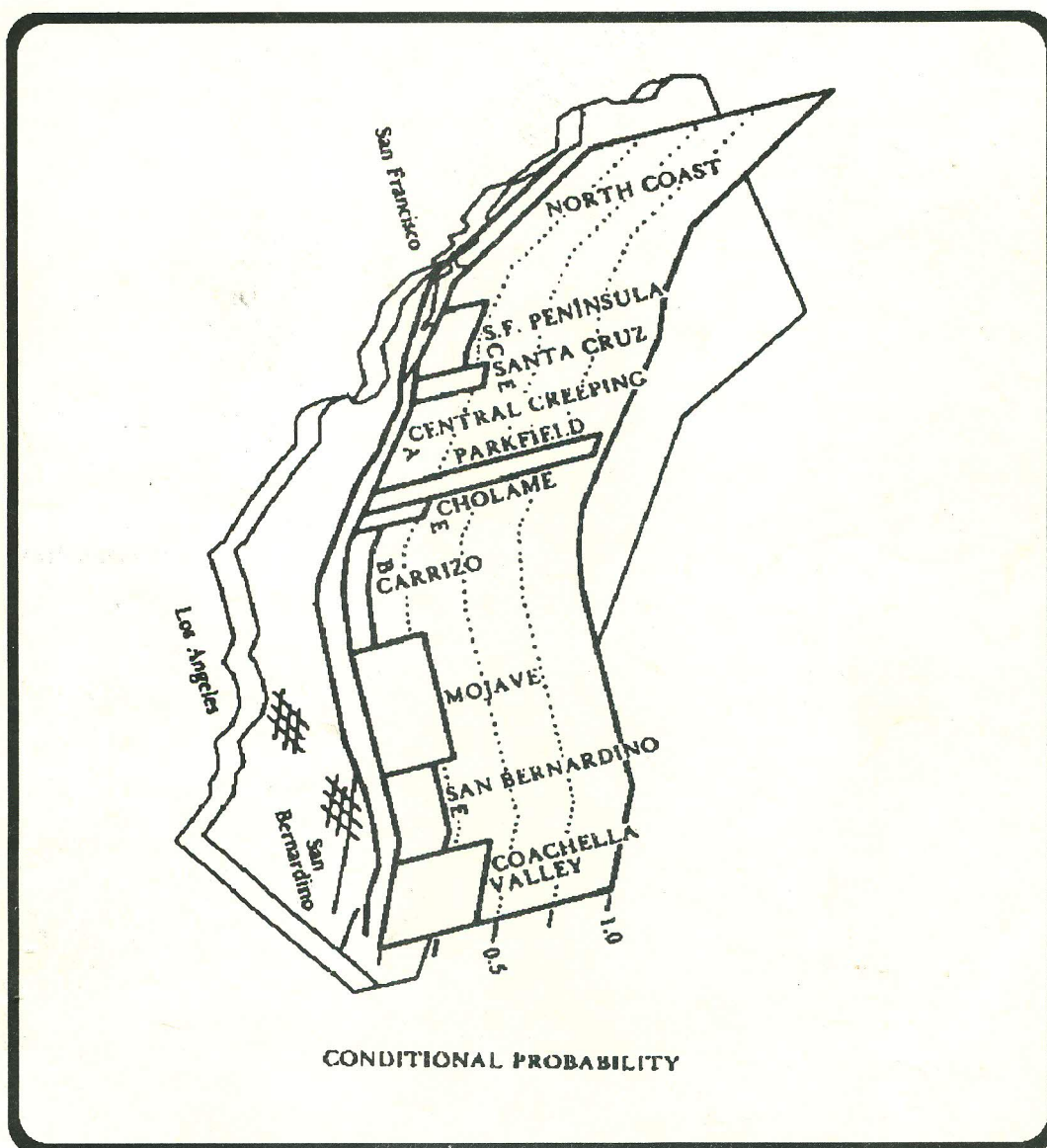


GEOS

UNION GEOFISICA MEXICANA

BOLETIN INFORMATIVO,

EPOCA II



Volúmen 10

No. 2

Abril de 1990

GEOS

Organo Informativo de la Unión Geofísica Mexicana.

(ISSN 0186-1891)

EDITOR: José Manuel Romo Jones

COMITE EDITORIAL: Juan M. Espíndola Castro, Francisco Medina, Laura Martínez
Ríos, Armando Reyes Serrato, Jaime Yamamoto.

(Esta edición ha sido diseñada y formada con ayuda del Instituto de Física de la UNAM, Ensenada)

Toda correspondencia dirigirla a:

CICESE

At'n.: José Manuel Romo J.

Av. Espinoza #843,

Ensenada, B.C. C.P. 22830

FAX: 91-667-449-33 ó 607-61

Tel.: 91-667-449-66

UNION GEOFISICA MEXICANA*

Presidente:	Dr. Mario Martínez	(CICESE)
Vicepresidente:	Dr. Juan M. Espíndola	(IGF-UNAM)
Tesorero:	M.C. Francisco Medina	(IGF-UNAM)
Srio Gral.:	M.C. Francisco Suárez	(CICESE)
Srio. Difusión:	M.C. José M. Romo	(CICESE)
Srio. Educación:	Dr. Juan M. Barbarín	(FCT-UANL)
Srio. Investigación:	Dra. Silvia Bravo	(IFG-UNAM)

* La Unión Geofísica Mexicana (UGM) es la Sociedad Civil no lucrativa de los profesionales de la Geofísica y Ciencias relacionadas.

INDICE

Editorial	1
A 50 años del temblor del 18 de mayo de 1940. por Javier González	2
Humor Geofísico por Yamas	4
Vulcanografía por Juan M. Espíndola y Francisco Medina	5
Predicción de Sismos: Una ojeada al futuro por Cinna Lomnitz	9
Levantamientos geofísicos en dos áreas geotérmicas en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California, México por Juan Manuel Espinosa, Lev Zonenshine, Ivan Norrich, Eric Popof	20

EDITORIAL

Durante el presente año estamos editando el volumen 10 de nuestro boletín GEOS. La empresa no ha sido fácil, algunos volúmenes no han salido completos y aún no logramos que la revista salga regularmente.

Pero seguimos considerando muy importante dicha empresa, ya que el difundir la investigación que realizamos en el área de las Ciencias de la Tierra es uno de los objetivos de la Unión.

Actualmente nuestro boletín es recibido en casi todas las universidades del país y diversas bibliotecas de Europa y de los Estados Unidos solicitan la publicación a manera de intercambio.

Con el objeto de darle nueva vida al boletín hemos decidido publicar, en los diversos números del año, los resúmenes extensos que eran enviados para la publicación de las memorias de nuestra reunión anual. En esta forma, ya no publicaremos memorias, pero esperamos seguir contando con las contribuciones de los participantes a las reuniones.

Continuamos tratando de darle mayor difusión al boletín en el ámbito nacional y regularizar tanto la fecha de edición como su distribución.

A 50 años del temblor del 15 de mayo de 1940, $M_s \sim 7.0$, en Mexicali, B. C.

por Javier González *

El 18 de Mayo de 1940, gran parte de la depresión Salton ubicada en la región sureste del Sistema de Fallas de San Andrés fué sacudida por varios movimientos telúricos. Al mayor de ellos se le estima una magnitud de 7.0 en la escala de Richter. Este no ha sido el sismo de mayor magnitud que se haya presentado en la frontera entre los Estados de California y Baja California, en tiempos históricos, pero fué el primero en ser registrado localmente con instrumentación sismológica apropiada para su aprovechamiento en ingeniería civil.

Con la ocurrencia del temblor principal se produjo una ruptura del terreno de más de 60 km de longitud. Este rasgo geológico se denomina Falla Imperial y está dividido a partes iguales por la línea internacional que separa políticamente al Valle Imperial, al norte, del Valle de Mexicali, al sur.

Debido al colapso de diferentes edificios fallecieron 7 personas del Valle Imperial y, citas no confirmadas, señalan la muerte de por lo menos tres residentes del Ejido Tamaulipas en Mexicali.

Las obras de irrigación atravesadas por esta falla fueron seriamente dañadas. El canal "All American" en el Valle Imperial, en

proceso de construcción en aquella época, tuvo un desplazamiento horizontal transversal de cerca de 6 metros. Los canales Alamo y Solfatara, en el Valle de Mexicali, que suministraban el agua para el riego y para uso de los habitantes de ciudades y poblaciones de ambos valles, quedaron totalmente fuera de operación por varios días. Además la falta de agua para uso doméstico se vió interrumpida, también por la caída de algunos tanques de almacenamiento soportados por torres, como ocurrió en las ciudades de Imperial y Holtville en E.U.A.

Han transcurrido ya 50 años de este evento natural y nos encontramos ahora con la presencia de varias poblaciones importantes ubicadas en la proximidad de la Falla Imperial. La población de la ciudad de Mexicali y su valle, se considera próxima a un millón de habitantes, más de 20 veces mayor que en 1940.

Por razones socio-económicas y evidentemente por la ubicación de las vías de comunicación existentes, incluyendo al aeropuerto local, el crecimiento de la ciudad de Mexicali tiene una marcada tendencia a dirigirse hacia el este y sureste, acercándose cada vez más a la traza superficial de la falla. Se habla ya del

"Mexicali II" para designar un proyecto de desarrollo urbano que albergaría a 500,000 nuevos habitantes.

Recientemente, la necesidad de establecer una nueva garita internacional llevó a las autoridades estatales y federales, a proponer un sitio para su ubicación física en la colonia agrícola San Isidro, a unos 2.5 km al oriente de la colonia urbana Imperial, precisamente encima de la Falla Imperial. En forma simultánea e independiente, se desarrollaba la localización física de la traza superficial de la falla en el municipio de Mexicali. El avance de este trabajo permitió que dichas autoridades, al tener conocimiento de la condición geológica del sitio propuesto, se desistieran de continuar los trabajos de ingeniería preliminar que ya se llevaban a cabo, buscando una localización en un lugar más seguro. Esta medida impidió el pronto establecimiento de un nuevo núcleo con edificios dedicados a diversas actividades urbanas que expondrían, innecesariamente, a sus pobladores a un alto riesgo sísmico.

Las autoridades, en sus tres niveles deberán impedir cualquier asentamiento humano en esta zona claramente calificada como de elevado riesgo.

Estudios formales sobre las con-



diciones geológicas de la misma ciudad de Mexicali y de otras ciudades de Baja California, deberán realizarse con el propósito de identificar y limitar las zonas expuestas a riesgo.

Paralelamente, se debe lograr el desarrollo de la conciencia en la población sobre los riesgos de origen geológico y sísmico que tenemos los habitantes de esta región ubicada en la zona de influencia de la Falla Imperial y de fallas que se encuentran en el entorno geológico regional que pueden causar serios daños a las obras civiles. Un claro ejemplo lo tuvimos con el temblor del 24 de noviembre de 1987 ocurrido sobre la Falla Supersition Hills a 50 km de distancia de Mexicali, el cual causó serios daños a algunos edificios, incluyendo al Hospital General de la Secretaría de Salud.

