct.unam.mx
221	519	X	X	Stock Joanne M.	CALTECH	jstock@gps.caltech.edu
222	634	X		Suárez Ariaga Mario Cesar	CFE	geoexpl@morelia.teesa.mx
223	231	X		Suárez Plascencia Carlos	UDG	csuarez@udgserv.cencar.udg.mx
224	515	X		Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	gerardo@olin.jgeofcu.unam.mx
225	236	X		Suárez Vidal Francisco	CICESE	fsuarez@cicese.mx
226	502	X		Suter Cargnelutti Max	UNAM	sutermx@aol.com.us
227	705		X	Tapia Armenta Juan	IPN	jitapia@citedi.mx
228	249	X		Taran Yuri	UNAM	taran@tonatiuh.jgeofcu.unam.mx
229	245	X	X	Tereshchenko Irina E.	UDG	itereshc@udgserv.cencar.udg.mx
230	532	X	X	Tolson Jones Gustavo	UNAM	tolson@servidor.unam.mx
231	604	X	X	Torres Orozco Ernesto	UCOL	etorres@cgc.ucof.mx
232	528	X	X	Trasviña Castro Armando	CICESE	travi@cicese.mx
233	622	X	X	Urrutia Cucugauchi Jaime	UNAM	juf@tonatiuh.jgeofcu.unam.mx
234	138	X	X	Valenzuela Wong Raúl	UNAM	raul@olin.jgeofcu.unam.mx
235	254	X	X	Vázquez González Rogelio	CICESE	rvazquez@cicese.mx
236	695		X	Vázquez Jaimes María Elena	CICESE	
237	725		X	Vega Granillo Ricardo	USON	rickvega@geologia.uson.mx
238	545	X		Velasco Climaco Nector	IMP	nvelasco@cicese.mx
239	543	X		Verma Jaiswal Mahendra Pal	IIE	
240	171	X		Victoria Morales Alfredo	UNAM	victoria@servidor.unam.mx
241	540	X	X	Vidal Villegas Antonio	CICESE	vidalv@cicese.mx
242	547		X	Villanueva Urrutia Elba Elsa	UNAM	eevu@mvica.atmoscu.unam.mx
243	648	X		Villegas García Cesar José	SCINTREX	cvillega@intercable.net
244	255	X		Villcaña Cruz Francisco Javier	UNAM	
245	259	X	X	Wong Ortega Victor	CICESE	vwong@cicese.mx
246	376	X	X	Yussim Guarneros Sergio	UNAM	yussim@servidor.unam.mx
247	262	X	X	Zarate Del Valle Pedro F.	UDG	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
248	707		X	Zarate Vázquez María	UNAM	mariaz@servidor.unam.mx
249	93		X	Zavala Jorge	UNAM	jgs@servidor.unam.mx
250	261	X	X	Zobin Vyacheslav M.	UCOL	vzobin@cgc.ucof.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - MIEMBROS (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
181	788	Blvd. Cuauhtémoc #3078-16	Gabilondo	Tijuana	B.C.	México	22420	
182	671	Retomo Mango #1855	Infonavit	La Paz	B.C.S.	México	23070	
183	207	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
184	674	PO Box 1136		Calexico	CA.	USA	92232	
185	638	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
186	496	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
187	211	Apartado Postal #343		Ajijic	Jal.	México	45920	
188	212	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	21694
189	693	Av. Homos #1003	Ampliación Indeco	Xoxocotlan	Oax.	México	71230	
190	208	Mineral de Valenciana #2	Marfil	Guanajuato	Gto.	México	36250	42
191	213	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
192	215	25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	21694
193	717	Altamirano 99, Apdo. Postal 628	Centro	Jalapa	Ver.	México	91000	
194	482	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
195	579	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	70472
196	225	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
197	698	Carret. al Ajusco #203	Héroes de Padilla	México	D.F.	México	1400	
198	497	Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22830	2732
199	560	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
200	218	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
201	475	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	7730	
202	611	C. Pascualitos-Pescadores Km. 26.5		Mexicali	B.C.	México	21100	
203	610	Km. 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Son.	México	85480	742
204	575	Av. Revolución #1500	Sector Reforma	Guadalajara	Jal.	México	44840	
205	639	Luis Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
206	242	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	20726
207	228	Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62001	1475
208	472	Ganadería La Laguna #38	Jardines del Toreo	Morelia	Mich.	México		
209	712	M. García Barraquán y Corregidora		Guadalajara	Jal.	México	44421	
210	226	Apdo. Postal 224	Oficina Correo	Cd. Carmen	Camp.	México	24101	
211	227	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
212	241	Zaragoza #17	Tulyehaulco	México	D.F.	México		16700
213	527	Calle 42 #28	Tacubaya	Ciudad del Carmen	Camp.	México		
214	230	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	70472
215	727	1313 Halley Circle		Norman	OK	USA	73069	
216	233	Justo Sierra #28		Jiquilpan	Mich.	México		
217	1	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
218	232	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
219	512	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
220	235	Domicilio Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
221	519	2824 Shakespeare Drive		San Marino	CA.	USA	91108	
222	634	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	7-31
223	231	Killmanjaro #1727	Independencia	Guadalajara	Jal.	México	44240	
224	515	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
225	236	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
226	502	1650 West Chimayo Place		Tucson	AZ.	USA	85704	
227	705	Av. del Parque #1310	Mesa de Otay	Tijuana	B.C.	México	22510	
228	249	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
229	245	Río Autlán #2180-34	Atlas	Guadalajara	Jal.	México	44421	
230	532	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	99074
231	604	Constitución #37	Morelos	Manzanillo	Col.	México	28217	
232	528	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
233	622	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
234	138	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
235	254	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
236	695	Km 107 carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	N.C.	México	22860	
237	725	Blvd. Transversal y Rosales	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	
238	545	Calle 42 #28	Tacubaya	Ciudad del Carmen	Camp.	México		
239	543	Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
240	171	Luis Martínez del Campo #39	R. de Terreros	México	D.F.	México	4310	
241	540	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
242	547	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
243	648	Sierra Nevada #207	Villas del Valle	Garza García	N.L.	México	66288	
244	255	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
245	259	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
246	376	Atotonilco #88	Felipe de Jesús	México	D.F.	México	7510	
247	262	Av. Revolución #1500		Guadalajara	Jal.	México	44410	4021
248	707	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	4510	
249	93	Parque del Conde #12	Sn. José Insurge	México	D.F.	México	3900	
250	261	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	



