

unión geofísica mexicana
boletín

BIBLIOTECA
CICESE

época II



geos

vol. 8

n° 3

julio

1988

GEOS

Órgano informativo de la Unión Geofísica Mexicana
(ISSN 0186-1891)

Editor: *Sonia Salazar Lizán*

Apoyo técnico:

Ma. Paulina Salas Ríos
Juan Manuel Pérez Céspedes
Ela Molina Sevilla
Leticia Elizalde Camacho

UNION GEOFISICA MEXICANA*

Mesa Directiva (1987-1989)

Presidente	<i>David J. Terrell (IMP)</i>
Vicepresidente	<i>Mario Martínez (CICESE)</i>
Tesorero	<i>Nuria Segovia (ININ)</i>
Srio. General	<i>José Francisco Valdés (IGF)</i>
Srio. Difusión	<i>Sonia Salazar (IGF)</i>
Srio. Educación	<i>Javier González (CICESE)</i>
Srio. Investigación	<i>Héctor Pérez de Tejada (IGF)</i>
Vocal Norte	<i>José Luis Comparán (UANL)</i>
Vocal Noroeste	<i>José M. Romo (CICESE)</i>
Vocal Centro	<i>Jorge Nieto (FI)</i>
Vocal Sur	<i>J. Romeo León Vidal (CFE)</i>

* La Unión Geofísica Mexicana (UGM) es la sociedad civil no lucrativa de los profesionales de la Geofísica y ciencias relacionadas.

INDICE

- 1** EDITORIAL
- 3** La magnetización de los planetas del sistema solar y su relación con la evolución de sus atmósferas
Héctor Pérez de Tejada
- 6** Problemática de la determinación analítica de tierras raras en rocas y minerales
María Aurora Armienta
- 8** Red sismológica telemétrica SSN-Pemex
M. Calleja, R. Hernández, C. López y D. Ponce
- 9** Los freones y la atmósfera
Carlos Gay
- 15** La geología del sistema solar—I. Volcanismo en Venus
Jaime Urrutia Fucugauchi y Luis A. Delgado Argote
- 17** El director invisible
Silvia Bravo
- 21** El sismo de 1985: una agenda para la sismología latinoamericana
Cinna Lomnitz
- 23** Primera etapa de instalación de la red de monitoreo sísmico y geodésico del volcán de Colima
Varios autores
- 27** Precipitación anual probable, usando series de Fourier
Domitilo Pereyra y Francisco Escamilla
- 36** Sección Grupos de Trabajo: La editorial del Instituto de Geofísica, **Geofísica Internacional**
Ela Molina
- 3a. de forros**
Indice alfabético de autores



g e o s



EDITORIAL

Con beneplácito hemos recibido muestras de apoyo en la labor que viene desarrollando **GEOS**. Ha habido una buena respuesta de parte de los miembros de la **UGM** al enviarnos sus aportaciones en diversos temas de estudio, pero sabemos que faltan colaboraciones de muchos otros. Tenemos miembros en varios estados de la República y deseamos nos hagan llegar sus contribuciones. Nuestra labor será incompleta si no somos capaces de cumplir con los objetivos de dar a conocer a la Unión Geofísica Mexicana y a sus integrantes las acciones que realizamos o en las que podemos incidir tanto a nivel local, regional, nacional e internacional.

Démosle a **GEOS** la importancia que tiene, es nuestra carta de presentación.

Nota:

En virtud de que no existe un Reglamento para el manejo de la Revista **Geofísica Internacional**, se solicita a todos los miembros activos de la **Unión Geofísica Mexicana** se sirvan hacer llegar al Secretario de Investigación de ésta, sus sugerencias y contribuciones para estructurar dicho Reglamento.

La fecha límite de recepción será el 30 de octubre de 1988. La dirección es:
Apartado Postal 142-024, México, D.F.

Hidrodinámica Aplicada

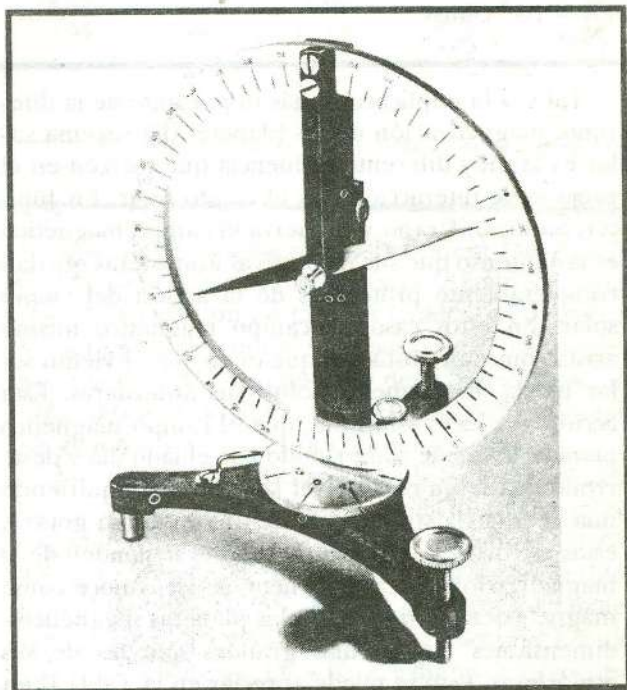


LA MAGNETIZACION DE LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR Y SU RELACION CON LA EVOLUCION DE SUS ATMOSFERAS

Héctor Pérez de Tejada

A más de 20 años de haberse iniciado la exploración de los planetas del sistema solar, por medio de vehículos y satélites artificiales, es mucho lo que se ha aprendido sobre las características de sus superficies, sus atmósferas y los campos magnéticos que poseen. Entre los resultados más importantes derivados de esta exploración sobresale la extrema variedad de la magnetización intrínseca en los diferentes cuerpos del sistema solar. Existe, de hecho, una nueva jerarquía planetaria ordenada con base en la intensidad de los campos magnéticos que se han medido. Aún cuando las características de estos campos son, en muchos casos, completamente diferentes, es posible establecer una escala comparativa entre ellos por medio de parámetros que identifican las propiedades de campos magnéticos equivalentes reproducidas por las observaciones. El más importante de éstos es el momento magnético dipolar equivalente de cada planeta que produce, en primera aproximación, intensidades magnéticas comparables a las medidas en su vecindad. Esta representación del campo magnético planetario se puede ajustar más, orientando adecuadamente el eje del dipolo y desplazando su posición dentro del planeta hasta lograr reducir al mínimo las diferencias entre los valores calculados y los medidos.

En la Tabla I se presenta una relación de los momentos magnéticos de los dipolos equivalentes de los planetas en donde han habido observaciones *in situ*, junto con la intensidad magnética esperada en sus superficies. Lo más notable de estos números es la muy variada magnetización que existe en todo el sistema solar. Se aprecia, por ejemplo, que existen 2 grupos principales de planetas de muy diferente magnetización. Júpiter, Saturno, Urano y la Tierra forman el grupo de los llamados planetas magnéticos porque poseen magnetizaciones que dan lugar a campos magnéticos importantes en sus superficies observadas. A Mercurio, Marte y Venus se les clasifica, por otra parte, como planetas de débil magneti-



zación por la baja intensidad magnética que se observa en sus superficies. Es de notar que entre Júpiter (el planeta de más alta magnetización) y Venus (el menos magnetizado) hay una diferencia de casi 9 órdenes de magnitud en el valor del momento dipolar magnético correspondiente y aproximadamente 5 órdenes de magnitud en la diferente intensidad del campo magnético en sus superficies observadas. La Tierra tiene, por otro lado, una magnetización importante aunque muy inferior a la de los planetas mayores. A pesar de esto, la intensidad magnética en la superficie terrestre es comparable a la esperada en las superficies de Saturno y Urano. Esto se debe a que el radio planetario de estos últimos es mucho mayor que el de la Tierra (La intensidad del campo magnético dipolar decrece como $1/r^3$ y es, por tanto, mucho menor cuando el radio planetario es muy grande).