Para conmemorar el temblor de 1940, se organizaron en Mexicali, B.C., las siguientes actividades:

- 1) El simposium "A 50 años del Sismo de Mayo de 1940", organizado por el Colegio de Ingenieros Civiles de Mexicali, A. C.,
- 2) Un simulacro de evacuación, para caso de temblor, de empleados y funcionarios de los edificios de los poderes ejecutivo, legislativo y judicial del Estado de Baja California, delegaciones del Gobierno Federal y Gobierno Municipal, ubicados todos, en el Centro Cívico de la Ciudad de Mexicali.

Esta actividad fué organizada por la Unidad Municipal de Protección Civil.

La inauguración del simposium, llevado a cabo los días 6 y 7 de abril de 1990., corrió a cargo del Lic. Alfredo Felix Buenrostro Ceballos, Rector de la Universidad de Autónoma de Baja California. Una lista de ponencias, y expositores se presenta a continuación:

"Testimonios de Sismos en la Zona". Ing. Eduardo Rubio.

"Tectónica de Placas y Deriva Continental". Ing. Eduardo Paredes.

"Riesgo Sísmico". Dr. Alfonso Reyes.

"Sismos Registrados e Instrumentación". Dr. Luis Munguía.

"Localización de Fallas Sísmicas Activas". M.C. Javier González.

"Aslamiento Sísmico". Ing. Nefalí Rodríguez.

"Respuesta de Edificios y su Riesgo Sísmico". Dr. Armando Flores.

"El comportamiento Sísmico de Estructuras de Concreto". Dr. Roberto Nell.

"El Centro Nacional de Prevención de Desastres". Dr. Roberto Nell.

"Evaluación Histórica de los Reglamentos para Diseño Sísmico". Ing. Oscar de Buen.

"Sistema Nacional de Protección Civil". Lic. Armando Mendez.

"Protección Civil Estatal". Ing. Juan José Sánchez.

"La Unidad Municipal de Protección Civil". Cmte. Alfonso Esquer.

"El Avance de la Ingeniería Sísmica en el mundo". Dr. Luis Esteve.

Como colofón del simposium se firmó el convenio de cooperación entre la Unidad Municipal de Protección Civil y el Colegio de Ingenieros Civiles de Mexicali, A. C., con objeto de realizar peritajes de calificación previos, a los edificios clasificados como del grupo "A" (los más frecuentados por el público) y efectuar la revisión respectiva, después de eventos sísmicos de importancia.

Durante el simulacro de evacuación efectuado el 18 de mayo de 1990, participaron más de 3000 personas, las cuales recibieron previamente instrucciones sobre que hacer antes, durante, y después de la ocurrencia de un temblor. Se efectuó la evacuación de edificios de hasta 5 niveles, resultando una persona herida durante el simulacro.

* Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C.

"HUMOR GEOFISICO"

por Yamas

INFLACION...

En un banco de la Ciudad de México se lee el siguiente anuncio: "CAJA RAPIDA. RETIROS MENORES DE 10 MILLONES SIN CARRITO DE AUTOSERVICIO".

SOCIEDAD...

En un Video Centro un cliente desesperado porque todas las películas que solicita estaban rentadas pidió: "HEAD CLEANER by SONY".

SOCIOLOGIA...

Actualmente se está estudiando a la población del III mundo para entender el comportamiento del conejo.

EVENTOS CULTURALES...

Con emotiva ceremonia fue inaugurado el primer "Jardín de Naturaleza Muerta" auspiciado por el grupo ecológico Napalam y Amigos de la Motosierra

MATEMATICAS...

Dada la importancia que han cobrado, en el próximo Congreso de Matemáticas se planea una sesión especial de Teoría de Grupos, estarán presentes los Cien de Ecología, los Ocho de la Paz, los Siete Desarrollados y los 299 de Legorreta.

DEFINICIONES...

Ingeniería Genética: "Disciplina que permite ver el futuro hoy..."

Cirugía Plástica: "Rama de la medicina que permite ver el pasado hoy..."

ASTRONOMIA...

¿Serán las manchas solares una evidencia de que el sol está sujeto a "stress"?

ECOLOGIA...

En el estuche de un modelo a escala de un autobús urbano, Ruta-

100, se lee el siguiente aviso: "Baterías y humo se venden por separado".

BIBLIOTECOLOGIA...

Los técnicos han hecho un patético descubrimiento: los libros se están autodestruyendo lentamente. No hay duda, las palabras se las lleva el viento...

INCONGRUENCIAS...

Un niño le pregunta a su padre: ¿Porqué si la maestra dice que el metro es una unidad de medida fija que se guarda en la Oficina de Pesos y Medidas, en la T. V. anuncian que el metro de la ciudad crece?

DEFINICION...

Premio Nacional: reconocimiento que algunas veces se otorga por méritos académicos y que faculta al galardonado a enjuiciar a toda la humanidad".

"Volcanografía"

por Juan M. Espíndola * y Francisco Medina *

Durante muchos años el muy conocido libro de Rittman "Volcanoes and their Activity" ocupó un lugar destacado y en muchos sentidos único en la biblioteca del Vulcanólogo. Desde su primera impresión en alemán en 1936, hasta sus traducciones al inglés y francés aparecidas en 1962 y 1963, el libro permaneció prácticamente como la única referencia sintetizadora explícitamente dedicada al estudio de los fenómenos volcánicos. Aún en la actualidad la obra de Rittman es una lectura formativa e informativa, lo cual demuestra su valor científico y didáctico. Esto no quiere decir que no existieran otras referencias o trabajos científicos sobre un tema que es central en la Geología y las Ciencias de la Tierra en general, baste considerar que el "Bulletino del Vulcanismo Italiano" había aparecido en 1874 y el "Bulletin Volcanologique" en 1924. Por otro lado, existen publicaciones monográficas sobre eventos particulares como la que apareció publicada por el Krakatoa Comité, en Londres, en 1888; publicaciones de este tipo fueron usuales a lo largo del siglo XIX.

Sin embargo, debido al acelerado desarrollo de la Ciencia y al aumento constante en el caudal de información vulcanológica, en los 20 años precedentes y en forma particular durante los últimos 10 años han sido publicadas un buen número de obras cuya consulta se hace necesaria para quien se interese en los procesos volcánicos.

Este caudal incluye desde textos introductorios hasta monografías especializadas en aspectos particulares del volcanismo, incluyendo también monografías multidisciplinarias a eventos volcánicos particulares como la erupción del Volcán Santa Helena en los Estados Unidos o el Volcán Tolbachik en la Unión Soviética.

En los párrafos siguientes presentamos una breve lista de las publicaciones cuya consulta consideramos muy valiosa para quien desee introducirse a esta área del conocimiento. Desde luego no pretendemos que nuestra lista sea exhaustiva, sino meramente descriptiva de la literatura más fácilmente disponible en nuestro país; adelantemos que casi toda ella es literatura en idioma inglés siendo escasa las obras en español. Por otra parte, una selección de publicaciones necesariamente involucra la preferencia o formación del seleccionador, aspecto que puede limitar su representatividad; así, no se hace referencia, en este escrito, a material primordialmente geológico o petrológico.

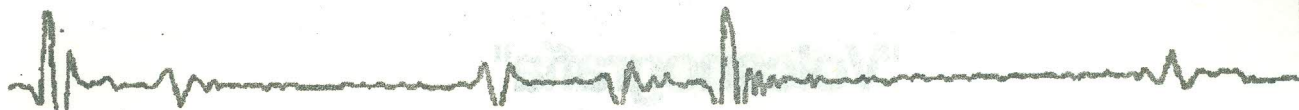
Catalogar material bibliográfico de una ciencia multidisciplinaria como la Vulcanología no es tarea trivial puesto que sabemos que todas sus partes están interrelacionadas y el traslape es inevitable; así, la separación por temas es solo una aproximación de

primer orden al contenido de las obras. Con estas consideraciones iniciales, veamos algunas de las obras a que hacemos referencia.

Sin lugar a dudas una referencia obligada es la que editaron L. Civetta, P. Gasparini, G. Luongo y A. Rapolla, en 1974, referente a la aplicación de diferentes métodos de la Geofísica al estudio de los volcanes activos. Aún cuando en muchos aspectos dicha obra ya no puede considerarse como una obra al día, continúa siendo excelente punto de partida para estudios posteriores sobre los temas que trata.

Una revisión más reciente de los métodos y técnicas del pronóstico del peligro volcánico es la que editaron Tazieff y Sabroux (1983), esta obra nos muestra que aún cuando el caudal de datos sobre erupciones volcánicas se ha incrementado en forma notable durante los últimos quince años, aún no es posible establecer un marco general respecto a la conducta eruptiva de los volcanes.

Como referencia al tema de las erupciones volcánicas podemos mencionar los textos de la UNESCO (1984), así como el boletín publicado por la UNDRO y la UNESCO en 1985 referente al manejo de casos de emergencia volcánica y el texto de Blong (1984) sobre los efectos de las erupciones volcánicas. Algunos capítulos de la monografía editada



por Sheets y Grayson (1984) tratan temas relacionados con el aspecto mencionado en el párrafo anterior; pero este libro también trata otros temas que podrían catalogarse como de geografía del vulcanismo en el sentido de que toca aspectos físicos, sociales y económicos del impacto del vulcanismo.

El estudio de los depósitos volcánicos y sobre todo los resultantes del vulcanismo explosivo ha cobrado gran impulso a través del análisis morfológico de los depósitos (y de sus componentes), así como de los estudios de la estratigrafía de los mismos y de su interpretación en términos de los mecanismos físicos de depositación. En este aspecto resultan extremadamente útiles las monografías de Chapin y Elston (1979), la de Self y Sparks (1981) y los libros de Fisher y Schmincke (1984) y de Helken y Wholetz (1986). Respecto al estudio de los depósitos volcánicos usando técnicas de microscopía electrónica de barrido, están los libros editados por Sheridan y Barberi (1983) y Marshall (1987).

Como anteriormente para la sismología, el tránsito de la vulcanología hacia un estado más cuantitativo involucra la comprensión de los procesos físicos y químicos del vulcanismo y la expresión de los detalles significativos a través de un modelo físico-matemático. A este respecto resulta interesante la lectura de la disertación presentada por Sparks (1988) con motivo de su aceptación del premio Wager que

otorga la Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), en ella el autor discute e ilustra brevemente el fructífero tratamiento de ciertos problemas vulcanológicos a través del formalismo de la mecánica de fluidos. De interés en este sentido resultan las monografías de Hargraves (1980), Shimozuru y Yokiyama (1983), Arakami y Kushiro (1983) y del Geophysics Study Comité (1984). El reciente libro editado por Tilling (1989) y publicado por la Unión Geofísica Americana puede dar un panorama actual de los estudios que utilizan el formalismo de la mecánica de fluidos.

Por lo que cabe a monografías dedicadas a erupciones recientes, debemos mencionar la de Lipman y Mullineaux (1981) acerca de las erupciones del Volcán Santa Helena, la de Fedotov y Markhinin (1983) acerca de las erupciones del Tolbachik y la del Instituto de Geología de la UNAM (1983) y Luhr et. al., (1984) acerca de las erupciones de 1982 del Volcán Chichón.