Convocan al:
XIII CONGRESO NACIONAL DE POSGRADO
"LA CONSOLIDACIÓN DEL POSGRADO ANTE LA GLOBALIZACIÓN"



14, 15 Y 16 DE OCTUBRE DE 1998

SEDE:
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
CAMPUS MAZATLÁN

El Congreso Nacional de Posgrado, es sin duda, el foro por excelencia para el análisis de la problemática de este nivel de estudios en México.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1995-2000 enfoca la globalización como un fenómeno que ofrece oportunidades, a la vez que implica nuevos desafíos para el país. En forma general, convoca a una cruzada permanente por la educación en la que converjan los esfuerzos y las iniciativas de todos los órdenes de gobierno y de los diversos grupos sociales.

En este contexto, el XIII Congreso, al igual que los doce anteriores, propugna por la identificación de vías de desarrollo para que el posgrado sea de beneficio a la sociedad mexicana y que en el marco del PND analice estrategias para consolidar el posgrado en el contexto de la globalización.

La consolidación del posgrado podrá identificarse por una dinámica académica que se traduzca en la cantidad, calidad y pertinencia de sus productos, así como de la eficacia y eficiencia en el uso de su presupuesto y particularmente por la presencia de fuentes alternas de financiamiento.

Es claro que la actividad que primordialmente caracteriza al posgrado es la investigación y que el elemento fundamental es la planta de académicos productivos, quienes soportan las actividades de investigación y de formación de recursos humanos. La planta académica de tiempo completo ideal es aquella en la que todos sus integrantes ostentan el grado de doctor. Actualmente la planta docente de tiempo completo del posgrado nacional contiene sólo el 13% (4500) de doctores y quienes en la década de 1984 a 1994 formaron aproximadamente 3000 doctores.

La pertinencia de las actividades de investigación y de los programas de posgrado se expresa a través de los productos: egresados y solución a problemas de los sectores productivos. Por lo que deben abordarse, conjuntamente, los problemas de la producción, así como de la formación de recursos humanos.

Es así que el Comité Organizador del XIII Congreso Nacional de Posgrado, adopta como tema "LA CONSOLIDACIÓN DEL POSGRADO ANTE LA GLOBALIZACIÓN".