Tabla I

Júpiter	1.5×10^{30} Gauss cm ³	400 000 γ
Saturno	4.4×10^{28} Gauss cm ³	20 000 γ
Urano	8.0×10^{26} Gauss cm ³	50 000 γ
Tierra	8.2×10^{25} Gauss cm ³	30 000 γ
Mercurio	2.4×10^{22} Gauss cm ³	160 γ
Marte	$\sim \times 10^{22}$ Gauss cm ³	30 γ
Venus	$< \times 10^{21}$ Gauss cm ³	4 γ

$$1 \gamma = 10^{-5} \text{ Gauss}$$

Tal vez la implicación más importante de la diferente magnetización de los planetas del sistema solar es la muy diferente influencia que ejercen en el proceso de interacción con el viento solar. En Júpiter, Saturno, Urano y la Tierra el campo magnético es tan intenso que sus respectivas atmósferas quedan completamente protegidas de la acción del viento solar. En estos casos el campo magnético mismo actúa como un obstáculo que evita que el viento solar incida directamente sobre sus atmósferas. Esta acción produce, asimismo, que el campo magnético planetario quede comprimido por el lado día y desarrolle una larga cola por el lado noche adquiriendo una geometría similar a la de una inmensa gota. A estas estructuras, cuyas dimensiones dependen de la magnetización de cada planeta, se les conoce como magnetósferas y tienen, en los planetas magnéticos, dimensiones mucho más grandes que las de sus atmósferas. Esto se puede apreciar en la Tabla II en donde se presentan, junto con el radio planetario, la posición de la frontera de la magnetósfera (llamada magnetopausa) en la dirección del Sol. Para Júpiter, en particular, la magnetósfera se extiende hasta unos 7 millones de kilómetros por delante del planeta; o sea, aproximadamente unas 100 veces el radio planetario visible. Este último resulta ser una buena medida de las dimensiones de la atmósfera pues ésta no se extiende mucho más allá de aquél. Para Saturno y Urano la situación no es tan extrema aunque de cualquier manera sus magnetósferas se extienden por lo menos 20 veces más que sus atmósferas. En el caso de la Tierra la magnetósfera es todavía bastante mayor (unas 10 veces) que las dimensiones de la atmósfera, de suerte tal que, como en los planetas más magnéticos, ésta última queda ampliamente resguardada del viento solar.

Tabla II

	Radio Planetario	Posición de la magnetopausa
Júpiter	71 000 km	7 000 000 km
Saturno	60 000 km	1 400 000 km
Urano	25 000 km	450 000 km
Tierra	6 380 km	66 000 km
Mercurio	2 440 km	3 000 km
Marte	3 400 km	4 000 km
Venus	6 050 km	6 300 km

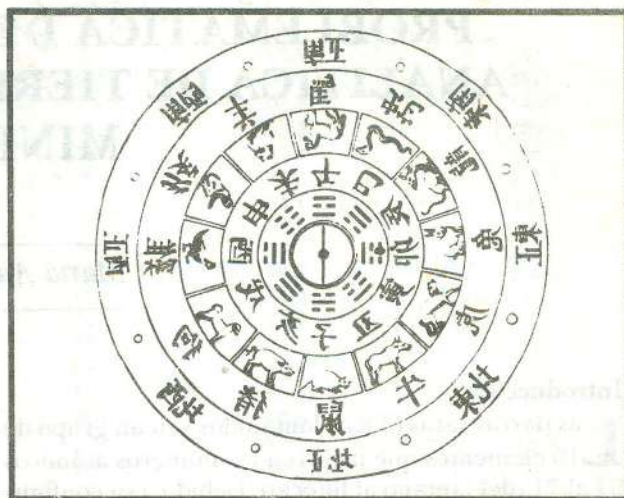
Lo contrario puede decirse, por otro lado, de los planetas débilmente magnetizados (Mercurio, Marte y Venus) en donde las dimensiones de las magnetósferas correspondientes son enteramente comparables a los radios planetarios. En estos casos el viento solar tiene acceso directo a sus atmósferas y da lugar a procesos de erosión que no se generan en los planetas magnéticos. Esta condición es particularmente crítica en Venus, donde el campo magnético planetario es tan débil que no juega ningún papel importante en el proceso de interacción con el viento solar. Bajo tales condiciones, es la misma atmósfera, o más apropiadamente la ionósfera (formada por las partículas ionizadas de aquélla) la que sufre la acción del viento solar. Como resultado de ello la ionósfera del hemisferio día es comprimida hacia el planeta y deformada hacia el lado noche. Conforme esto ocurre, la ionósfera pierde gradualmente grandes fragmentos, en forma de nubes, que son arrastrados por el viento solar y que causan, en última instancia, una pérdida importante del material atmosférico del planeta.

El proceso de erosión que se observa en Venus no existe en ninguno de los planetas magnéticos y tiene, indudablemente, fuertes implicaciones relacionadas con la evolución de la atmósfera venusina. Un problema relevante, a los efectos que esto pudo haber tenido a lo largo de su historia, es la conspicua ausencia, hoy día, de una gran cantidad de agua que debió haber existido en la superficie de ese planeta hace muchos cientos de millones de años. Una posibilidad es que una buena parte del agua se perdió en el espacio conforme sus moléculas fueron gradualmente fotodisociadas e ionizadas por la radiación solar, y posteriormente arrastradas por el viento solar. Esta proposición es apoyada por el hecho de que la componente principal de la ionósfera superior de

Venus está formada, precisamente, por iones de oxígeno, los cuales resultan de la fotodisociación e ionización del agua. A diferencia de otros gases, como el CO₂, que son más abundantes en la baja atmósfera de Venus, los átomos del oxígeno atómico tienden a difundirse rápidamente hacia las capas superiores de la ionósfera, en donde sufren la acción del viento solar. Como resultado de esta cadena de eventos es de esperarse que a lo largo de muchos millones de años apareciera una deficiencia real de átomos y moléculas de oxígeno en la composición general de la atmósfera.

Una situación similar pudo también haber ocurrido en Marte, en donde, a pesar de que el campo magnético planetario es menos débil que en Venus, no es capaz de evitar que el viento solar incida sobre su ionósfera y erosione sus capas superiores. En este caso las implicaciones de esa acción pudieron haber sido de mayores consecuencias pues, a diferencia de Venus, la atmósfera de Marte es extremadamente tenue. Es muy posible que en buena medida el viento solar haya sido responsable de ello, y que la erosión sufrida por su atmósfera a lo largo de muchos millones de años sea la causa de las condiciones que existen hoy día. Esta suposición es apoyada por la presencia de canales fluviales en la superficie del planeta. Tales canales evidencian que, en alguna ocasión, hubo grandes cantidades de agua en su atmósfera y que ésta llegó a ser mucho más densa de lo que es hoy. Hay quienes sugieren que esa agua se encuentra congelada en el subsuelo marciano. Sin embargo, al igual que en Venus, las capas superiores de la ionósfera del planeta están dominadas por iones de oxígeno, así que fenómenos similares a los supuestos para Venus pudieron haber ocasionado, en Marte, resultados análogos; esto es, su atmósfera pudo haber ido perdiendo gradualmente las partículas de agua conforme estas eran fotodisociadas e ionizadas por la radiación solar. Independientemente de estos efectos, la pérdida de material atmosférico en Marte debió haber sido más rápida que en Venus por la circunstancia adicional de que el campo gravitatorio marciano es mucho más débil que el de Venus y permite, por tanto, una más acelerada evaporación térmica de las partículas atmosféricas.

Un caso igualmente notable lo representa Mercurio, en donde, a pesar de que su débil campo magnético induce una magnetósfera cuyas dimensiones apenas exceden las del planeta, resulta ser ésta, de todas maneras, el único obstáculo que se opone al paso del viento solar. Esto se debe a que Mercurio prácticamente no tiene ninguna atmósfera



y por tanto no existe una ionósfera que interaccione con el viento solar. Debido a esta circunstancia las condiciones en Mercurio se ajustan más a las de los planetas magnéticos y difieren notablemente de las que existen en Venus y Marte. Hay que recalcar, sin embargo, que si el planeta tuviera una atmósfera apreciable sería ésta la que actuara como obstáculo principal al paso del viento solar, y habría que pensar que dicha atmósfera sería fuertemente afectada por procesos de erosión. En este sentido es inescapable la posibilidad de que el actual estado de cosas en Mercurio haya sido resultado de esa acción, y que el planeta ha llegado a la situación extrema en que la erosión acabó completamente con su atmósfera.

Lo que se ha escrito aquí sirve para enfatizar la importancia de la magnetización interna de cada planeta en relación con el sostenimiento de su atmósfera y, en particular, es útil para señalar que en buena medida el campo magnético de nuestro planeta ha sido clave en el mantenimiento de nuestra atmósfera. Indudablemente que sus características serían muy diferentes si el campo geomagnético hubiera permitido al viento solar erosionar fuertemente, y durante mucho tiempo, las capas superiores de la ionósfera. No es aventurado pensar que tal situación hubiera, inclusive, afectado la evolución de las especies y que otras fueran las condiciones que prevalecieran sobre la superficie terrestre. Es por lo mismo evidente que el estudio de las atmósferas y campos magnéticos de otros planetas, además de conducir a información, en sí valiosa, sobre las condiciones existentes en otros ámbitos, proporciona elementos de juicio con los cuales se puede valorar más adecuadamente la serie de circunstancias tan especiales que hicieron de la Tierra una morada única en el sistema solar.

PROBLEMATICA DE LA DETERMINACION ANALITICA DE TIERRAS RARAS EN ROCAS Y MINERALES

María Aurora Armienta

Introducción

Las tierras raras (TR) o lantánidos son un grupo de 15 elementos que incluyen los números atómicos 57 al 71 (del lantano al lutecio). Debido a su configuración electrónica sus características químicas son similares.