En lo tocante a libros de texto quisieramos mencionar el de Williams y McBirney (1979) y el de Araña y Ortíz Ramis (1984), este último escrito en idioma español. Aunque existen otros libros a nivel introductorio (p. ej. MacDonald, 1972) los libros mencionados cubren aspectos más generales y la presentación es más idónea para los cursos formales de introducción a la Vulcanología.

Un aspecto poco estudiado en México es el referente al Volcanismo Basáltico y Volcanismo Submarino. Sería conveniente recordar que los dos tipos de Volcanismo tienen lugar en las cercanías del litoral del Pacífico Mexicano y en el Golfo de Baja California. Algo similar podríamos comentar referente al estudio de las calderas volcánicas. A este respecto podemos mencionar el libro publicado por el Basaltic Volcanism Study Project (1981) y las recientes secciones del Journal of Geophysical Research; Calderas and Associate Igneous Rocks editado por Lipman, Self y Helken (1984), The origin and Evolution of Sea Mounts editado por Watts (1984) y el libro editado por Mysen (1987).

Para finalizar no deben olvidarse tres grandes obras de referencia sobre erupciones volcánicas: el Catalogue of the Active Volcanoes of The World publicado por el IAVCEI en diferentes secciones desde 1950 hasta 1970, Volcanoes of The World editado por Simkin et. al., (1981) y publicado por la Institución Smithsonian. Este último pretende actualizar el catálogo del IAVCEI; y para concluir debemos mencionar el Global Volcanism 1975-1985 editado por McClelland et. al., (1989) y publicado por la American Geophysical Union. Este libro recopila toda la información referente a erupciones volcánicas que han ocurrido durante el período 1975-1985; dicha información fue publicada mensualmente en el boletín SEAN (Scientific Events Alert Network), en



el cual se reportaban eventos sísmicos, volcánicos y meteoríticos. Debido a que la sección de eventos volcánicos fue la más voluminosa e importante, el boletín SEAN cambió de nombre por el de Global Volcanism Network y continua publicandose mensualmente pero con el nuevo nombre y formato desde enero de 1990.

REFERENCIAS

- Araña Saavedra V. y R. Ortis Ramis. 1984. *Volcanología*.
- Arakami S. and Kushiro I. (Eds.). 1983. *Arc Volcanism*. Elsevier Pub. Co. Amsterdam.
- Bolong R. J. 1984. *Volcanic Hazards. A sourcebook on the effects of Eruptions*. Academic Press Int.
- Basaltic Volcanism Study Project. 1981. *Basaltic Volcanism on The Terrestrial Planets*. Pergamon Press, N. Y.
- Civetta L., Gasparini P., Luongo G. and Rapolla A. (Eds.). 1974. *Physical Volcanology*. Elsevier, Amsterdam.
- Chapin C. E. and W. E. Elston (Eds.). 1979. *Ash Flow Tuffs*, Geological Society of America. Special paper 180.
- Fedotov S. and Ye. K. Markhinin (Eds.). 1983. *The Great Tolbachik Fissure Eruption. Geological and Geophysical data 1975-1976*. Cambridge Univ. Press.
- Fisher R. and Schmincke H. 1984. *Pyroclastic Rocks*. Springer Verlag.
- Geophysics Study Comitee. 1984. *Explosive Volcanism: Inception, Evtion and Hazard*. National Research Council, National Academy Press. Washington, D. C.
- Hargraves R. B. 1980. *Physics of Magmatic Processes*. Princeton University Press.
- Helken G. and Wohletz K. 1986. *Volcanic Ash*. University of California Press.
- IAVCEI. *Catalogue of Active Volcanoes of The World*. Rome.
- Instituto de Geología, UNAM. 1983. *El Volcán Chichónal. Simposium sobre el Volcán Chichónal, IV Convención*. Soc. Geol. Mex.
- Krakatoa Comité. 1888. *Eruption of Krakatoa 1883*, Londres.
- Lipman P., Self S. and Helken G. (Eds.). 1984. *Calderas and associate Igneous Rocks*. Journal of Geo-physical Research Vol. 89, No. B10.
- Lipman P. and D. Mullineaux (Eds.). 1981. *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington*. U.S. Geol. Survey. Professional Paper 1250.
- Luhr J., Varekamp J. and Presteguard K. (Eds.). 1984. *The 1982 eruptions of El Chichon Volcano*. J. Volc. and Geoth. Res. Vol. 23.
- Mac Donald G. 1972. *Volcanoes*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J.
- Marshall J. (Eds.). 1987. *Scanning Electron Microscopy and Shape analysis of Sedimentary and Volcanic Clasts*. Van Nostrand-Reinhold, N.Y.
- McClelland, L., Simkin T., Summers M., Nielsen E. and Stein T. (Eds.). 1989. *Global Volcanism 1975-1985*. Prentice Hall - American Geophysical Union. USA.
- Mysen E. O. (Ed.). 1987. *Magmatic Processes: Physicochemical Principles*. The Geochemical Society Sp. Pub. USA.

* Instituto de Geofísica UNAM
Ciudad Universitaria
México, 04510, D. F.

Notas

¿Tectonismo activo en Venus?

Recientemente la sonda Magallanes inició su viaje orbital alrededor de Venus. Esta sonda está equipada con un moderno sistema de radar lo cual le permite formar imágenes de la superficie de Venus sumamente detalladas.

Las primeras imágenes recibidas muestran la existencia de una superficie sumamente accidentada y fracturada. Entre otros aspectos, las imágenes permiten distinguir los cráteres de origen volcánico.

En la región de Ishtar se han localizado diversas estructuras volcánicas y se ha empezado nuevamente la discusión acerca de la posible existencia de volcanes activos en Venus.

Cuidado con la datación por C-14

Investigadores de la Universidad de Columbia (EUA) utilizaron dos métodos de datación para algunos depósitos de los arrecifes coralinos de Barbados. Uno de los métodos fué el tradicional de C-14 y el otro de U-234/Th-230 de espectrometría de masas por ionización térmica.

Los resultados permitieron obtener dos conjuntos de datos bien definidos pero observaron que la determinación de edad por C-14 fué consistentemente más joven que la datación por uranio-torio. La discrepancia es mayor mientras más vieja es la muestra.

Predicción de Sismos: Una ojeada al futuro +

por Cinna Lomnitz *

Si la tierra estuviera hecha de cristal y pudiéramos observar directamente todos los procesos que ocurren en su interior, cualquier hijo de campesino podría aprender a predecir terremotos. De hecho, el interior de la Tierra es más inaccesible a nuestras mediciones que muchas estrellas lejanas. Por lo tanto, los esfuerzos para predecir sismos no han fructificado hasta ahora. En este artículo me propongo discutir algunos problemas de predicción, sobre todo desde el punto de vista de la validez científica de los esfuerzos que actualmente se están realizando en otras partes del mundo.

Muchos colegas han experimentado dudas, de tiempo en tiempo, en cuanto a diferentes aspectos de la predicción de sismos, tales como los sismos característicos, las vacancias sísmicas, la predicción de Hailcheng, las de Shumagin, la de Oaxaca, la del Estado de Nueva York, la de Parkfield, etcétera. No parece útil insistir en tales dudas ya que a mí entender, estos episodios tienen más que ver con la política y con aspectos de la naturaleza humana que con la ciencia.

Me eduqué en una tradición científica que consideraba la predicción de temblores como ni más ni menos que brujería. Por ejemplo, recuerdo que Charles F. Richter guardaba los artículos y la co-

respondencia sobre predicción en un cajón especial que llamaba "el archivo de los locos" (nut file), y nos lo enseñaba para que los estudiantes pudiéramos percatarnos de la infinita e inagotable insensatez humana.

Gutenberg era un gran maestro y un científico cauteloso. Un día me pidió que le revisara una publicación que alegaba una pretendida correlación entre los sismos y las fluctuaciones del campo magnético terrestre. Tuve que informarle que el autor había manipulado la escala de las gráficas para exagerar el supuesto efecto: Así supe que la esperanza nunca muere, hasta en el corazón del más escéptico de los geofísicos.

La Figura 1 resume el consenso del Grupo de Trabajo sobre Predicciones de Sismos en California (USGS, 1988) en cuanto a la probabilidad de que ocurran sismos importantes en diferentes segmentos de la Falla de San Andrés durante el período 1988-2018. Nótese que las probabilidades fluctúan entre más de 90% para la región de Parkfield a casi cero en la Bahía de San Francisco. En especial, nótese que el segmento de Santa Cruz, que se fracturó estruendosamente en el sismo de San Francisco del 17 de octubre pasado, se le había asignado una probabilidad de romperse de apenas 30% por ciento.

¿Como pensar que un mapa de este tipo no tendría efectos sobre la política preventiva en California? La Figura 1 apareció reproducida en *Earthquakes & Volcanoes* (1988), una revista de divulgación que publica el Servicio Geológico Nacional (USGS) de Estados Unidos. Si la cantidad de dinero disponible para prevención es finita, y si el experimento de Parkfield basado en esta predicción obtuvo financiamiento tanto federal como estatal, debe concluirse que hubo inversión preferencial en Parkfield, donde aún no ha temblado, cuando una inversión similar en San Francisco pudo haber redituado en términos de protección y prevención.

No sabemos si efectivamente ocurrió tal diversión de fondos; lo que afirmamos es que una predicción publicada con la probación de las más altas autoridades científicas y políticas pudo haber tenido tal efecto. La predicción de Parkfield fue oficializada en abril de 1985 mediante un oficio del director del Servicio Geológico Nacional a la Dirección General de Servicios de Emergencia del Estado de California. No hubo ningún cambio de actitud después del sismo de San Francisco; por lo tanto, es dable suponer que la predicción de Parkfield ha influido en la política de al menos una institución, que es el propio USGS.



Es legítima una influencia de este tipo en la medida en que la predicción de los sismos sea una disciplina científica reconocida y bien acreditada. Se ha dicho, por ejemplo, que "el experimento-prototipo de Parkfield representa un esfuerzo importante para reducir el riesgo sísmico a través del desarrollo de técnicas de predicción sísmica" (Bakun, 1988). Pero parece evidente que la verdad de un argumento de este tipo depende de cuán válida sea la filosofía que sustenta la disciplina de predicción de terremotos. Es lo que me propongo examinar en este breve artículo.

Supongamos que el sismo de Parkfield efectivamente ocurre, como tiene que suceder tarde o temprano. Recuérdese que la literatura menciona una increíble variedad de posibles fenómenos precursoros, desde anomalías magnéticas hasta cambios en el comportamiento de animales, pasando por fluctuaciones en los patrones de ocurrencia de sismos pequeños dentro y fuera de la región. Tales posibles "precursores" ocurren continuamente y la probabilidad de que al menos uno de ellos se produzca en las semanas y los meses anteriores al sismo de Parkfield es prácticamente una certidumbre.

Supongamos que ocurra un fenómeno A con una anticipación de días o meses antes del temblor. ¿Qué vamos a aprender de esto? Mejor dicho, ¿cuántos futuros sismos en Parkfield se necesitan para comprobar que se trataba

efectivamente de un fenómeno precursor y no de una casualidad? ¿Cuántos más para desarrollar una técnica de predicción significativa? Se dice que los sismos de Parkfield se repiten cada 21.8 años en promedio; por lo tanto, tendríamos que esperar siglos hasta estar en situación de poder *reducir el riesgo sísmico* a través de tales técnicas. Pienso que una reflexión de este tipo es relevante en términos de cualquier discusión sobre estrategias efectivas para reducir el riesgo sísmico en un país como México.