SUBTEMAS

- a. PROGRAMAS DE POSGRADO INTERINSTITUCIONALES,**
- b. PRESENCIA DE LOS EGRESADOS DEL POSGRADO EN LA SOCIEDAD,**
- c. DIVERSIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO DEL POSGRADO, Y**
- d. PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA COMPETITIVIDAD DEL POSGRADO.**

PROGRAMA GENERAL:

INAUGURACIÓN
CONFERENCIAS MAGISTRALES
FOROS DE DISCUSIÓN
PRESENTACIONES ORALES EN LOS FOROS POR INVITACIÓN
CARTELES
EXPOSICIÓN DE TRABAJOS LIBRES
CONCLUSIONES

COMITÉ ORGANIZADOR

Dr. Enrique Piña Garza
Dr. J. Enrique Villa Rivera
M.C. Jaime Muñoz Flores
Dr. Rafael Valdéz Aguilar

UNAM
IPN
UAM
UAS

REGISTRO DE TRABAJOS LIBRES

La fecha límite improrrogable, para la recepción de los resúmenes de las propuestas de trabajos libres será el 7 de agosto de 1998. El título es importante ya que permitirá la comisión de evaluación ubicar el trabajo respecto de la temática del congreso. Incluya los datos de identificación: nombre de autor(es), domicilio (calle, colonia, ciudad, código postal), institución de procedencia, teléfono(s) de oficina y domicilio y correo electrónico, para mayor detalle consulte las páginas web. Enviar los documentos a la Universidad Nacional Autónoma de México, directamente por fax o por correo.

EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJOS LIBRES

Las bases para la presentación de los trabajos se detallan a continuación:

- El área disponible para cada trabajo será de 0.80m. x 0.80m y el montaje será responsabilidad del autor debiendo hacerlo al menos una hora antes de la inauguración.
 - Incluir título, autor(es) e institución de procedencia.
 - El Comité Organizador no proporcionará apoyo para la elaboración de los trabajos.
- Para considerar la publicación del trabajo en la Revista OMNIA, se deberá entregar en extenso durante el Congreso. La extensión máxima será de 7 cuartillas a doble espacio, incluyendo material gráfico.

INFORMES Y RECEPCIÓN DE TRABAJOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dirección General de Estudios de Posgrado. Dra. Ma. Dolores Ramírez González. Edificio Administrativo No. 2, C.U., Av. Universidad No. 3000 México, D.F. C.P. 04510. Tels: (01-5) 622-23-40 y 622-23-42, Fax: 616-22-97. Apdo. P. 70-508.

E-mail: mdrg@servidor.unam.mx

INFORMES:

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación. M. en C. Eduardo Meza Olvera. Edificio de la Secretaría Académica, 2º piso, Av. Luis Enrique Erro s/n, México, D. F. C.P. 07738. Tel: Conmutador (01-5) 729-60-00 Exts: 50492, 50493 y Fax: 50496.

E-mail: villa@vmredipn.ipn.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

Coordinación General de Investigación y Posgrado. M. en C. Ramón Medina Sánchez. Angel Flores No. 335 Pte. Culiacán Rosales, Sinaloa. C.P. 80000. Tels. y Fax: (01-67) 13-02-32, 13-65-02

E-mail: cqjp@uas.uasnet.mx

INFORMES, PAGOS E INSCRIPCIONES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dirección de Planeación y Desarrollo Institucional. M. en C. Graciela Sánchez Guevara. Joselillo 6-A, 10º piso, Col. El Parque, Naucalpan de Juárez, Estado de México, C.P. 53390. Tels: (01-5) 724-41-10 y 724-41-11, Fax: 557-68-85.

E-mail: gcg@correo.uam.mx

Cuota de Inscripción \$500.00

**PAGO DE INSCRIPCIÓN A LA
CUENTA No. 271 DE BANAMEX,
SUCURSAL NO. 4346, TOREO
GRACIELA SÁNCHEZ GUEVARA**

NOTA: SÓLO SE DARÁ CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN DE TRABAJOS A LOS AUTORES INSCRITOS



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

REUNIÓN ANUAL 1998 Puerto Vallarta, Jal., México 9 - 13 de Noviembre



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

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

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

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

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

Victor M. Frías Camacho
Geología/CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, B.C., 22860, México
Tel: 01(61) 744-501 al 08, Ext: 26035
Fax: 01(61) 750-559
E-mail: ugm@cicese.mx

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

Fecha límite para recibir resúmenes - Agosto 31, 1998

Sede: Hotel Camino Real Puerto Vallarta

Puerto Vallarta, Jal., México

Reservaciones:

Tel: 01 (322) 15-000
Fax: 01 (322) 16-000

Costo por habitación doble o sencilla:
\$ 550.00 + impuestos y propinas

Para reservaciones llenar el formato anexo y enviar vía fax directamente al hotel.