Estos elementos, al transcurrir procesos geoquímicos en la litósfera, sufren fenómenos como fraccionamiento y dispersión y presentan diferencias entre cada elemento, debidas fundamentalmente a su diferente radio iónico. Este comportamiento los convierte en indicadores de mecanismos y grado de diferenciación (Allègre y Michard, 1974).

En Ciencias de la Tierra es importante conocer la concentración de la totalidad o de la mayor parte de los miembros de la serie de las TR en una muestra de roca. En estudios de geoquímica y petrogénesis se utilizan los patrones que resultan de la relación "concentración de TR en la muestra/concentración de TR en condritas" vs radio iónico o número atómico. Se considera también de utilidad la proporción entre las TR ligeras (Sm-Nd) y las pesadas (Gd-Lu). Coryell et al., 1963).

Las rocas ígneas de diferentes ambientes tectónicos y series magmáticas, presentan patrones de concentración de TR característicos, evidenciando diversos procesos de formación de magmas.

Métodos analíticos

A causa de las propiedades químicas similares ya señaladas, a los niveles de concentración en que se encuentran en las rocas, y a las características de esta matriz rocosa, su determinación analítica es complicada. En particular, los procedimientos más usuales para otro tipo de elementos, no permiten diferenciar entre uno y otro lantánido o tierra rara.

El análisis por vía húmeda se basa en la insolubilidad de sus oxalatos en ácidos minerales diluidos, con lo que se separan estos elementos de otros metales presentes en la roca. Después de esta etapa, la dife-

renciación entre cada una de las tierras raras requiere un procedimiento sumamente laborioso y largo que incluye múltiples precipitaciones o cristalizaciones fraccionadas (Schoeller y Powell, 1955), esto implica una dificultad importante debido a las bajas concentraciones (partes por millón) a las que se encuentran en las rocas.

La espectrofotometría en el visible se ha aplicado para el análisis de lantánidos a través de la formación de compuestos coloridos, con diversos agentes cromogénicos. Este método difícilmente permite diferenciar cada lantánido, presentándose interferencias al menos para cada dos o tres elementos (Cheng et al., 1982).

El desarrollo de las técnicas de intercambio iónico y de extracción líquido-líquido utilizando agentes complejantes, ha posibilitado la separación de las TR, que se analizan después de esta etapa mediante procedimientos volumétricos o espectrofotométricos (Yuan et al., 1982).

La electroquímica es otro de los métodos analíticos que se encuentra en desarrollo experimental para la determinación de estos elementos. En particular, se ha utilizado la voltamperometría por redisolución catódica, así como el uso de electrodos selectivos (Suzuki et al., 1982; Cervantes, 1983). Estas técnicas posibilitan la cuantificación de un elemento por cada análisis. Cabe señalar que no existen todavía electrodos para todos los lantánidos, y los ya creados no se han comercializado.

Un método muy empleado en el análisis de rocas es la espectrometría de fluorescencia de rayos X, su principal inconveniente radica en la necesidad de una calibración complicada y específica para cada tipo de roca, debido a las interferencias que se presentan por matriz.

El análisis por activación con neutrones se ha utilizado con frecuencia en estudios de tipo geofísico y geoquímico (Terrell et al., 1978). Mediante esta técnica es posible cuantificar prácticamente toda la

serie de los lantánidos aún en bajas concentraciones. La irradiación de la muestra debe efectuarse con neutrones térmicos producidos en un reactor nuclear. La aplicación de esta metodología está, por tanto, sujeta al acceso a este tipo de reactor.

La espectrometría de masas con fuente de chispa es otro de los procedimientos analíticos usuales para la determinación de TR en rocas y minerales (Taylor y Gorton, 1977). Este procedimiento requiere muy poco tratamiento de la muestra y permite el análisis simultáneo e individual de cada lantánido. Sus desventajas radican en requerir de un equipo muy específico, así como en el procedimiento para la interpretación cuantitativa, el cual consta de varias etapas, lo que además de prolongarlo posibilita la acumulación de errores.

Dentro de la espectrometría de masas, la técnica de dilución isotópica permite la cuantificación de la mayoría aunque no de todas las TR. Para su aplicación se necesita una separación previa de las TR por medio de intercambio iónico; de equipo con fuente de ionización térmica, así como de patrones isotópicos enriquecidos para cada elemento. (Schnetzer *et al.*, 1967).

Recientemente se ha desarrollado un método analítico que consiste en el uso de espectrómetros de masas con fuente de impacto electrónico (equipo de aplicación amplia). El procedimiento involucra la formación de derivados volátiles de las TR y su determinación cuantitativa mediante el sistema de monitoreo selectivo de iones, lo que permite su automatización (Armienta, 1987).

Debido a la complejidad que significa la determinación analítica de las TR en rocas y minerales y a su creciente importancia, se continúan desarrollando técnicas, mediante el uso de equipos e instrumental muy sofisticado, como por ejemplo sistemas de espectrometría de masas con fuente de plasma (Date y Gray, 1984).

Conclusiones

El análisis químico de las tierras raras en rocas y minerales no es un procedimiento sencillo ni directo. Se requiere de equipos muy específicos, o bien, de la integración de varios procesos de tratamiento de la muestra que posibiliten utilizar métodos más convencionales.

Estos elementos tienen cada día mayores usos industriales. En la producción de aceros de alta resis-

tenencia se les aprovecha como nodulizantes. Otro campo de aplicación está en la industria electrónica. Recientemente se ha descubierto su importancia para la fabricación de superconductores de alta temperatura.

Este desarrollo ha hecho más evidente la necesidad de contar con métodos analíticos accesibles y confiables para utilizarlos tanto en los procesos industriales, como para explorar sus yacimientos.

Bibliografía

- Allègre, C. J. y Michard, G., 1974. *Introduction to Geochemistry*. O. Reidel Publ. Co., Holanda, p. 59-78.
- Armienta, H. M. A. *Estudios cuantitativos por espectrometría de masas de elementos de la serie de los lantánidos*. Tesis. Maestría en Ciencias Químicas, UNAM.
- Baker, P. E., 1982. "Evolution and clasificación of orogenic volcanic rocks". En: R. J. Thorpe (Ed), *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*. John Wiley and Sons, p. 11-22.
- Cervantes, T. F., 1983. *Problemática de las tierras raras, voltamperometría por redisolución catódica del cerio*. Tesis, Químico, UNAM.
- Coryell, Ch. S., Chase, J. O. y Winchester, J. W., 1963. "A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare-earth abundance patterns". *J. Geophys. Research*, 68 (2), p. 559-566.
- Cheng, J., Luo Q., Li, X. y Tseng, Y., 1982. "Spectrophotometric Determination of rare earths in ligand buffer masking systems". En: McCarthy, G. J., Silber, H. B. y Rhyne, J. J., *The rare earths in modern science and technology*. Plenum Press. N. Y., p. 513-516.
- Oate, A. R., Gray, A. C., 1985. "Determination of trace elements in geological samples by inductively coupled plasma source mass spectrometry", *Spectrochimica Acta*, 40 B(1/2), p. 115-122.
- Schnetzer, Ch. C., Thomas, H. H., Philpotts, J. A., 1967. "Determination of rare earth elements in rocks and minerals by mass spectrometric, stable isotope dilution technique". *Anal. Chem.*, 39, p. 1888-1890.
- Schoeller, W. R., Powell, A. R., 1955. *Analysis of minerals & Ores of the rarer elements*. Hafner Publ., Co., E.U.A., p. 94-112.
- Suzuki, Y., Itoh, H., y Nakano, T., 1982. "Rare earth ion selective electrodes: II Europium and praseodymium compound membranes". En: McCarthy, G. J., Silber, H. B. y Rhyne, J. J. (Ed.). *The rare earths in modern science and technology*. Plenum Press. N. Y., p. 521-524.
- Taylor, S. R., y Gorton, M. P., 1977. "Geochemical application of spark source mass spectrography. III. Element sensitivity, precision and accuracy". *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4, p. 1375-1380.
- Terrell, D. J., Pal, S. y López, M. M., 1978. "Geochemistry of some metamorphic and sedimentary rocks from the mineral district of Zacatecas, Zac., Mexico". *Geofis. Int.*, 17, p. 151-166.
- Verma, S. P., 1985. "Las tierras raras y su utilidad en el estudio de la petrogenesis de rocas volcánicas de México". 1er Simposio Nacional sobre la Química de las Tierras Raras y su desarrollo en México. México (Resumen).
- Yuan, C., Ye, W., Ma, E., Wu, F. y Yan, X., 1982. "Structure-reactivity studies on the extraction of lanthanides by dialkyl isopropylphosphonates". En: McCarthy, G. J., Silber, H. B. y Rhyne, J. J. *The rare earths in modern science and technology*. Plenum Press, N. Y., p. 499-503.