La fusión en frío, el péndulo de Foucault y miles de experiencias esotéricas atestiguan la enorme credulidad del mundo postmoderno. Si se quiere evitar que la predicción de sismos se convierta en uno de estos pasatiempos más o menos inocentes, es indispensable ejercer una auto-crítica permanente y vigilante. La franqueza y la apertura a la discusión son factores esenciales.

En principio, la predicción de cualquier fenómeno natural es una subdisciplina válida, en este caso de la sismología. No me cabe duda que algún día podrá tener éxitos similares a los que hoy conoce la predicción del tiempo. Pero al igual que esta última, la predicción de los sismos debe apoyarse en mediciones precisas en la región donde se producen los fenómenos que se quieren predecir. Mientras no dispongamos de tales mediciones, existe el peligro de que lo actualmente se conoce como "predicción de sismos" se torne tan espe-

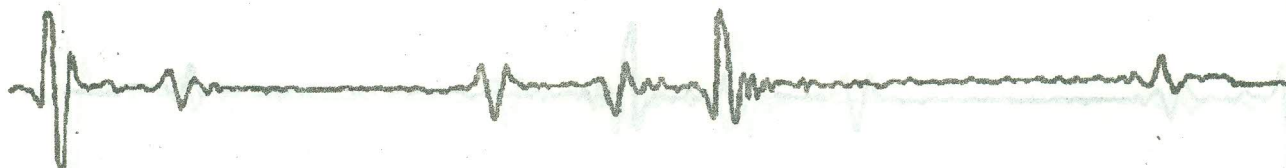
culativo y potencialmente peligroso como el material que guardaba el Profesor Richter en su "archivo de locos".

El juego de las probabilidades

Supongamos que un precursor de sismos ha sido identificado y reconocido. Luego debe ser confirmado y certificado como tal a través de observaciones repetidas durante un periodo de varias décadas o de varios siglos. Esta dificultad, si bien raras veces es mencionada, ha sido una de las causas de que proliferaran las argumentaciones estadísticas en sismología. Algunos de estos argumentos son válidos, pero otros pretenden reemplazar la observancia directa con la mera especulación.

Dada la ocurrencia previa de un evento B, se pretende calcular la probabilidad condicional del sismo A de la siguiente manera. Supongamos que el sismo A tiene una baja probabilidad de ocurrencia. Por lo tanto, la probabilidad combinada de que ocurran tanto A como B es menor todavía. Esto puede interpretarse como una elevada probabilidad de que tal ocurrencia conjunta no sea casual. En otras palabras, se establece la conjetura de una *relación causal* entre A y B, o sea, que B es un precursor de A. Tengo la impresión de que muchas argumentaciones en predicción de sismos se basan en un razonamiento de este tipo.

Obviamente, el razonamiento es falaz, puesto que el supuesto fe-



nómeno predictor B fue identificado y seleccionado *ad hoc* por el científico. Si se me permite, daré un ejemplo para aclarar lo que pretendo decir. El 20 de noviembre de 1989 el presidente de la República otorgó el Premio Nacional de los Deportes a dos distinguidos atletas, un hombre y una mujer. Resulta que ambos premiados (sin ser parientes) tenían el mismo apellido, digamos X. ¿Es o no es casualidad? Un vistazo al directorio telefónico de la Ciudad de México nos convencerá que hay unos 10,000 apellidos; por lo tanto, la probabilidad de que se seleccionara el apellido X era de una entre 10,000 y la probabilidad de que dicho apellido fuera seleccionado dos veces seguidas de una entre 10,000 x 10,000, o sea de una entre cien millones. Como hay menos de cien millones de habitantes en México, se infiere que no fue casualidad que se seleccionara precisamente a esos dos entre todos los hombres, mujeres y niños que constituyen la población de México.

Ahora bien, tal razonamiento hace caso omiso del hecho obvio y elemental de que los ganadores forzosamente tenían algún apellido. Así, la probabilidad de que los dos apellidos coincidieran depende de la frecuencia con que se repiten todos los apellidos (no solamente el apellido X) en México. Vuelta al directorio telefónico y constatamos con sorpresa que el apellido X ocupa 11.7 páginas en total de 1,752 páginas; esto

significa una probabilidad de 0.67 por ciento. Pero hay otros muchos apellidos que también ocupan diez o más páginas en el mismo directorio. Finalmente se llegó a la conclusión que la probabilidad de que se repitieran los dos apellidos era casi de 10 por ciento.

Evaluemos ahora la probabilidad de que el comité encargado de seleccionar a los ganadores no sólo se fijara en sus apellidos, sino que tuviera motivos inconfesables para otorgar el premio a una persona apellidada X y no a otra persona. Quien esté dispuesto a apostar que tal probabilidad excede el 10% será capaz de creer cualquier cosa. Por ejemplo, tal persona se pondrá a buscar otras coincidencias sospechosas. Y sí las hay. Uno de los ganadores era un distinguido montañista que había conquistado la cumbre del Everest, y la otra era campeona de Tae-Kwon-Do. ¿No habrá allí una clara relación con Asia? Y en efecto, los antropólogos afirman que los antepasados del pueblo mexicano atravesaron el Estrecho de Behring, viniendo desde Asia!

El caso de los sismos característicos

En fin, si quiere encontrar relaciones causales entre dos fenómenos siempre se les encuentra. Veamos ahora el caso de la posible existencia de "sismos característicos", definidos en la siguiente forma: "Un evento característico es un sismo

que rompe repetidamente el mismo segmento de falla y cuyas dimensiones definen tal segmento" (Nishenko y Buland, 1987). En la tabla I del trabajo citado encontramos 14 segmentos definidos de esta manera, entre ellos, por cierto, el de Parkfield. Estos segmentos están definidos con base en 62 temblores "característicos", o sea 48 intervalos entre temblores, lo que hace un promedio de 3.43 intervalos para cada segmento. No es una muestra gigantesca. Un ejemplo típico es el siguiente:

Región: San Marcos

Eventos	Intervalo T	Promedio T _{ave}
1907-1845	62	56.0
1957-1907	50	

Esto nos dice que el segmento de San Marcos (cerca de Acapulco) está definido por tres sismos "característicos", en 1845, 1907 y en 1957 (que fue llamado "Sismo del Ángel"). Los intervalos respectivos fueron de 62 y 50 años, y el intervalo promedio fue de 56.0 años.

Ahora bien, en el mismo número del *Bulletin of the Seismological Society of America* aparece otro artículo (Nishenko y Singh, 1987) que casualmente habla del segmento de San Marcos. Dice lo siguiente: "Los sismos de 1937 y de 1950 y 1957 representan cada uno una ruptura parcial de la zona de 1907... Por lo tanto, los intervalos observados de recurrencia para la



región de Acapulco-Ometepec durante el presente siglo varían entre más de 30 a 50 años (o sea, 1937 a 1907 y 1957 a 1907)". Nótese que el primer autor de ambos artículos es la misma persona.

Resulta que uno de los sismos mencionados en el primer artículo, el de 1907, no era definitorio solamente del segmento de San Marcos sino también de un segmento más grande que lo incluye y que ahora se llama la "región" de Acapulco-Ometepec. Esta "región" se rompió parcialmente en el sismo de San Marcos de 1957, y también parcialmente en otros sismos (1937, 1950) que no se mencionan en el primer artículo. Todos ellos, sin embargo, siguen siendo sismos "característicos".

¿No que los sismos característicos "definen" los segmentos en que ocurren? ¿Cómo puede decirse entonces que tanto el sismo de 1907 como el de 1957 "define" el segmento de San Marcos, y que al mismo tiempo el de 1907 "define" el segmento de Ometepec, y además la región de Acapulco-Ometepec, que no es la misma?

En cuanto al intervalo promedio, ya no sabemos si es 56.0 años como afirma el primer artículo, o menos de 50 como dice el segundo. Quién sabe a qué sismos "característicos" se refiere cada uno de los artículos. Si los sismos "característicos" rompen

repetida-mente el mismo segmento de falla no deberían admitirse traslapes ni rupturas parciales. Una de dos: o bien algunos sismos citados no son eventos característicos (lo que arrojaría dudas sobre el autor común de ambos trabajos) o bien los datos de la Tabla 1 eran incompletos. Aceptaremos esta última hipótesis, porque es la más compleja y por lo tanto probablemente más real; por lo demás, el co-autor del segundo trabajo es el más distinguido conocedor de la simicidad de México, especialista en la zona de Guerrero y Oaxaca.

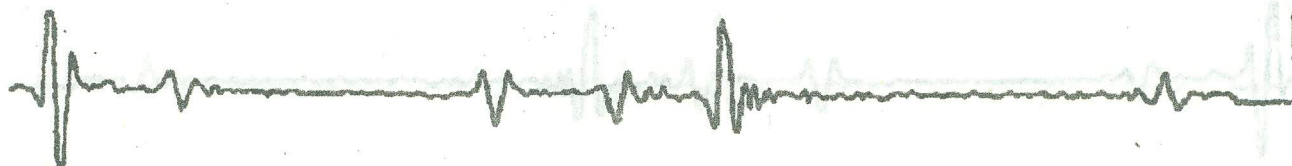
Ahora bien, si la muestra de San Marcos era incompleta ello debería modificar el promedio T_{avo} , cuyo papel en el primer trabajo es muy interesante. En efecto, Nishenko y Buland (1987) normalizan los intervalos T mediante subdivisión por T_{avo} (sigamos, dividen 62 y 50 por 56), y hacen lo propio con todas las 14 regiones. Luego juntan todos los datos y los grafican en un mismo histograma, al que calzan una distribución logarítmico-normal. Reproduzco la conclusión de este procedimiento que suena a brujería: "Por lo tanto, la distribución de los intervalos de recurrencia para cada segmento de falla también es logarítmico-normal y $\ln(T)$ obedece a una distribución normal" (Nishenko y Buland, 1987).

Sobra decir que la distribución de muestras combinadas de 14 procesos logarítmico-normales no tiene por qué ser también logarítmico-nor-

mal. Pero eso no es todo. La normalización de las muestras no se justifica por nada. Los promedios T_{avo} , aún en el caso de que las muestras fueran completas, tienen una enorme varianza ya que el tamaño de las muestras es apenas de 3 a 4. No existe razón alguna para que la muestra combinada siguiera alguna distribución en particular. Por lo demás, los autores nunca efectúan una prueba de normalidad de $\log(T)$.

Podría argumentarse que la distribución logarítmico-normal posee unas propiedades interesantes y que yo mismo he especulado con ella en mi libro (1974) por ser apta para representar la distribución de magnitudes de los temblores. Este resultado se basa en la idea de autosimilitud de las fracturas en la Tierra, cuyo mecanismo fuera discutido por primera vez por Kolmogorov (1941) y que ahora se ha hecho famoso con el nombre de *fractalidad*.