Las cuotas, incluyendo el libro de resúmenes son:

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

Registro en el hotel sede desde el 8 de Noviembre a partir de las 16:00 hrs.

Todos los pagos se efectuarán durante el registro en el hotel.



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
REUNIÓN ANUAL 1998
9 - 13 de Noviembre
HOTEL CAMINO REAL PUERTO VALLARTA



FORMA PARA RESERVACIÓN

Nombre del participante: _____
Fecha de llegada: _____ Fecha de salida: _____
Dirección: _____ Ciudad: _____
Teléfono: _____ Fax: _____

Categoría de habitación solicitada:

Torre Principal () \$550.00 + IVA + 2% impuesto hospedaje
Camino Real Club () \$1,000.00 + IVA + 2% impuesto hospedaje
(incluye frutero a la llegada, desayuno continental, 1 hora de coctel c/canapés 5-6 pm).
Solicitud especial de habitación: KING: () DBL-DBL: ()
(esta será asignada en base a disponibilidad)

Cargos adicionales:

Propina a Botones \$32.00 pesos por persona, entrada y salida
Propina a Camaristas \$16.00 pesos por habitación por noche
(los cuales serán cargados a su cuenta individual)

Garantía de pago: Importe de 1 noche

Depósito a Banco Banamex, cuenta 73667-4, Suc. 34, en Puerto Vallarta, Jal. México.

Favor de enviar copia de ficha de depósito con este formato de reservación directamente al Hotel Camino Real Puerto Vallarta al Fax: (322)16000.

Las cancelaciones recibidas después del 01 Septiembre de 1998, estarán sujetas a un cargo por concepto de una noche de renta más impuestos.

HOTEL CAMINO REAL PUERTO VALLARTA
PLAYA LAS ESTACAS S/N
PUERTO VALLARTA, JAL., MÉXICO, 48300
TEL.: (322)15000 FAX: (322)16000



LA ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA MEXICANA

Realizará su Reunión y Asamblea Anual como asociación huésped de Unión Geofísica Mexicana durante los días 9 al 13 de noviembre de 1998 en el Hotel Camino Real, Puerto Vallarta, Jal.

En su carácter de huéspedes los miembros de AGM serán considerados como miembros activos de UGM.

La información sobre costos y reservaciones se encuentra en www.ugm.org.mx o en las páginas de esta revista.

INFORMACIÓN:

M.C. Alfonso Aragón Aguilar
Depto. de Geotermia, IIÉ
e-mail: aaaron@iie.org.mx

Dr. Alfonso García Gutiérrez
Depto. de Geotermia, IIÉ
e-mail: aggarcia@iie.org.mx

Dra. Rosa María Barragán
Depto. de Geotermia, IIÉ
e-mail: rmb@iie.org.mx

M.C. José Manuel Romo Jones
Depto. de Geofísica Aplicada, CICESE
e-mail: jromo@cicese.mx



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



RESPONSABLE: QUÍM. RUFINO LOZANO SANTA CRUZ
DEPTO DE GEOQUÍMICA
Cd. Universitaria, C.P. 04510, México, D.F.
Fax: (5)622-4317
E-mail: rufino@servidor.unam.mx

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

25 Elementos Mayores y Traza

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

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

10 Elementos Mayores y Pérdida por Calcinación o 15 Elementos Traza

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

Determinaciones Complementarias

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

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

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

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

Nota: Sin la solicitud de análisis y la lista de muestras no se iniciará ningún estudio.

Las muestras deberán ser enviadas en polvo molido (al menos 20 g), aproximadamente a 200 mallas, en caso de requerir del uso del taller de molienda del IGLUNAM, el cargo será de \$75.00/ hora.



Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA

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

GEOFÍSICA APLICADA

Exploración Geofísica
Simulación Numérica
Problemas Inversos
Electromagnetismo
Geofísica Marina
Geohidrología

SISMOLOGÍA

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

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

Para mayores informes dirigirse a:

CICESE

Dirección de Estudios de Posgrado
Apartado Postal 2732

Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada
Ensenada, Baja California

C.P. 22860, México

Tel. 01(61)745-050 Ext. 23001

Fax: 01(61)744-880

<http://www.cicese.mx>



Maestría y Doctorado en Ingeniería Hidráulica



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

Las asignaturas que se imparten son, entre otras:

Hidráulica General
Métodos Matemáticos
Mecánica de Fluidos
Hidrología de Superficie

Irrigación y Drenaje
Geohidrología
Métodos Numéricos
Obras Hidráulicas

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

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



POSGRADO
EN

Geofísica

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 SUBTERRÁNEAS
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

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



ASOCIACION
GEOTERMICA
MEXICANA

Información:

M.C. Alfonso Aragón Aguilar
Depto. de Geotermia
IIÉ
e-mail: aaragon@iie.org.mx

Dr. Alfonso García Gutiérrez
Depto. de Geotermia
IIÉ
e-mail: aggarcia@iie.org.mx

Dra. Rosa María Barragán
Depto. de Geotermia
IIÉ
e-mail: rmb@iie.org.mx

M.C. José Manuel Romo Jones
Depto. de Geofísica Aplicada
CICESE
e-mail: jromo@cicese.mx

Asociación Geotérmica Mexicana

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

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

INSTRUCCIONES PARA AUTORES DE ARTÍCULOS

POLÍTICA EDITORIAL

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

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

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

Cuando el autor reciba la notificación 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 sólo en la primera letra del título y para los nombres propios. Incluya el nombre completo de la revista o editorial que la publicó, volumen y páginas. Por ejemplo:

Alvarez-Borrego, S., 1996, Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity, *Geofísica Internacional*, 35, 51-61.

Lomnitz, C., 1995, Diez años después: Una reinterpretación de la catástrofe de 1985, *en*: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, *La Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1)*, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 2, 61-67.

Ripa, P., y Velázquez, G., 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, 32, 41-56.

Sánchez-Sesma, F.J., and Luzón, F., 1994, Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 269-284.

Unidades

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

densidad en g/cm³

presión en bar

intensidad del campo magnético en gammas

Expresiones matemáticas

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

Figuras

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

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

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

GEOS

FORMA DE ARBITRAJE (cualquier tipo de trabajo)



AUTOR (ES): _____

TÍTULO: _____

	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, A.C.
que la cuota para 1998 es de \$200.00 para investigadores
y \$150.00 para estudiantes.**

página internet: www.ugm.org.mx

Favor de hacer llegar su cuota a:

María Guadalupe Martínez Vázquez
Depto. de Geología,
División de Ciencias de la Tierra,
CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, Baja California, México