RED SISMOLOGICA TELEMETRICA SSN-PEMEX

M. Calleja, R. Hernández, C. López y D. Ponce

Con el objeto de ampliar las observaciones de la actividad sísmica en el país, las cuales se realizan actualmente a través de la red de estaciones sismológicas del SSN, en febrero de 1987 se proyectó la instalación de estaciones sismológicas telemétricas con el apoyo de la red de microondas de PEMEX. Este sistema de comunicación, además de ser muy confiable, permite hacer derivaciones en los repetidores de microondas, lo que ha permitido la instalación de equipo sismológico y permite traer la información a la ciudad de México en tiempo real.

Los sismómetros empleados en las estaciones telemétricas son de período corto (1 seg) del tipo Ranger y S-13. La información generada por los sismómetros es amplificada en rangos de 60, 66 y 72 Db., dependiendo de las características del terreno. Un filtro activo pasa banda permite seleccionar un rango de frecuencias, tanto en las bajas como en las altas.

Para el transporte de la señal sísmica de los repetidores a la ciudad de México se utilizan moduladores analógicos, los cuales son osciladores controlados por voltaje que reciben la señal del sismómetro previa-

mente amplificada y filtrada, este oscilador se ajusta a una frecuencia de operación en el rango audible entre 360 y 3060 Hz. pudiendo ser multiplexadas varias señales para usar un mismo canal de comunicación.

La información de las estaciones telemétricas se envía por un canal del subgrupo de más bajas frecuencias, a la ciudad de México y se recibe en la Torre ejecutiva de PEMEX, esta información es enviada al Instituto de Geofísica por una línea telefónica privada para su inscripción en la unidad de registro visible.

Actualmente se reciben en el Instituto de Geofísica las señales sismológicas provenientes de las estaciones de: Cerro del Vigía, Ver.; Laguna Verde, Ver.; Monterrey, N. L.; San Miguel, Edo. de Mex. y Jocotitlán, Edo. de Mex.

Para ampliar la cobertura de esta red se tiene proyectada la instalación de estaciones sismológicas telemétricas adicionales en el istmo de Tehuantepec y la costa del Golfo de México.

Nota: En el desarrollo de este proyecto se ha contado con la colaboración de la Gerencia de Ingeniería en Telecomunicaciones de PEMEX.



CONTENIDO

CHUNG-MUH TANG: The meridional scale of baroclinic waves with latent heat release.....	45
ISMAEL PEREZ GARCIA: A model of the stable nocturnal boundary layer.....	63
A. BASTI, M. REYES, I. ROSAS and P. MOSIÑO: CO ₂ concentrations in the highly polluted atmosphere of Mexico City.....	87
CARLOS LAYORRE D. y LUIS PENILLA: Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur.....	99

ISSN 0187-0191

MEXICO



CONTENIDO

WILLIAM H. KLEN and RUNHUA YANG: Statistical prediction of monthly mean temperature anomalies in the United States during winter months.....	113
ERNESTO JAUREGUI: Local wind and air pollution interaction in the Mexico basin.....	130
CHRISTIAN D. SCHÖNWIESE: Possible activity parameters and relationships climate relationships within the recent centuries.....	141
RENE GARDUÑO and JULIAN ADAM: Intensive long wave spectrum for the Chetumal river mouth.....	157
M. SANKAR-BAD and A. V. KIRAN KUMAR: Precipitation results on the migration of the tropical rainfall zone in a simple climate.....	173

MEXICO 1988

Ya aparecieron los números dos y tres de la revista cuya portada se reproduce aquí.

Les invitamos cordialmente a someter artículos para su publicación, así como a suscribirse hoy mismo a ATMOSFERA.

Para informes dirigirse a:
Editor de ATMOSFERA
Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.
Circuito Exterior, C. U.
04510, México, D. F. MEXICO.

LOS FREONES Y LA ATMOSFERA

Carlos Gay

En este trabajo se tratarán de aclarar algunas dudas que han surgido con motivo de las informaciones aparecidas en los diarios y algunas revistas no especializadas sobre el problema del ozono estratosférico, los clorofluorocarbones (freones) y el efecto invernadero.

Sobre el problema del ozono y su posible destrucción por los productos de la fotólisis de los freones, en particular el cloro libre, ya nos hemos ocupado anteriormente¹. Sin embargo, y para tener presente lo que pasa resumiremos:

Los freones son sustancias que se utilizan en diversos procesos industriales y que tienen una gran importancia económica para los países que los producen. Entre sus usos encontramos la fabricación de latas atomizadoras en las que se usa como gas impulsor (desodorantes, latas de pintura, fijadores de pelo, etc.), también en la producción de espumas plásticas, en refrigeración y en la industria electrónica donde se emplea como solvente en la producción de semiconductores.

Ahora bien, cuando se desechan viejos refrigeradores o aparatos de refrigeración o se tiran a la basura los vasos de espumas plásticas, o se emplean las latas de spray; estos fluorocarbones son liberados en la atmósfera donde interaccionan tanto química como radiativamente.

Los freones vinieron a sustituir al amoníaco en los sistemas de refrigeración por ser este último mucho más peligroso para los humanos, y porque se suponía que estos gases eran inertes en la atmósfera, esto es, no reaccionarían con nada. Sin embargo, se ha encontrado que los freones liberados en la atmósfera baja (tropósfera, donde son inertes) son transportados a la atmósfera superior (estratósfera) debido al constante proceso de mezclado que ocurre por debajo de los 100 Km. de altura. El recorrido de los freones a la estratósfera puede tomar varios años, lo que significa que los freones que ahora se encuentran en la estratósfera fueron liberados hace muchos años.

Pues bien, cuando estas sustancias llegan a la estratósfera, la radiación solar rompe sus moléculas liberando átomos de cloro (Cl), que actúan sobre el

ozono a través de una serie de reacciones catalíticas en las que un solo átomo de cloro puede destruir hasta 100,000 moléculas de ozono. Es precisamente esta acción destructora del ozono la que convierte a los freones en sustancias de suma importancia para el hombre, pues como ya se ha dicho, el afectar la capa de ozono representa poner en peligro a la humanidad, ya que al disminuir su espesor, una mayor cantidad de radiación ultravioleta solar puede alcanzar la superficie y dañar al hombre y a los seres vivos. Es necesario repetir aquí que aunque la acción destructora del ozono por parte de los freones es un hecho real, no deja de ser un tema muy controvertido en el que los investigadores no se ponen de acuerdo con respecto a la inminencia del peligro que representa su presencia en la atmósfera.

Sin embargo, la aparición del agujero de la capa de ozono en la estratósfera de la Antártida, que se ha repetido año con año en octubre, desde 1980, ha causado gran preocupación, pues aparece como una indicación de que los procesos de destrucción del ozono son más eficientes de lo que se esperaba. Este hecho impulsó a las naciones del mundo a llegar a un acuerdo, en 1987, en el que se comprometen a controlar y eventualmente reducir la cantidad de clorofluorocarbones que se producen en el mundo.

La otra amenaza de los clorofluorocarbones.

A partir de la revolución industrial, a mediados del siglo pasado, el uso de combustibles fósiles ha ido en aumento constantemente, y como consecuencia de esto, la concentración de bióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera ha aumentado. Asociado con este aumento se ha determinado que debido al efecto invernadero se ha producido un aumento global de temperatura del orden de 0.5 C° en el último siglo.^{2,3,4} Por su parte, el bióxido de carbono en la atmósfera, en el periodo 1880-1980 se ha incrementado de 280-300 ppm a 335-340 ppm (ppm = partes por millón).³

Efecto invernadero Modelo simple

Con el fin de comprender de qué se trata el efecto invernadero, es preciso señalar algunas característi-

cas que se observan en nuestro planeta. Por un lado observamos que aunque existen variaciones en la temperatura, cuando esta se promedia durante períodos de muchos años y sobre el planeta esta se mantiene prácticamente constante, en otras palabras, la temperatura no aumenta ni disminuye. Esto nos hace pensar que existe un balance entre la energía que se recibe y la energía que la Tierra emite al espacio. La Tierra, tal y como el resto de los planetas, recibe la inmensa mayoría de su energía del Sol y por lo tanto debe radiar al espacio una cantidad igual a la energía solar absorbida. El sol constantemente emite energía luminosa que se propaga por el medio interplanetario; esta energía medida por unidad de área y de tiempo representa el flujo de radiación que a su vez depende fuertemente de la distancia al Sol; así que la energía que la Tierra absorbe depende del cuadrado del inverso de la distancia Sol-Tierra.