En tal caso, sin embargo, ¿cómo explicar el hecho de que los intervalos medios, en dos "segmentos" tan cercanos como Parkfield y Pallett Creek, ambos en la Falla de San Andrés, sean tan diferentes? El intervalo promedio de Parkfield (ya lo mencionamos) es de 21.8 años. El de Pallett Creek, de 194.3 años. Ambos supuestamente definidos con base en sismos "característicos". Ambos sobre la misma falla. El corrimiento anual de la falla es el mismo en ambos lugares. Si hay auto-similitud el mecanismo



de fractura debe ser homogéneo (Kolmogorov, 1941). Pero no lo es, puesto que hay diferencias tan enormes en el intervalo promedio de temblores.

Sin embargo, los autores explícitamente declaran que todos los sismos característicos son generados por un solo proceso común. Esto significa que debería poder predecirse un sismo de Pallett Creek mediante observaciones hechas en Parkfield, lo que es absurdo, puesto que los intervalos son completamente diversos. En conclusión, los sismos "característicos" no caracterizan nada, a no ser un gran deseo de predecir fenómenos que aún no entendemos suficientemente bien.

Parkfield

La predicción de un sismo en Parkfield para el año 1988 (Bakun y Lindh, 1985; Bakun, 1988) se basó en la secuencia siguiente de temblores supuestamente "característicos".

1857, 1881, 1901, 1922, 1934,
1966.

Los intervalos respectivos son, en años:

24, 20, 21, 12, 32.

$$1934.5 + 19.25 \pm 4.42 = 1953.7 \pm 4.42.$$

Pero esta predicción se equi-

voca en unos diez años, puesto que el sismo ocurrió en 1966.

El lector objetará que esto no merece llamarse "predicción" sino a lo sumo una extrapolación bastante simplista. Pero ese es exactamente

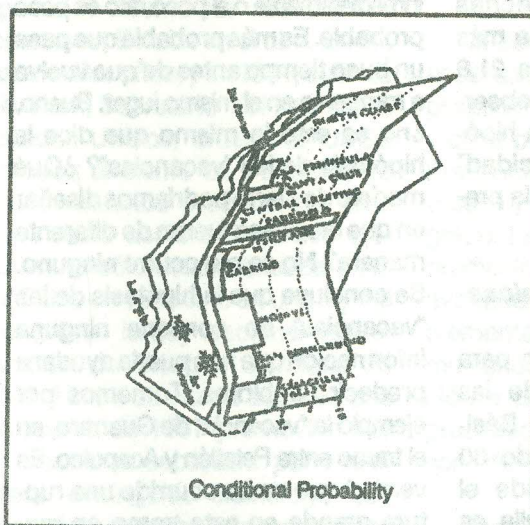


Figura 1.

el método que usaron Bakun y Lindh para la predicción hoy reconocida oficialmente (con una probabilidad de más de 90%) en California.

En este caso, resulta especialmente cuestionable el que usen la última fecha (1966) como punto de referencia para su actual predicción, puesto que el mismo método usado por ellos la predice con un error tan grande. Nótese que el intervalo precedente fue de 32 años, el intervalo extremo en toda la serie.

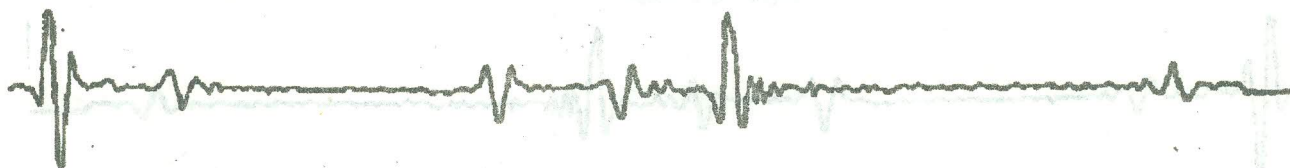
Bueno, podríamos ensayar nuestro propio método. Por ejem-

plo, si tomamos como punto de referencia el año de 1934 y le sumamos dos promedios vamos a predecir como fecha para el próximo sismo el año de 1978, con la misma probabilidad de éxito (91%) y con una variación probable de más o menos 4.3 años. Esa predicción ya pasó y con mucho; estamos en 1990 y aún no ocurre el temblor.

Otra posibilidad es la siguiente: simplemente extrapolamos el último intervalo registrado, que fue de 32 años. Obtenemos $1966 + 32 = 1998$, lo que quiere decir que aún faltarían ocho años. Pero esa predicción es tan buena como la de Bakun y Lindh,

pues se basa en la suposición de que el proceso es una "caminata" aleatoria no estacionaria.

¿Qué nos queda entonces de la afirmación perentoria de que "un sismo de magnitud aproximada de 6 ocurrirá antes de 1993 sobre la Falla de San Andrés cerca de Parkfield" (Bakun, 1998)? Puede que sí, puede que no. Hay muchas alternativas plausibles. El mismo Bakun nos explica ciudadosamente que "la cantidad y la calidad de la información es dramáticamente inferior para los sismos más antiguos" ¿Acaso deberíamos darle un peso



menor a esa información del siglo pasado, época en que no había gente que vivía en la zona? (Actualmente Parkfield tiene menos de 100 habitantes y carece de todo tipo de edificios públicos). Pero entonces deberíamos concluir que nuestro intervalo promedio está mal, puesto que las observaciones hechas después de 1901 son las que más se desvían del promedio de 21.8 años. Entre mejor sea la observación, menos se ajusta a la hipótesis de una "casi-periodicidad" que proponen los autores de la predicción.

Las "vacancias" sísmicas

El modelo más popular para predecir temblores es el de las llamadas *vacancias* (*gaps*). Básicamente, se dice que cuando 30 años han transcurrido desde el último sismo grande en una falla, es tiempo que ya ocurra otro. La zona en que se espera que ocurra se denomina "vacancia".

Ahora bien: ¿qué hipótesis nula podemos oponer a esta hipótesis? Dicho de otra manera: ¿podemos imaginar un estado de cosas en que hubiera tales vacancias? Si la respuesta es "no", entonces el concepto de vacancia es trivial y no puede servir para predecir nada.

Pensemos que el tamaño de la Tierra es finito. Por lo tanto, el largo de las fronteras de placas también lo es. Suponiendo que los sismos

ocurren al azar en el espacio y en el tiempo, entre más largas son las rupturas mayores la probabilidad de que se traslapen. Así, los sismos grandes tienden a repetirse en las mismas regiones o zonas de ruptura.

Por otra parte, el que se repitan inmediatamente o el poco rato es poco probable. Es más probable que pase un buen tiempo antes de que vuelva a romperse en el mismo lugar. Bueno, ¿no es esto lo mismo que dice la hipótesis de las "vacancias"? ¿Qué modelo de Tierra podríamos diseñar en que las cosas fueran de diferente manera? No se me ocurre ninguno. Se concluye que la hipótesis de las "vacancias" no contiene ninguna información que nos pueda ayudar a predecir temblores. Tomemos por ejemplo la "vacancia" de Guerrero, en el tramo entre Petatlán y Acapulco. Es verdad que no ha ocurrido una ruptura grande en este tramo en muchos años, quizá desde el año 1909. Muy bien. Tarde o temprano se volverá a romper. Pero eso lo hemos sabido siempre. ¿Quién nos dice que el próximo sismo ocurrirá precisamente allí y no en la "región" de Acapulco-Ometepec o en Colima o Jalisco o en Michoacán o en Oaxaca? Se me dirá que es más probable, puesto que esas regiones han tenido rupturas más recientes. Pero hasta los defensores de la teoría de los sismos "característicos" reconocen que los intervalos entre éstos son de una variabilidad extrema y no los conocemos bien.

Golpes y porrazos

La política es menos interesante que la ciencia: todo se reduce a un puñado de personalidades y de dinero. Pero en el caso de la predicción de temblores, sería imposible entender su evolución sin adentrarse tantito en el campo de la política científica, que es política al fin.

Las personalidades, en nuestro campo, son pocas pero fuertes: Mao Zedong, Frank Press, Harrison Schmitt. En cuanto al dinero, ha salido principalmente de los bolsillos de los contribuyentes.

En un principio dominaban el estrecho campo de la sismología media docena de barones o señores feudales, tales como Jeffreys, Gutenberg, Ewing, Tsuboi, Merle Tuve y otros. Vivían como espartanos y hacían investigación como podían. Repentinamente surgió la política y el dinero empezó a fluir.

El proyecto VELA-Uniform (1960-1965) era un proyecto semisecreto destinado a encontrar un método para detectar las explosiones nucleares soviéticas mediante las ondas sísmicas registradas a gran distancia. Los sismólogos no estaban acostumbrados a tener dinero, y con la euforia terminaron su trabajo rápidamente y demasiado bien. Hubo que frenarlos, ya que de lo contrario podrían haber logrado un tratado



prohibiendo todas las explosiones nucleares: y los políticos no estaban preparados para ir tan lejos.

En otras palabras: se vio que era enteramente factible controlar las explosiones nucleares desde cualquier distancia. Los generales de ambos bandos sostenían, en cambio, que era necesario permitir una inspección mutua en el terreno, cosa que nadie estaba dispuesto a conceder.

¿Cómo distraer a los sismólogos? El problema era similar al que estaba teniendo Mao. El también tenía problemas con sus científicos e intelectuales. Los rusos y los japoneses, también. Todos tenían problemas en aquella lejana época.

En 1966 el primer ministro chino, Zhou En-lai, estaba visitando el pueblo de Singtal después de un fuerte sismo. Los sobrevivientes contaban historias de perros que ladraban y cochinos que enloquecían antes del temblor. Entonces Zhou tuvo una idea. Mao odiaba a los malditos intelectuales y no desperdiciaba oportunidad para amargarles la vida. ¿Qué tal si obligamos a los científicos a regresar a las mugrosas aldeas en que vivía el pueblo y a escarbar entre el estiércol de los cerdos, en busca del secreto de los temblores? El Jefe estaría encantado...

Así nació la Resolución de 1966 del Partido Comunista Chino, que

obligaba a los sismólogos a predecir temblores a través de la sabiduría del pueblo. Y lo hicieron. Empezaron a predecir temblores porque no tenían otra alternativa.

Los americanos estaban pensando en predicción en esa misma época; lo mismo los rusos y los japoneses. Estaba en el aire. En fin, pasaron los años, y en 1984, cuando Bill Clark, Secretario del Interior de Estados Unidos, ordenó al USGS predecir el sismo de Parkfield, ya habían muchos precedentes para tan insólita acción. Su orden ejecutiva no sólo estaba basada en la de China en 1966 sino en una ley del Congreso: la Ley Nacional de Reducción de Riesgos Sísmicos de 1977. Esta a su vez se basa en una propuesta de 1967 promovida por un comité encabezado por Frank Press, distinguido sismólogo que después fue asesor del presidente Carter y hoy es el presidente de la Academia de Ciencias de Estados Unidos.

En aquella época (1967), el comité había agregado a su propuesta un anexo intitulado *Alternativas*, que empezaba así:

"Con base en los conocimientos hoy existentes, sin un programa de investigación de gran alcance, mucho podría hacerse para reducir las pérdidas de vida y los daños de los futuros sismos".