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

Con un cordial saludo

**Luis A. Delgado Argote
Secretario de Difusión**

GEOS

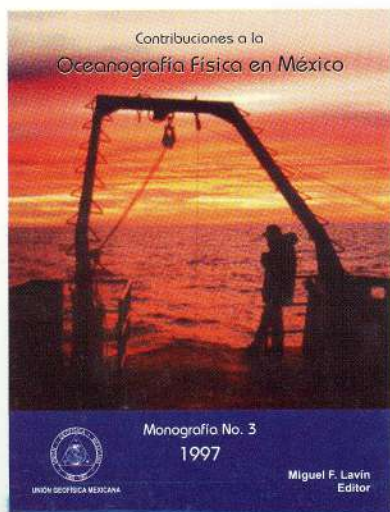
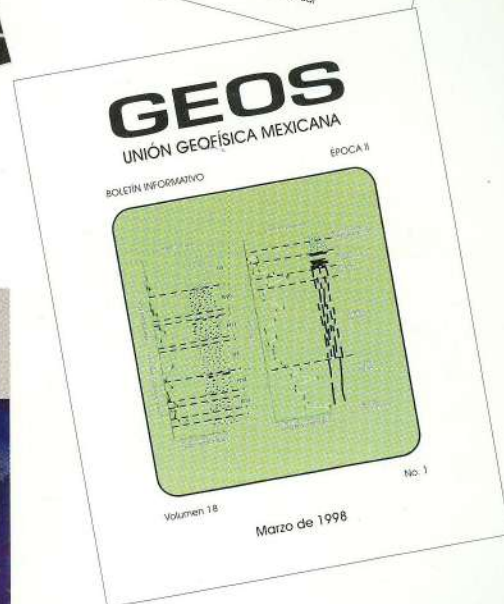
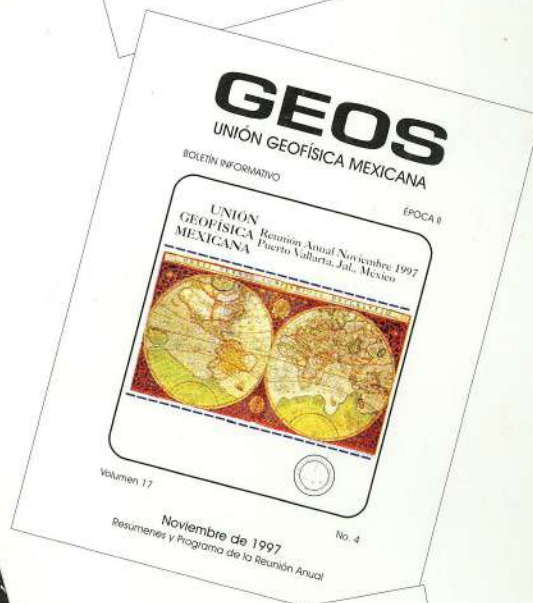
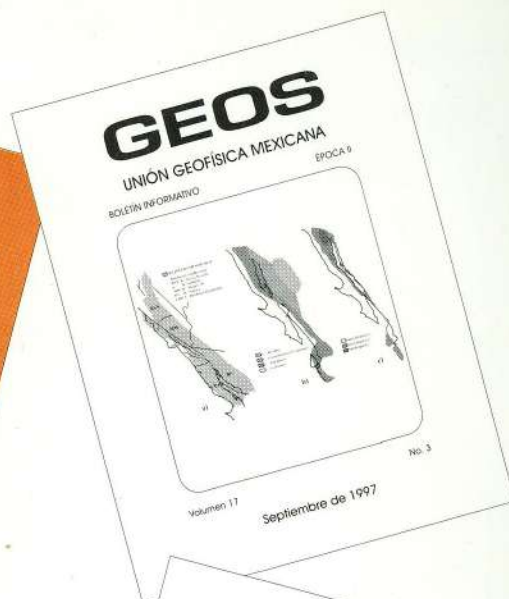
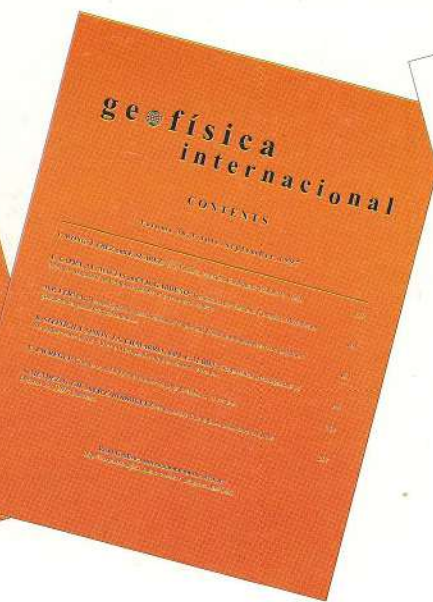
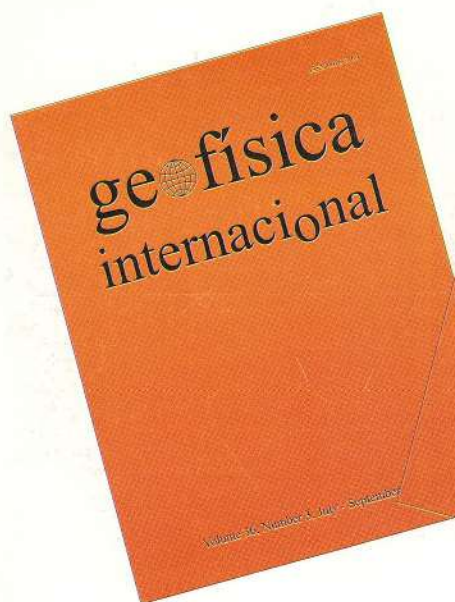
Revista a la venta con:

María Guadalupe Martínez Vázquez
Depto. de Geología,
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(61)744-501 al 08
Ext: 26035
E-mail: gmartine@cicese.mx

Costo del ejemplar \$50.00

Araceli Chaman
Depto. de Posgrado
Instituto de Geofísica
Tel: 01(5) 622-4130 y 622-4137
E-mail: achaman@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx





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