Esto se puede comprobar fácilmente, A la distancia de la Tierra al Sol se le puede considerar como una fuente puntual, que emite su energía radialmente y hacia afuera. Consideremos la radiación que atraviesa una área L^2 a una cierta distancia r

Podemos suponer que los cuatro vértices del cuadrado L^2 pertenecen a una esfera de radio r , por lo tanto, si E es la energía que atraviesa L^2 , el flujo a la distancia r vendrá dado por:

$$F = \frac{E}{t \times L^2}$$

donde t es el tiempo en el que la energía, E , atraviesa un área L^2 .

Supongamos que los rayos que unen a S con los vértices del cuadrado L^2 se prolongan a una longitud de r' , donde determinan una nueva superficie de área L'^2 (nuevamente los vértices pertenecen a una esfera de radio r'). La energía que atraviesa esta superficie en la unidad de tiempo es la misma que atravesó la superficie L^2 pues la emisión de la fuente S es radial. Conociendo entonces la energía que atraviesa L'^2 en el tiempo t , podemos escribir para el flujo a la distancia r' lo siguiente:

$$F(r') = \frac{E}{t \times L'^2}$$

Observando la figura, es claro que los triángulos $sa'b$ y $sa''b'$ son semejantes por lo que podemos escribir:

$$\frac{L}{r} = \frac{L'}{r'}$$

y

$$L' = L(r/r');$$

sustituyendo esto último en la fórmula para el flujo a la distancia r' tenemos que:

$$F(r') = \frac{E}{t \times L^2} (r/r')^2$$

donde $\frac{E}{t \times L^2}$ es el flujo a la distancia r . Finalmente

$$F(r') = F(r) (r/r')^2$$

donde se muestra la dependencia del flujo, del inverso del cuadrado de la distancia, medida en unidades (r). Si consideramos que el flujo solar a la distancia media Sol-Tierra (r_0) es (F_0) entonces podemos escribir para el flujo que incide sobre la Tierra la siguiente fórmula:

$$F = F_0 (r_0/r)^2$$

donde r es la distancia verdadera Sol-Tierra, a esta distancia los rayos solares son aproximadamente paralelos y la Tierra ofrece un obstáculo a su propagación de un área igual a πa^2 donde a es el radio terrestre (el área πa^2 es la proyección de la esfera en el plano normal a la dirección de los rayos solares).

Por lo tanto la Tierra intercepta, por unidad de tiempo, una cantidad de energía dada por:

$$\pi a^2 F$$

o bien:

$$\pi a^2 F_0 (r_0/r)^2,$$

No toda la energía interceptada es absorbida por nuestro planeta, pues las nubes fundamentalmente, son capaces de reflejar parte de esta energía. A la cantidad que mide esta capacidad reflectora se le conoce como albedo planetario (A) que representa la fracción energía reflejada/energía incidente. Tomando en cuenta el albedo podemos entonces escribir para la energía absorbida por la Tierra la siguiente expresión:

$$(1 - A) \pi a^2 F$$

o:

$$(1 - A) \pi a^2 F_0 (r_0/r)^2,$$

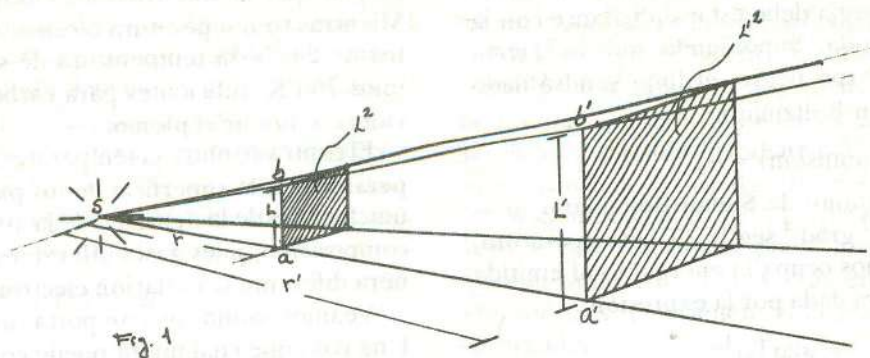


Fig. 1

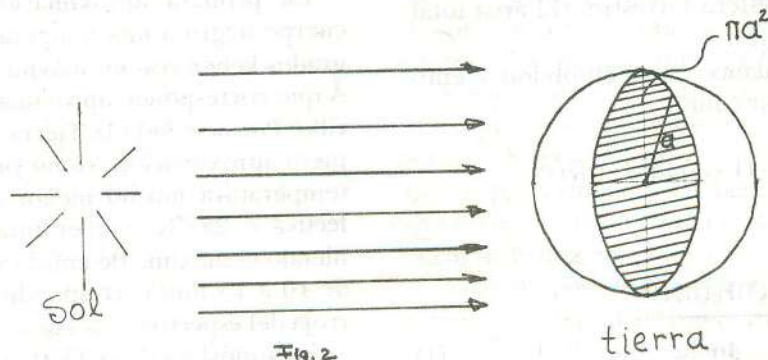


Fig. 2

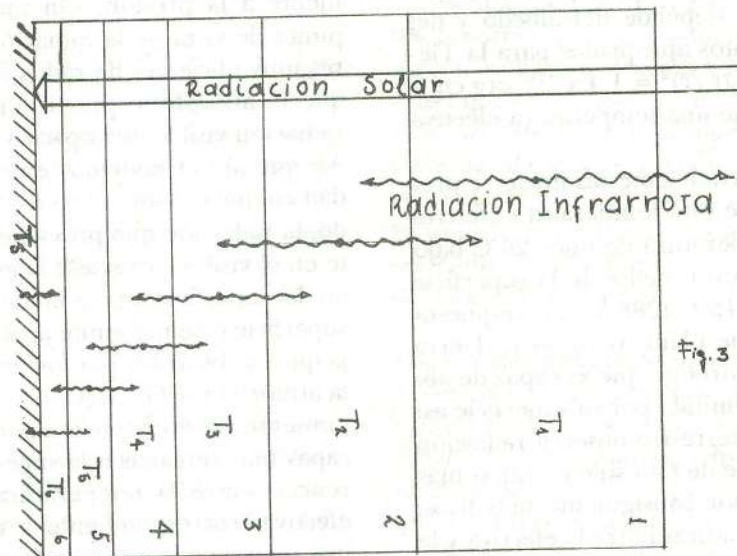


Fig. 3

que es simplemente la energía total incidente menos la energía reflejada. Como ya mencionamos anteriormente esta energía debe estar en balance con la energía total emitida. Suponiendo que la Tierra emite como un cuerpo negro, el flujo vendrá dado por la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$F(\text{emisión}) = \sigma T^4$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ grad}^{-4} \text{ seg}^{-1}$) y T la temperatura.

En el caso que nos ocupa la energía total emitida por la Tierra vendrá dada por la expresión:

$$4\pi a^2 \sigma T_{\text{ef}}^4$$

donde:

$$4\pi a^2$$

es la superficie de la esfera terrestre. (El área total de emisión es una esfera).

La condición de balance entre absorción y emisión la podemos escribir como:

$$4\pi a^2 \sigma T_{\text{ef}}^4 = (1 - A) \pi a^2 F_0 (r_0/r)^2$$

de donde:

$$T_{\text{ef}} = \frac{(1 - A) F_0 (r_0/r)^2}{4\sigma} \quad (1)$$

A la temperatura calculada de esta manera se le conoce como temperatura efectiva del planeta y que como vemos, solamente depende del albedo y del flujo solar. Utilizando datos apropiados para la Tierra: $r = 150 \times 10^6 \text{ km}$; $F_0 (r_0/r)^2 = 1.4 \times 10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ y $A = .33$ se obtiene una temperatura efectiva de 253°K .

Algún terrestre que haya leído estas líneas se preguntará qué sentido tiene esta temperatura efectiva que representa una temperatura de unos 20°C bajo cero, cuando la temperatura media de la superficie de la Tierra es de unos 15°C (288°K). La respuesta radica en el hecho de que planetas como la Tierra posee una atmósfera importante que es capaz de absorber energía radiante emitida por su superficie así que un observador extraterrestre observa radiación que no parte directamente de ésta sino de capas más altas de la atmósfera y por consiguiente más frías. Esta diferencia de temperaturas entre la efectiva y la de la superficie del planeta es una manifestación del efecto invernadero y un modelo matemático de éste (que podríamos considerar de "o" dimensiones) viene dado por la fórmula (1).

Para Venus que tiene una atmósfera mucho más pesada que la nuestra este efecto es más grande. Mientras su temperatura efectiva es de aproximadamente 244°K la temperatura de su superficie es de unos 700°K , suficientes para carbonizar el pavo navideño o fundir el plomo.

El contraste entre la temperatura efectiva y la temperatura de la superficie de un planeta no depende únicamente de la densidad de la atmósfera sino de su composición, pues gases diferentes absorben de manera diferente la radiación electromagnética.

Veamos como se comporta nuestra atmósfera. Una cosa que cualquiera puede comprobar es el hecho de que es prácticamente transparente a la radiación visible. De no ser así, no nos veríamos los unos a los otros.