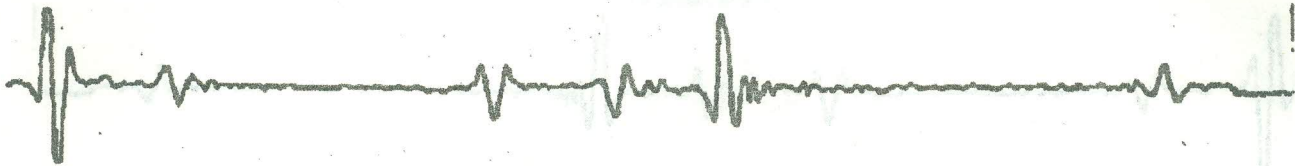
Esto sonaba más convincente

que toda la propuesta anterior: por lo tanto, el Congreso rechazó el proyecto.

Diez años más tarde los sismólogos habían aprendido la lección: no hablaron de "alternativas" y el proyecto fue aprobado.

El Servicio Geológico Nacional fue encargado de todo lo que se refería a predicción de sismos. Pasó el tiempo, y en la primavera de 1982 la ley de Prevención de Sismos pasó a revisión y reautorización del Congreso. La revisión demostró que la predicción de los sismos no había avanzado un ápice y que posiblemente "el USGS no se estaba moviendo agresivamente en dirección a un sistema operacional de predicción de los temblores" (Filion, 1988).

El senador Harrison Schmitt, ex-astronauta y presidente de la Sub-Comisión de Ciencias, Tecnología y Espacio del Congreso, se expresó en términos fuertes y llegó a sugerir que otro servicio federal, el NOAA, podría "ser el organismo apropiado para encabezar lo de predicción y prevención de sismos", por tener experiencia en la predicción y prevención del tiempo. Finalmente el Senado le escribió al director del USGS diciendo: "Expreso mi fuerte convicción de que algún tipo de prototipo de sistema de predicción sísmica debe funcionar en los Estados Unidos de aquí a cuatro o cinco años."



Como lo hubiera hecho cualquier dependencia del gobierno federal, el USGS dobló las manos. "En 1983 y en respuesta a la inquietud del Senador Schnitt, el jefe de Programas para Predicción del USGS, James Dietrich publicó su informe intitulado "Evaluación de una Red Prototipo de Predicción Sísmica para el Sur de California" (Filson, 1988).

Los antecedentes científicos e intelectuales de la predicción de temblores no eran especialmente brillantes, desde luego; pero la comparación con la predicción del tiempo había dolido al USGS. No hace falta decir que era injusta; los meteorólogos no adelantaron nada hasta que no tuvieron equipos para medir presiones y temperaturas en la alta atmósfera, donde se generan los cambios de tiempo. Hoy disponen de todo un arsenal de equipos de medición: globos-sonda, radio-sonda, radar, satélites meteorológicos, aviones especiales, etcétera. El Interior de la Tierra, en cambio, sigue inaccesible a cualquier medición directa.

Resulta, además, que las incertidumbres en la estructura interna de la Tierra habían sido subestimadas, especialmente en el problema sísmico. Por ejemplo, la profundidad focal de un temblor no puede calcularse en principio, aunque la Tierra fuera esférica y compuesta de capas concéntricas, porque todas las mediciones están en la superficie. La precisión de nuestros conocimientos sobre el interior

de la Tierra dependen en forma crítica de los experimentos con explosiones. La tomografía sísmica y otras técnicas similares suelen ignorar tales limitaciones y tienden a perpetuar los errores estructurales de generaciones de sismólogos.

Galletas de la suerte

En algunos restaurantes chinos se acostumbra servir al cliente una "galleta de la suerte", que no es otra cosa sino una tortilla de masa hecha tamal que contiene un papelito con una frase enigmática, que se supone predice la buena ventura.

Veamos algunos hechos poco conocidos de la evolución de la predicción de temblores en China. En primer lugar, la afamada "predicción exitosa" del sismo de Haicheng en 1975 no fue tal. Fueron los sismos premonitorios que empezaron a ocurrir diariamente, semanas antes del sismo, los que alarmaron a la población de Haicheng. Los sismólogos se beneficiaron de la reacción natural de la gente, que consistió en construir cabañitas frente a sus casas y mudarse con bastante anticipación. No hubo pues una "evacuación" de la ciudad como se dijo después. La población se salvó con o sin los sismólogos.

Pese a que la predicción de Haicheng fue inflada por la propaganda, se la sigue citando en apoyo de cualquier propuesta de un gobierno occidental para pro-

gramas de predicción.

Un año después de Haicheng ocurrió el gran sismo de Tangshan, de magnitud 8. Aquí no hubo sismos premonitorios, por lo tanto tampoco hubo predicción. Casi 350,000 habitantes de Tangshan murieron en pocos segundos en medio de la noche. Se trataba de la peor catástrofe sísmica del mundo desde 1556, cuando murieron 810,000 personas 810,000 personas también en China.

Seis meses después de Tangshan recibí una invitación personal a Beijing para una semana de discusiones sobre el terremoto. Fueron tantos los trabajos sobre predictores que escuché que finalmente me animé a preguntar: si tanta evidencia se tenía sobre fenómenos que anunciaban el sismo, ¿por qué no lo predijeron?. En la noche, me visitó una pareja de jóvenes investigadores en mi hotel, para explicarme que todos esos "precursores" habían sido estudiados e identificados después del sismo.

Semanas después, recibí una carta de un distinguido colega chino en la cual me decía que en gran parte sucedía en otras pretendidas "predicciones" que se habían anunciado. Es lo que tiene que suceder cuando una comunidad científica, no importa cuán distinguida, es presionada por el gobierno para producir resultados prematuros o fuera de su alcance. La mala ciencia se parece a la buena en que es fruto de determinadas circunstancias



políticas y sociales.

Veamos cómo hacían nuestros colegas chinos para predecir los temblores. La estrategia que eligieron consistió en lo siguiente. Tomaron el *Libro rojo* y eligieron una frase, constuyendo toda su teoría en torno a ella. La frase fue: "Para agarrar los cachorros del tigre es necesario entrar a la cueva del tigre" (Mao Zedong, 1937).

Un momento, se dirá. La frase es suficientemente enigmática como para encontrársela en una galleta de la suerte, pero ¿cómo predecir temblores con ella? Tal pregunta no cuenta con el ingenio de nuestros sismólogos. Considérese la siguiente interpretación: el "tigre" es el sismo, los "cachorros" son los fenómenos precursores y la "cueva del tigre" es el epicentro del temblor. Por lo tanto, lo que el Gran Líder está tratando de decirnos es esto: para encontrar los fenómenos premonitorios es necesario entrar a la región epicentral del sismo.

Pero ¿cómo hacerlo si el epicentro del futuro sismo es precisamente lo que deseáramos saber? Oh, dirían los simólogos, *ahí está precisamente la genialidad del Líder. Puesto que no lo sabemos, es necesario cubrir todo el país con estaciones de aficionados, que son gente del pueblo cuya sabiduría debemos aprovechar. Miles de estaciones, con instrumentos caseros atendidos por analfabetas, no importa, pero algunos registrarán los fenómenos precursores si están*

cerquita del epicentro.

No se vale sonreír. La predicción por el método de las galletas de la suerte dió resultados tan buenos como cualquier otro método conocido hasta ahora. Yo mismo he sucumbido a la tentación de probar este método, usando una cita china de hace 2,500 años:

Los grandes capitanes de antes se hacían invulnerables

Y acechaban la vulnerabilidad del enemigo.

Tu propia defensa depende de ti;

La vulnerabilidad del enemigo depende de él.

Si bien el mejor comandante puede hacerse invulnerable

No podrá hacer vulnerable al enemigo.

Dicho de otra manera:

"uno puede saber jugar pero no puede tocar sus naipes"

Sun Tse: *El arte de la guerra.*

Mi interpretación es la siguiente: El "enemigo" es el sismo. El "juego" que jugamos es la estrategia de control del riesgo sísmico. El "comandante" es el sismólogo. El consejo que nos da Sun Tse desde su remota prehistoria es el siguiente: la invulnerabilidad contra los sismos puede hallarse solamente en la prevención. No busquemos predecir las movidas del enemigo (o sea, el temblor) hasta que no seamos invulnerable al sismo.

¿Es acaso buena la estrategia

que apuesta a la predicción mientras nuestras ciudades, nuestros edificios, nuestros puentes y nuestras carreteras se siguen cayendo en los temblores? Es tanto lo que no sabemos en el aspecto de prevención que puede parecer contraproducente tratar de ganarle el juego a un enemigo que conocemos tan poco. Si nos preparamos en Parkfield nos golpeará en San Francisco; si nos preparamos en la costa de Guerrero nos ha de golpear en cualquier otro lugar.

Los movimientos del suelo que se registraron en la zona lodosa de San Francisco fueron inesperados, como lo fueron también los que causaron la caída de 371 edificios en la Ciudad de México en 1985. Hay mucha investigación que hacer. Por ejemplo, no conocemos la longitud de ondas del movimiento destructivo, ni en México ni en San Francisco. He propuesto muchas veces que podría tratarse de olas hidrodinámicas cortas, con una longitud de onda de unos 20 metros. Muchos colegas me han dicho que ello no es posible, pese a que tanta gente las ha visto (Richter, 1956; Lomnitz, 1970); pero la discusión continúa y no hay mediciones.

El problema urgente de medir la respuesta dinámica de los materiales geológicos en movimientos fuertes es uno de tantos problemas no resueltos gracias a nuestra negligencia en "hacernos invulnerables". Si no hubieran existido edificios de 7 a 20 pisos de alto en una pequeña zona de 25 kilómetros cuadrados en el Distrito Federal, el



sismo de 1985 no hubiera hecho noticia.

Algunos ejemplos de tecnologías que podrían usarse desde ya para controlar el riesgo sísmico en nuestras grandes ciudades:

a) Amortiguadores sísmicos. Como es sabido, las inclinaciones de los edificios en el sismo de 1985 han sido hasta diez veces mayores de lo que se calculaba. Es importante reducir estas inclinaciones durante los sismos futuros. Esto es factible. La instalación de un amortiguador pasivo de tres toneladas en la azotea de un edificio de quince pisos puede reducir el movimiento hasta en un 60%, lo que basta para que el edificio no se caiga.

El principio es el mismo del amortiguador de un coche. Un bloque de concreto corre sobre rieles al interior de un tinaco lleno de agua. Al sobrevenir un temblor el bloque se desplaza dentro del agua disipando energía y reduciendo el movimiento del edificio. Cada amortiguador tiene resortes y puede sintonizarse al período exacto de vibración del edificio, lo que representa una gran ventaja para México puesto que los períodos de vibración son conocidos y son los mismos en casi todos los temblores, cualquiera que sea su epicentro.

b) Cojinetes amortiguadores. Otra tecnología interesante es la de los cojinetes de amortiguamiento que se usan en las cimentaciones

de los edificios con el objeto de aislarlos de las vibraciones sísmicas. Son bloques de hule que contienen láminas de plomo y son capaces de soportar cargas de muchas toneladas. Su efectividad ha sido comprobada especialmente en sismos vibratorios de alta frecuencia; pero también están siendo proyectados para un edificio de Teléfonos de la Ciudad de México.

c) Refuerzos. La tecnología de refuerzos para edificios sísmicamente dañados ha tenido un importante desarrollo en México después del sismo de 1985. La experiencia mexicana sin duda es de las más importantes del mundo.

Referencias

Bakun, W. H. "Introduction, and History of significant earthquakes in the Parkfield area". *Earth-quakes & Volcanoes*, 20, 41-51.
 Bakun, W. H., and A. G. Lindh, "The Parkfield, California earthquake prediction experiment", *Science*, 229, 619-624.
 Cornell, C. A., and S. R. Winterstein, 1988. "Temporal and magnitude dependence in earthquake recurrence models", *Bull Seis. Soc. Am.*, 78 1522-1537.
 Epstein, B., and C. Lomnitz, 1966. "A model for the occurrence of large earthquakes", *Nature*, 211, 954-956.
 Filson, J. R., 1988. "The role of the Federal government in the Parkfield earthquake prediction experiment" *Earthquakes & Volcanoes*, 2056-58.
 Kolmogorov, A. N., 1941. "Über das logarithmisch-normale Verteilungsgesetz der Dimensionen der

Teilchen bei Zerstückelung", *Izv. Akad. Nauk sssr*, 31, 1-99.
 Lomnitz, C., 1970. "Some observation of gravity waves in the 1960 Chile earthquake", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 60, 669-670.
 Lomnitz C., 1974. *Global Tectonics and Earthquake Risk*, p.93 (Elsevier, Amsterdam, 320 pp.).
 Lomnitz, C., 1985. "Tectonic feedback and the earthquake cycle", *Geophy*, 123, 667-682.
 Mao Zedong, 1937. *On practice* (Complete Works, Beijing).
 Nishenko, and R. Buland, 1987. "A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 1382-1399.
 Nishenko, S. P., and S. K. Singh, 1987. "The Acapulco-Ometepe, Mexico, earthquakes of 1907-1982: evidence for a variable recurrence history". *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77 1359
 Richter, C. F., 1956 *Elementary Seismology* W. H. Freeman, San Francisco.
 Savage, J. C., and R. S. Cockerham, 1987. "Quasi-periodic occurrence of earthquakes in the 1978-1986 Bishop-Mammoth Lake sequence, eastern California", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 1347-1358.
 Shimazaki, K., and T. Nakata, 1970. "Time predictable recurrence for large earthquakes", *Geophys. Res. Letters*, 86 279-282.
 USGS, Working Group on California Earthquake Prediction, 1988. "Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andres fault system", *U. S. Geol. Survey Open File Rept.* 88-398, 62 p.

+ Artículo tomado de la Revista de la UNAM, Vol. 45, 1990.

NOTICIA!

El elemento más pesado conocido por la ciencia fue descubierto recientemente por los físicos de la Universidad de Turgid. El elemento, al que tentativamente se le ha llamado "administronio (Ad), no tiene protones ni electrones y por lo tanto tiene número atómico 0. Sin embargo, tiene 1 neutrón, 125 asistentes del neutrón, 75 vice-neutrones y 111 asistentes de los vice-neutrones. Esto le da un número de masa de 312. Estas 312 partículas se mantienen unidas en el núcleo por una fuerza que involucra el intercambio continuo de partículas de tipo mesón llamadas morosones.

Como no tiene electrones, el administronio es inerte. Sin embargo, puede detectarse químicamente ya que impide cualquier reacción en la que él esté presente. De acuerdo con sus descubridores, una pequeñísima cantidad de administronio causó que una reacción tomara 4 días cuando normalmente ocurría en menos de 1 segundo.

El administronio tiene una vida media de aproximadamente 3 años, después de los cuales no decae, sino que surge una reorganización en la que los asistentes del neutrón, los vice-

neutrones y los asistentes de los vice-neutrones intercambian puestos. Algunos estudios han mostrado que después de cada reorganización el número de masa siempre aumenta.

Los experimentos llevados a cabo en otros laboratorios indican que el administronio se encuentra de manera natural en la atmósfera.

Según un investigador, tiende a condensarse en ciertos puntos tales como las facultades e institutos de las universidades y en algunas oficinas de gobierno y generalmente se encuentra cerca de los edificios más nuevos, mejor ubicados y mejor mantenidos.

Finalmente, los científicos han hecho notar los daños que causa el administronio. Se sabe que en grandes cantidades puede ser muy tóxico y fácilmente puede destruir aquellas áreas en las que se le permite acumularse. Por eso se ha sugerido que el administronio sea permitido solamente en dosis muy pequeñas para prevenir la ocurrencia de daños irreversibles.

LEVANTAMIENTOS GEOFISICOS EN DOS AREAS GEOTERMICAS EN LA CUENCA DE GUAYMAS, GOLFO DE CALIFORNIA, MEXICO

Juan Manuel Espinosa*,

Lev Zonenshine**,

Ivan Norrich**,

Eric Popof**

INTRODUCCION

En Octubre y Noviembre de 1986 el Departamento de Geofísica de Exploración de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE colaboró con la Academia de Ciencias de la URSS participando en un crucero oceano-gráfico del barco Académico Mtislav Keldysh a la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California, ésta, es una cuenca oceánica que incluye en su parte central dos segmentos de dispersión caracterizados por alargadas y angostas depresiones topográficas submarinas, flujo de calor alto, actividad sísmica y un basamento cubierto por una capa de sedimentos no consolidados de espesor variable.

Exploraciones del fondo marino con minisubmarinos y perforaciones profundas (sitios 477 y 481) han revelado sistemas geotérmicos asociados con rocas volcánicas de composición basáltica y con depósitos de minerales e hidrocarburos hidrotermales en ambas depresiones (Curry et al., 1982, Lonsdale et al., 1980, Koski et al., 1985, Simoneit, 1985), lo cual aparentemente indican sitios de creación de corteza oceánica de edad cero.

OBJETIVO

Reconocimiento a detalle de las estructuras relacionadas con los sistemas geotérmicos con la finalidad de obtener información de su forma, actitud y extensión.

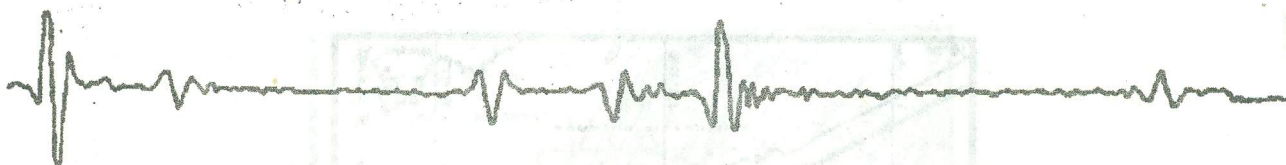
METODOS

Como apoyo a un estudio geológico-geoquímico de los sitios que presentan depósitos hidrotermales y anomalías de flujo de calor se realizaron perfiles continuos perpendiculares a las depresiones y separados entre si 0.5 a 1.0 kilómetros de las siguientes técnicas: (1) Batimetría con una ecosonda de alta precisión con un pulso de salida de 10 Kw y con una frecuencia de transmisión de 30 KHz. (2) Magnetometría con un par de magnetómetros de precesión nuclear midiendo la intensidad del campo magnético total. (3) Sismología de reflexión de un canal con una fuente de pistola de aire y señales recibidas a través de filtros pasabanda de 30-200 Hz con tiempos de grabación de 2.4 y 6 segundos. Para la localización de los perfiles

se utilizó un sistema de navegación por satélite. Las dos áreas de estudio quedaron comprendidas dentro de las coordenadas 111° 32'-27' W, 26° 16'-23' N Polígono Depresión Norte y 111° 26'-22' W, 27° 00'-05' N, Polígono Depresión Sur, Figura 1.

RESULTADOS

A partir de los perfiles obtenidos se elaboraron mapas batimétricos (Figuras 2 y 3) y de anomalías magnéticas residuales (Figuras 4 y 5) con intervalos entre isocontornos a cada 5 metros y 10 gammas, respectivamente. El levantamiento batimétrico revela depresiones flanqueadas por contornos rectilíneos con rumbo general noreste-sureste y con profundidades de 50 a 150 metros mayores que el fondo marino que las rodea. De la integración de datos de batimetría y sismología de reflexión se compiló un mapa morfológico-estructural del área correspondiente al Polígono Norte (Figura 6), la cual se interpreta como una cuenca de apertura no simétrica en forma de grabens y horsts limitada al este por fallas normales y verticales y al oeste por fallas



verticales escalonadas con un desplazamiento acumulativo aproximado de 120 metros, el conjunto de fallas en ambas paredes son divergentes en echelon formando un patrón en zigzag. El relieve del piso muestra montículos de rocas sedimentarias a lo largo del eje de las fosas, algunos con alturas mayores de 100 metros con una anchura aproximada de un kilómetro cuadrado afectados por fallas normales paralelas al sistema observado en las paredes. El levantamiento magnético delineó un alto de 4 por 4 kilómetros en la parte central sureste del área de estudio correspondiente a la Depresión Norte, con una amplitud relativa mayor de 200 gammas coincidiendo con agrupamientos de montículos y un depósito hidrotermal. En general las anomalías magnéticas reflejan el comportamiento de fallas inferido, sin embargo, el patrón detectado en la Depresión Sur es más complejo, sobresale un gradiente oblicuo a la dirección de la fosa con un rumbo noreste-sureste el cual presenta algunas ondulaciones que coinciden con montículos y con sitios que presentan fumarolas negras que forman volcancitos de depósitos hidrotermales de sulfuros masivos que alcanzan alturas de 20 a 50 metros, también, se observa que la pared oeste no refleja el patrón de fallas inferido con batimetría y sismología.

DISCUSION

La estructura y morfología que presentan las dos áreas de estudio

es similar, la diferencia que se podría señalar es el ancho promedio del piso, aproximadamente a 3 km para el área sur y 2 km para el área norte, lo cual aparentemente indica un origen más reciente a la Depresión Norte. El patrón de anomalías magnéticas detectado indica que el sistema de fallas inferido involucra hundimientos escalonados del basamento y no precisamente de la cubierta sedimentaria, tal argumento se apoya también en los perfiles sísmicos, en los cuales se observa una secuencia de reflectores planos sin deformaciones a lo largo del rumbo que son truncados por las paredes de las depresiones. Si se supone que los sedimentos que cubren el piso no tienen carácter magnético, las anomalías magnéticas reflejan la morfología del basamento como es el caso del alto localizado en la parte central sureste del área norte, la relación entre el montículo, el alto magnético y el depósito hidrotermal sugiere un levantamiento producido por el emplazamiento de rocas intrusivas dentro de la pila de sedimentos, suponiendo que la fuente de la anomalía magnética tiene una estrecha relación con la fuente de calor del sistema hidrotermal. El hecho de que el patrón de anomalías magnéticas detectado en el área sur no muestre el mismo comportamiento, posiblemente se debe a la presencia de intrusiones extremadamente calientes y/o cámaras magmáticas someras. Con la integración de datos adicionales de flujo de calor, sismicidad y geoquímica obtenidos de estudios anteriores se infiere un sistema

hidrotermal convectivo de alta actividad debido a un estado de fusión parcial de su fuente de calor. La evolución geológica de la región de las áreas de estudio se resume en una mezcla compleja de fracturas, alta razón de sedimentación, fallamiento normal e inyección de magma a profundidades relativamente someras, relacionado con un fallamiento de desplazamiento de rumbo a gran escala.