En primera aproximación el Sol emite como cuerpo negro a una temperatura de unos 5 a 6 mil grados kelvin con un máximo alrededor de los 5000 Å que corresponde aproximadamente al color amarillo. Por otro lado la Tierra emite también (en primera aproximación) como cuerpo negro pero a una temperatura mucho menor (253°K temperatura efectiva ó 288°K temperatura de la superficie), teniendo el máximo de emisión en longitudes de onda de 10 a 15 mm correspondientes a la región infrarroja del espectro.

La atmósfera de la Tierra contiene pequeñas cantidades de CO_2 , bióxido de carbono; H_2O , agua y O_3 , ozono, que aunque contribuyen despreciablemente a la presión, son importantísimos desde el punto de vista de la radiación, pues son absorbedores muy eficientes de radiación infrarroja. Esto hace que la atmósfera, prácticamente transparente a la radiación visible, sea opaca a la radiación infrarroja. Así que ahora podemos entender con mayor facilidad en qué consiste el efecto invernadero. Por un lado, la radiación que proviene del Sol (principalmente en el visible) atraviesa la atmósfera y es absorbida en la superficie propiciando su calentamiento. La superficie caliente emite a su vez radiación infrarroja que es absorbida por los componentes menores de la atmósfera (CO_2 , H_2O , O_3), produciendo un calentamiento de ésta con temperaturas mayores en las capas más cercanas a la superficie. De aquí las diferencias entre la temperatura de la superficie y la efectiva, correspondiente a capas de la atmósfera más altas y por tanto más frías.

Un modelo más complicado para explicar el efecto invernadero

Siguiendo a Goody y Walker⁵ supongamos que dividimos la atmósfera en capas que son lo suficien-

temente gruesas para absorber toda la radiación que incide en ellas proveniente de las capas adyacentes.

Estas capas serán más grandes a medida que consideramos mayor altura debido a la correspondiente disminución de la densidad atmosférica.

La capa 1 es la más externa, y como mencionamos antes, la emisión hacia el espacio debe estar dada por la temperatura efectiva. Escribiendo el balance de radiación para esta capa podemos escribir:

$$\sigma T_1^4 \uparrow + \sigma T_1^4 \downarrow = \sigma T_2^4 \uparrow$$

de donde:

$$T_2^4 = 2T_1^4 = 2T_{ef}^4$$

y donde las flechas indican la dirección ($\uparrow$ hacia arriba, $\downarrow$ hacia abajo).

Para la capa 2 podemos escribir:

$$\sigma T_2^4 \uparrow + \sigma T_2^4 \downarrow = \sigma T_1^4 \downarrow + \sigma T_3^4 \uparrow$$

entonces:

$$\sigma T_3^4 = 2\sigma T_2^4 - \sigma T_1^4$$

y

$$T_3^4 = 3T_1^4 = 3T_{ef}^4$$

y así sucesivamente.

Para la superficie podemos escribir:

$$\sigma T_4^4 \uparrow = \sigma T_{ef}^4 + \sigma T_6^4$$

donde T_5 es la temperatura de la superficie y $T_6^4 = 6T_{ef}^4$ entonces:

$$T_5^4 = (1 + \text{número de capas}) T_{ef}^4 \quad (2)$$

donde, en este caso número de capas es igual a 6.

Al número de capas lo podemos llamar el espesor óptico de la atmósfera. Así que para una atmósfera opaca T_5 es mayor que T_{ef} .

Para el caso de la Tierra tenemos los siguientes datos: $T_{ef} = 253^\circ\text{K}$ y $T_5 = 288^\circ\text{K}$.

$$\frac{T_5^4}{T_{ef}^4} = 1.7 = (1 + \text{espesor óptico})$$

de aquí vemos que de acuerdo al modelo descrito de equilibrio radiativo, la Tierra tendría un espesor óptico de .7. Para Venus con una temperatura superficial de 700°K y una temperatura efectiva de 244°K tenemos

$$\frac{T_5^4}{T_{ef}^4} = 68 = (1 + \text{espesor óptico})$$

de donde vemos que su espesor óptico es de 67; mu-

cho mayor que el de la Tierra y por lo tanto con un efecto invernadero mucho más pronunciado.

En el caso de la Tierra, en particular, estos resultados hay que tomarlos con mucha cautela; pues sabemos que la atmósfera baja, es decir la tropósfera, no está en equilibrio radiativo y que existen otros mecanismos de transporte de energía, como la convección. Sin embargo para los propósitos de este trabajo sí son relevantes pues muestran, aunque esquemáticamente, la manera en que los gases atmosféricos intervienen en el fenómeno del efecto invernadero.

Ya hemos mencionado que en la Tierra los gases que absorben la radiación infrarroja son el CO_2 , y el H_2O y el O_3 y son estos gases los que contribuyen al espesor óptico de la atmósfera, así que no es difícil imaginarse que un cambio en la concentración de uno de ellos, por ejemplo el CO_2 (o en los tres) que modifique el espesor óptico de la atmósfera pueda a su vez producir cambios en la temperatura de la superficie. Si la cantidad de bióxido de carbono aumenta, por ejemplo, al doble, la temperatura de la superficie también aumentará, magnificando el efecto invernadero.

Parecería posible calcular el aumento de la temperatura debido al incremento del CO_2 por medio de la fórmula (2), sin embargo, un aumento al doble de la concentración de CO_2 en la atmósfera no corresponde a un aumento igual de su espesor óptico y esto se debe, en parte, a que el CO_2 , como otros gases, absorben selectivamente, es decir, solamente absorben radiación de cierta longitud de onda. Esto causa que en el caso de la Tierra por ejemplo, haya radiación emitida por la superficie que escape directamente al espacio; y es que existe una "ventana" centrada aproximadamente en las 10 mm en la que la atmósfera no absorbe. Como se vé, éste es un caso no contemplado por nuestro simplificado modelo del efecto invernadero.

Los freones y el efecto invernadero

Volviendo a nuestro tema central, que es el de los clorofluorocarbones y sus efectos sobre el planeta, y teniendo en cuenta nuestra discusión del efecto invernadero, podemos ver que éstos pueden afectar las temperaturas en la superficie por dos mecanismos.

El primero, y ciertamente menos importante, consistiría en lo siguiente: En la primera parte de este trabajo hemos mencionado como los freones son capaces de destruir el ozono estratosférico (produciendo una serie de efectos nocivos principalmente sobre los seres vivos). Esta destrucción causaría

que una mayor cantidad de radiación solar llegara a la superficie (al encontrar menos obstáculos en la atmósfera) y al haber una mayor absorción en ella, la temperatura aumentaría intensificando el efecto invernadero. Se ha demostrado que este mecanismo, aunque posible, causaría efectos despreciables pues los incrementos en la radiación solar incidente en la superficie serían extremadamente pequeños.

El segundo mecanismo y, sin duda el más alarmante involucra a los freones mismos, pues éstos poseen fuertes espectros de absorción en el infrarrojo. La presencia de los clorofluorocarbones en la atmósfera representa un aumento del espesor óptico de la misma y por lo tanto una intensificación del efecto invernadero con el consiguiente aumento de la temperatura de superficie. Es este segundo mecanismo el que tiene, desde el punto de vista climático, preocupados a los científicos pues representa una grave amenaza para el planeta. El aumento de la temperatura de la superficie puede significar el aumento del deshielo en regiones polares con el consiguiente incremento en el nivel del mar y la posibilidad de inundaciones en islas y en las regiones continentales más bajas. También se pueden presentar intensificación de las áreas desérticas y desertificación de otras con posible disminución de áreas de cultivo, cambios en el régimen de vientos, en suma, un verdadero cataclismo climático de consecuencias desastrosas para los humanos.

Conclusiones

La presencia en la atmósfera de los clorofluorocarbones producidos por el hombre nos plantea una doble amenaza. Por un lado cuando éstos son transportados a la estratósfera son capaces de destruir la

capa de ozono haciéndonos a los seres vivos más vulnerables a los nocivos efectos de la radiación ultravioleta.

Por otro lado, los freones son capaces de absorber radiación de onda larga "cerrando la ventana" atmosférica, y aumentar el espesor óptico de la atmósfera intensificando el efecto invernadero y por ende, poniéndonos en peligro de una catástrofe climática. Aquí habría que anotar que el aumento del CO₂, en principio, también representa un riesgo climático.

Finalmente habría que aclarar que la visión planteada en este trabajo es una simplificación de problemas en sí muy complejos y que, aunque en esencia es correcta, deja de lado muchos factores importantes (por ejemplo retroalimentaciones, positivas o negativas). Estos temas representan áreas de intensa investigación y gran controversia en la comunidad científica y han despertado el interés general. Espero que este trabajo sirva para dar una visión más precisa a aquellos que hayan sentido inquietud por lo que ha sido publicado en medios más generales de información.