BIBLIOGRAFIA

- Curray, J.R., D.G. Moore, et al., 1982. Initial reports of the Deep Sea. Drilling Project: V. 64, U.S. Government Printing Office. Washington, D. C.
- Lonsdale, P.F., Bischoff, J.L. et al., 1980. A High temperature hydrothermal deposit on the seabed at a Gulf of California spreading center. Earth and Planetary Science Letters, V. 49, p. 8-20.
- Koski, R., Lonsdale, P.F., et al., 1985. Mineralogy and Geochemistry of a sediment-Hosted Hydrothermal Sulfide Deposit from the Southern Trough of Guaymas Basin, Gulf of California. Jour. Geop. Res. V. 90, p. 6695-6707.
- Simoneit, B.R.T., 1985. Hydrothermal petroleum: Genesis, migration and deposition in Guaymas Basin, Gulf of California. Can. J. Earth Sci., V. 22, p. 1919-1929.
- * Depto. de Geofísica de Exploración, CICESE, Apdo. Postal 2732, Ensenada, B. C.
- ** Instituto de Oceanología P. Shirshov, Academia de Ciencias de la URSS.

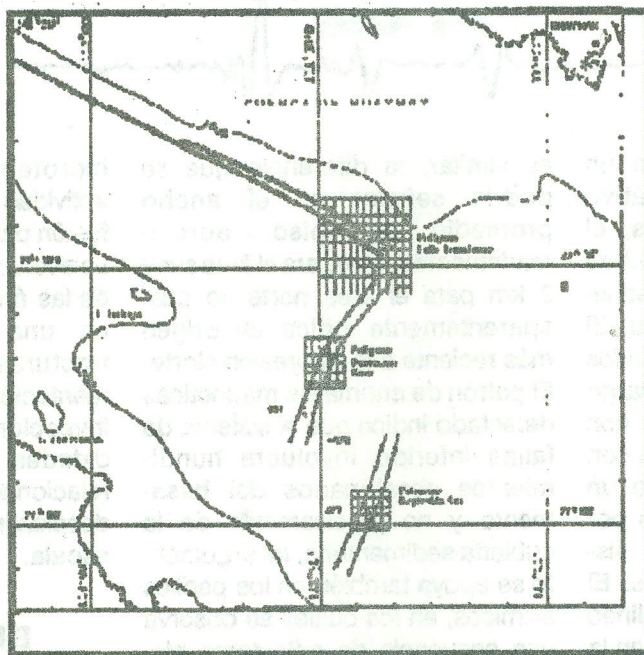


FIGURA 1. LOCALIZACION DE AREAS DE ESTUDIO



FIGURA 2. MAPA BATIMETRICO SUR
(Intervalo entre isocontornos a cada 5 mts.)

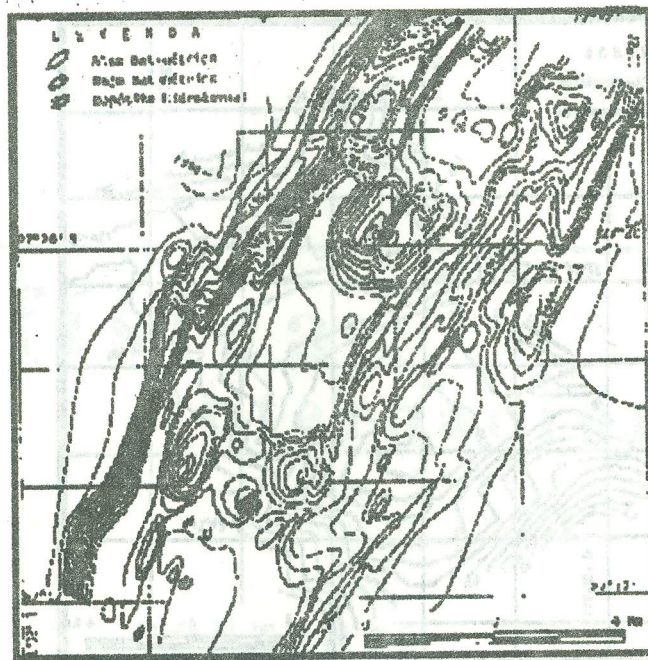


FIGURA 3. MAPA BATIMETRICO DEPRESION NORTE
(Intervalo entre isocontornos a cada 10 mts.)

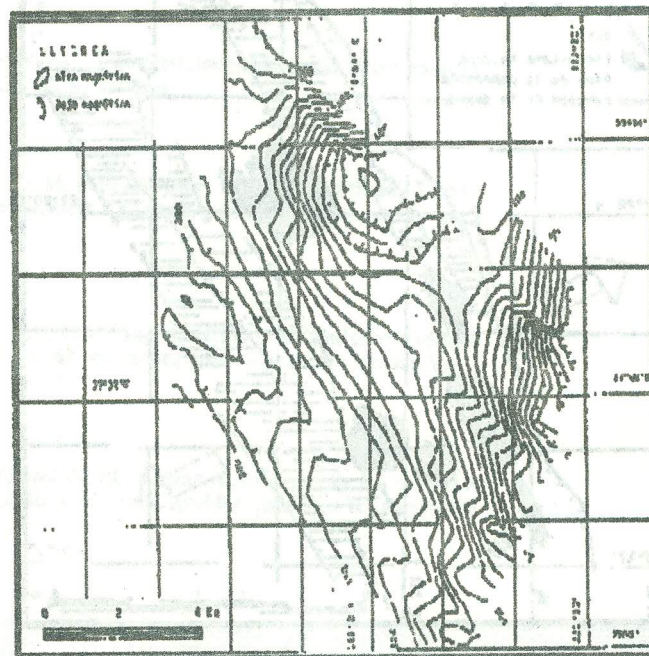
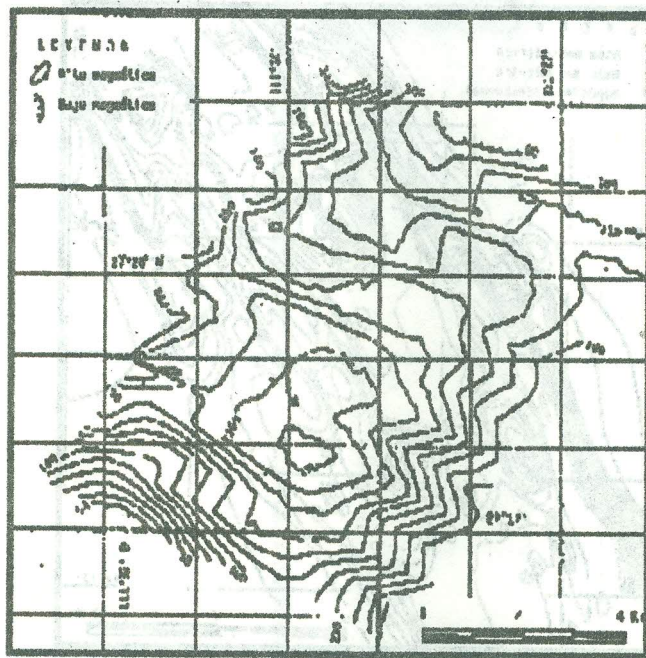


FIGURA 4. MAPA DE ANOMALIAS MAGNETICAS
DE CAMPO TOTAL DEPRESION SUR
(Intervalo entre isocontornos a cada 10 gammas.)



**FIGURA 5. MAPA DE ANOMALIAS MAGNETICAS
DE CAMPO TOTAL DEPRESION NORTE**
(Intervalo entre isocontornos a cada 10 gammas.)



**FIGURA 6. MAPA MORFOLOGICO-ESTRUCTURAL
DEPRESION NORTE**

geofísica internacional

CONTENTS

Volume 29, 1, January-March 1990.

FROM THE EDITORS

L. FERRARI, G. PARQUARE and A. TIBALDI: Plio-Quaternary tectonics of the central Mexican Volcanic Belt and some constraints on its rifting mode.

J. A. ARZATE, R. E. CHAVEZ and J. RODRIGUEZ: Magnetic interpretation of the San Juan Londo Basin, BCS, Mexico.

K. Ya. KONDRATYEV and O. M. PORROVSKY: The International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP): Key aspects of the requirements of the observational data.

J. L. BRAVO, A. MINIJA, A. LEYVA and A. MITA: A statistical model describing the sunshine in the southern metropolitan area of the Mexico Valley.

F. PAKZ-OSUNA y J. I. OSUNA-LÓPEZ: Aspectos genéticos de los sedimentos marinos de la boca del Golfo de California evidenciados por la geofísica de sus micelas petrus.

AVISO

2º CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE GEOFISICA ESPACIAL

Se invita a la comunidad científica a participar en la Segunda Conferencia Latinoamericana de Geofísica espacial, que versará sobre los siguientes tópicos:

- * Física Solar
- * Física del Medio Interplanetario
- * Física Planetaria y de Cometas
- * Aeronomía
- * Geomagnetismo
- * Relaciones Sol - Tierra

La conferencia tendrá lugar en Cuernavaca, Mor. del 8 al 12 de Julio de 1991. Se recibirán resúmenes hasta el 31 de enero de 1991, en:

Depto. de Física Espacial
Comité Conferencia Geofísica Espacial
Instituto de Geofísica UNAM
Cd. Universitaria
México, 04510, D. F.
FAX: 91-5-550-2486

☐ Giro Postal

MAESTRIA Y DOCTORADO EN GEOCIENCIAS

Los estudios de posgrado en Geociencias pueden llevarse a cabo en:

Maestría en Geofísica

Area: Tierra Sólida, Ciencias Atmosféricas y Espacio Exterior.
SEDE: Facultad de Ciencias, UNAM, Div. Estudios de Posgrado.
Requisitos: Grado de licenciatura en el área de Ciencias o Ingeniería.
Duración: 4 semestres para cubrir 72 créditos.
Informes: División Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias UNAM
Cd. Universitaria, México 04510, D. F.

Maestría y Doctorado en Geofísica:

Areas: Oceanografía Física, Ecología Marina, Sismología, Exploración Geofísica.
SEDE: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C.
Requisitos: Licenciatura en el área de Ciencias o Ingeniería.
Duración: 4 semestres (maestría), 6 - 8 semestres (doctorado).
Informes: CICESE, Av. Espinoza #843, Ensenada 22800, B. C.
Tel.: 91 (667) 44501 - 05, Télex: 056539 CICESE, Fax: 91 (667) 60761 y 44933.

Maestría y Doctorado en Geofísica

Areas: Geohidrología, Exploración Geofísica, Sismología y Física del Interior de la Tierra, Estudios Espaciales.
SEDE: Instituto de Geofísica, UNAM
Requisitos: Licenciatura en el área de las Ciencias o Ingeniería
Duración: 4 semestres (maestría), 6 - 8 semestres (doctorado)
Informes: Instituto de Geofísica, UNAM, Unidad Académica y Posgrado
Cd. Universitaria, México 04510, D. F.
Tel.: 91 (5) 5505364 y Fax: 91 (5) 5502486