Bibliografía

- 1 Gay C. 1986. El Ozono y sus crisis. *Geos* 6 No. 4 34-38
- 2 Goody R. M. y J. C. G. Walker 1975. *Las Atmósferas* Fundamentos de las Ciencias de la Tierra Omega. Barcelona.
- 3 Hansen J., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind, G. Russell 1981. Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. *Science*. 213 Number 4571, 957-966.
- 4 Jones, P.d., T.M.L. Wigley and P. B. Wright, 1986. Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature* 322,430-434.
- 5 Wigley T.M. L. and M. E. Schlesinger, 1985. Analytical solution for the effect of increasing CO on global mean temperature. *Nature* 314, 649-654.

LA GEOLOGIA DEL SISTEMA SOLAR-I.

VOLCANISMO EN VENUS

Jaime Urrutia Fucugauchi y Luis A. Delgado Argote

Durante milenios el estudio de los planetas y satélites del sistema solar, en particular de sus características y evolución "geológica", constituyó un campo lejano a geólogos y geofísicos, quienes hubieron de conformarse con estudiar al planeta en que estamos confinados. Esta situación ha comenzado a cambiar con la exploración por naves y aplicación de sensores remotos. Además de los fascinantes e interesantes descubrimientos sobre los planetas y satélites del sistema la exploración planetaria ha permitido apreciar, con mayor detalle, el carácter único del extraordinario y maravilloso planeta en que vivimos, la Tierra.

Uno de los aspectos más interesantes de la geología planetaria es el relacionado con la actividad volcánica, los rasgos morfológico-tectónicos asociados con productos magmáticos y las relaciones con el estado energético del interior de planetas y satélites. El volcanismo en el sistema solar incluye rasgos tan impresionantes como el Olympus Mons, el gigantesco volcán de Marte (tres veces más alto que el Everest) o intrigantes como la actividad volcánica de Io, satélite de Júpiter, lo que revela una fuente energética inesperada en el sistema solar.

Venus

El planeta más cercano a la Tierra es Venus (se acerca hasta unos 40 millones de Km). El planeta ha sido nombrado como la Diosa del Amor y es conocido frecuentemente como la estrella del amanecer y del atardecer. Venus aparece muy brillante dada su cercanía y la cubierta de nubes que le permite reflejar alrededor del 98% de la luz solar. La cubierta de nubes, por otro lado, no permitió conocer detalles de su superficie, la cual permaneció envuelta en el misterio hasta que, a principios de los sesenta, se efectuaron estudios de radar.

La información obtenida de las primeras naves y quizá, en mayor parte, del destino de esas naves, indicó que la superficie venusina está sujeta a presiones y temperaturas muy altas. Tan altas que metales como el plomo están fundidos. El ambiente en la su-

perficie de Venus es muy lejano del paraíso descrito en ocasiones por escritores de ciencia-ficción y hace difícil el comparar los ambientes geológicos de Venus y la Tierra. La causa de estas temperaturas altas es, al parecer, el efecto de invernadero debido a la alta concentración de bióxido de carbono que atrapa al pequeño porcentaje de luz solar que atraviesa las nubes ($\sim 2\%$). Las nubes están formadas de ácido sulfúrico en vez de vapor de agua, están sujetas a tormentas y dan un ciclo de lluvia ácida que al parecer se evapora antes de alcanzar la superficie.

La definición de los rasgos topográficos de Venus se ha realizado por medio de varias naves, como los Venera (particularmente las misiones 8, 9, 10, 15 y 16) Y el Pioneer Venus y recientemente por medio de imágenes de radar obtenidas desde Arecibo, Puerto Rico.

La topografía es impresionante, con cadenas montañosas más altas que el Himalaya y enormes escudos (plateaus) del tamaño de los continentes terrestres, los cuales constituyen aproximadamente el 8% de la superficie venusina. La topografía terrestre sería similar a la de Venus si de alguna forma se evaporaran los océanos. Se sabe que el 65% del planeta está formado por terrenos casi planos con diferencias de elevación del orden de 1000 m y cuya diferencia de elevación con respecto a las tierras altas puede ser hasta de 11 Km.

¿Cómo y por qué ocurrió este cambio? Una posible explicación está relacionada a la actividad volcánica en Venus, la cual añadió cantidades considerables de bióxido de carbono a la atmósfera. El mapeo con radar ha permitido reconocer numerosas estructuras circulares de hasta varios cientos de kilómetros, las cuales se han interpretado como calderas y volcanes escudo tal como Cleopatra Patera situada en la planicie más alta de Venus (Montes Maxwell, en el norte del planeta). En la región ecuatorial, se reconocen cráteres de entre 60 y 90 Km de diámetro asociados con rasgos mayores del orden de 250 y 300 Km y 1 Km de elevación que pueden compararse con volcanes escudo (Hawái tiene una

base aproximada a 190 Km de diámetro). Además se tienen estructuras volcánicas, como la situada en el denominado Gran Rift de Venus y que se parece al volcán Kilimanjaro en el rift de Africa. A una de estas estructuras se le reconocen, incluso, lengüetas angostas que se extienden más de 500 Km y que deben corresponder a derrames muy fluidos, como los basálticos en la Tierra. Las observaciones de la nave Pioneer sobre la presencia de SO₂ en la atmósfera venusina y sus variaciones temporales han sido interpretadas en términos de la actividad volcánica. En apoyo a esta actividad, los vehículos Venera 8, 9 y 10 pudieron analizar por espectrometría de rayos gama las abundancias de U, Th y K, que por comparación con materiales terrestres, indican similitud con basaltos y rocas intermedias entre basaltos y granitos. Además, la densidad del material superficial en el sitio del Venera 10 es de $2.8 \pm 0.12/\text{cm}^3$, similar al de rocas silicatadas ígneas.

Sin embargo aún se requiere una mayor resolución en las observaciones. La ocurrencia de actividad volcánica en la escala y magnitud sugerida por los grandes volcanes y zonas de rift implicaría un cierto proceso de disipación de energía interna (quizá del tipo asociado con tectónica de placas). Ello contrasta con las interpretaciones iniciales que sugerían que la

superficie era geológicamente antigua y caracterizada por grandes cráteres y planicies. El tamaño de los volcanes sugiere que la corteza venusina es más gruesa que la terrestre. La composición y características del manto y núcleo son difíciles de estimar. La densidad media del planeta es un poco menor que la terrestre y quizá parte del Fe se concentra en silicatos en el manto. No se ha detectado un campo magnético interno y el núcleo al parecer no presenta fenómenos de convección capaces de producir efectos de dínamo.

Con el avance de la exploración de la superficie venusina hemos pasado de un panorama geológicamente antiguo formado por superficies suaves con remanentes de grandes cráteres de impacto y sin una actividad geológica significativa, a uno en donde los rasgos geológicos son variados y de gran magnitud (que incluyen a uno de los volcanes más grandes del sistema solar) y en donde la actividad geológica es igualmente diversa e importante. Los efectos interpretados de la actividad volcánica sobre la atmósfera e hidrósfera venusinas quizá nos permitan entender el delicado balance de los mecanismos reguladores de los climas en la Tierra y otros cuerpos del sistema solar. Ello debe permitirnos apreciar las características de nuestra Tierra en un contexto planetario.

HUMOR GEOFISICO

Yamas

Predicción de Temblores...

Comprobado..., los miembros del Gabinete Económico Nacional mostraron un claro "comportamiento anormal" previo a la ocurrencia del trágico terremoto de septiembre de 1985.

Dispersión de datos...

La manera más conveniente de disminuir la dispersión en las observaciones de un experimento será siempre, ...aumentar la escala de las gráficas.

Para Ripley...

Para el año 2000 la famosa churrería "El Moro" de la Ciudad de México habrá vendido cerca de 200 millones de churros, asumiendo que cada uno mide 20 cm en promedio, hace un total de 40,000 km. ¿Será esto una esperanza de que algún día podrá dársele la vuelta al mundo de puro churro?

EL DIRECTOR INVISIBLE

Silvia Bravo

Las grandes compañías suelen tener características muy peculiares. Entre ellas, una de las más curiosas es la de depender de un "jefe invisible". El Sr. X. tiene su oficina en algún lugar poco accesible del edificio de la empresa (comúnmente en el piso superior) y los que no han tenido la suerte de tropezarse con EL en el pasillo pueden incluso ignorar cuál es su aspecto físico. Claro que eso no importa, el JEFE es el cerebro de la compañía y el contacto directo con EL sólo tiene sentido en la medida en que EL lo considere necesario para la buena marcha del negocio.

Pocas personas tienen acceso cotidiano a EL y éstas son las que forman su equipo de confianza: gente leal y dócil y, si es posible, eficiente. Muchas veces este jefe invisible deja de ser designado como el Sr. Fulano y pierde su apellido para ser llamado entre sus empleados simplemente "EL JEFE".

El JEFE sería muy feliz si pudiera tomar las decisiones EL solo, o si acaso consultando la opinión de algunas de sus gentes de confianza, así que cuando llega a ocurrir que por desgracia la estructura de la empresa le impone un consejo consultivo, procurará convocarlo con la menor frecuencia posible y buscará la manera de que este consejo sea simplemente el aval de sus decisiones, ya que el JEFE es el único que de veras sabe lo que le conviene a la compañía.

El JEFE invisible tiene a su vez subalternos que son invisibles para EL. Las personas de su equipo de confianza son las que ven y oyen por EL y le informan de lo que está pasando en su empresa, claro que de acuerdo, inevitablemente, a su personal interpretación. De esta manera, el JEFE no conoce a su personal y si eventualmente lo premia o lo castiga lo hará guiado por la opinión de su gente de confianza más que por la suya propia, la cual obviamente, en este estado de incomunicación no puede existir. Pero esto tampoco importa; para el JEFE lo importante son las ganancias de la empresa y el desarrollo de las líneas que, en su opinión, resultan más productivas. Sólo en caso de que estos altos fines se vean amenazados, el JEFE suele, eventualmente, decidirse audazmente a hacer algún cambio en su política, lo cual en general significa cambiar a alguna de sus gentes de confianza.

En algunas ocasiones especiales, el JEFE se deja ver por sus empleados en reuniones que EL mismo convoca y en las cuales aparece ante sus subalternos rodeado de su gente de confianza, para demostrar que es hombre de equipo. Generalmente estas reuniones son un monólogo del JEFE quien de esta manera cumple su obligación de llevar la luz a su ignorante o tal vez confundida grey. Sin embargo, en algunas ocasiones se pueden escuchar también preguntas o comentarios de sus subalternos los cuales EL autoriza para demostrar su accesibilidad e interés en el personal que con EL labora.

También es posible, en principio, pedir una cita para ver al JEFE, aunque, claro, no necesariamente esta cita va a ser concedida. Siempre que pueda, el JEFE remitirá al inquieto solicitante con alguna de sus gentes de confianza o le pedirá que presente su asunto por escrito, para después canalizar la respuesta, si la hay, a través de alguno de sus colaboradores. Eventualmente, por imagen o porque el solicitante puede resultarle molesto si lo rechaza, el JEFE accede a recibirlo, pero aún entonces es frecuente que la cita sea pospuesta y eventualmente cancelada, o se la dé para "ahorita mismo" cuando el infeliz empleado acaba de salir a almorzar. En el caso en que la entrevista con el JEFE llegue a efectuarse, ésta solo dura unos cuantos minutos (el JEFE es un hombre muy ocupado) y difícilmente el afortunado puede presentar su caso ya que generalmente es el JEFE el que lleva la voz cantante. Sin embargo, la brevedad de estos encuentros es, en realidad, una ventaja ya que de todas maneras estas pláticas con el JEFE no sirven para nada. Además, es característico que el JEFE nunca reciba a alguien estando EL solo. Siempre llamará a alguna o algunas de sus gentes de confianza para sentirse acompañado y en caso necesario tener un testigo a su favor.

Otra característica invariable es que el JEFE tiene mucho, pero mucho más dinero que cualquiera de sus empleados, pese a lo cual utiliza los fondos de la compañía para muchos de sus gastos personales y utiliza también a los empleados de ésta para trabajos de su interés particular. Esto obedece a la profunda

convicción que tiene el JEFE de que todos los recursos de la empresa, materiales y humanos, le pertenecen. Sin embargo, el JEFE sí suele ser bastante avaro con los gastos de operación de su compañía. Para el JEFE las únicas inversiones en la empresa misma que están justificadas son aquellas que van a permitir obtener mayores ganancias.

Y es que el JEFE es el JEFE porque no es una persona igual a las demás, es superior, MUY superior, y a fin de cuentas todos sus subalternos deberían de estar orgullosos de tenerlo como líder y deberían estarle agradecidos por todo lo bueno que EL ha hecho por ellos.

Pero dejemos ya el tan ajeno ambiente de las empresas y hablemos de lo que realmente nos atañe a nosotros: los INSTITUTOS DE INVESTIGACION CIENTIFICA DE LA UNIVERSIDAD.

Un INSTITUTO de investigación científica es algo muy diferente a una empresa, casi podríamos decir que es su antítesis. Su finalidad no es hacer dinero, por el contrario, es algo muy semejante a un saco sin fondo. La satisfacción del deber cumplido no estriba en la elevación de las finanzas, sino en la producción de material científico de calidad, y la apreciación al dinero radica simplemente en la posibilidad que éste brinde para el mejor cumplimiento de la tarea científica. Todos los INSTITUTOS de investigación trabajan con pérdidas (el dinero como tal no se recupera) pero esto no se considera una mala inversión, al contrario; existe la convicción absoluta de que todos los recursos empleados en el desarrollo del conocimiento están indiscutiblemente bien empleados.

El INSTITUTO de investigación científica también tiene una cabeza, pero no es un JEFE, sino un director, que es muy distinto. Este director no les da órdenes a los investigadores que laboran en el INSTITUTO, no es su jefe, sino que todos ellos disponen de una libertad de investigación otorgada por la legislación universitaria, la cual muestra un claro entendimiento de la importancia que tiene la libertad en la labor creativa.

El director del INSTITUTO no es más que uno de nosotros que durante un corto periodo tiene a su cargo un puesto administrativo, y que volverá a ser uno de nosotros al terminar ese periodo. Es también un investigador que entiende lo que es la tarea de investigación y que se siente comprometido a aprovechar las prerrogativas (o más bien las obligaciones) de su cargo en beneficio de las investigaciones que se realizan en el INSTITUTO, tanto por él mismo como por sus demás colegas. Es también un científico como sus

compañeros y le entusiasma la idea de poder contribuir con su administración a fortalecer, consolidar y ampliar el área de la ciencia que se desarrolla en su dependencia y en la que él participa.

No es un "director invisible". Suele tener abierta su oficina y circular por lo pasillos con sus colegas y trasladarse, por algunos ratos, a su cubículo a trabajar como cualquier otro y asiste a las reuniones colectivas como todos los demás. El director del INSTITUTO sabe que los secretarios de su dependencia (académico, técnico y administrativo) no son SUS secretarios, ni SU gente de confianza, sino que son también personal de apoyo a las labores de investigación, que son las labores medulares del INSTITUTO, lo que le da existencia y razón de ser y de donde surgen los productos que van a justificar el presupuesto invertido. Los considera como personal paralelo, con responsabilidades, todos, ante el personal de investigación.

El director de INSTITUTO no es un ser nebuloso y distante, le gusta que se le trate con camaradería (igual que antes) y le complace que todos le hablen de tú. Trata al personal de apoyo de la dirección con cordialidad y respeto, consciente de que ellos tienen más experiencia en la tarea cotidiana y su permanencia en esas labores será mayor que la de él.

Al director de INSTITUTO no le gusta tomar las decisiones él solo, prefiere compartir las responsabilidades con sus colegas, pues reconoce que las opiniones de ellos están tan calificadas como la suya propia. Cree en que la unión hace la fuerza, en que dos cabezas piensan más que una y en que la responsabilidad del desarrollo sano y vigoroso de la dependencia debe ser de todos.

Un director de INSTITUTO tampoco es especialmente rico. Su sobresueldo no es realmente una millonada y es incapaz de tomarse libertades con el presupuesto de la UNAM o de abusar de su autoridad con los empleados. Se preocupa por conseguir recursos y mejores condiciones de trabajo para sus compañeros y se preocupa por canalizar la mayor parte de los bienes de la dependencia hacia el apoyo de las labores de investigación.

El director de INSTITUTO, preocupado porque ahora forma parte importante de un consejo que decide sobre las promociones, definitividades, despidos, etc. de los miembros académicos de su dependencia, se esfuerza más que nunca antes por conocerlos y por conocer su trabajo. Asiste a sus seminarios y conferencias, lee sus informes y artículos y comenta con ellos sobre sus problemas presentes y planes futuros. No se deja influir por chismes, pre-

fiere las comunicaciones directas y no permite que las apreciaciones personales cuenten en las calificaciones del trabajo académico.

En fin, no sé cuántos directores de INSTITUTO ni cuántos JEFES o directores invisibles tenga ac-

tualmente la UNAM, pero ojalá que como resultado de todo este proceso de transformación de nuestra Universidad, en el futuro cercano todos los INSTITUTOS logren tener un director y los JEFES se conviertan en una especie extinta.

NOVEDADES

Ya está a la venta el libro escrito por Rosa Ma. Prol-Ledesma y editado por el Fondo de Cultura Económica (No. 58 de la Serie *La Ciencia desde México*), bajo el nombre EL CALOR DE LA TIERRA. Adquiéralo.

A los interesados en el área de Geotermia les comunicamos la existencia de los siguientes artículos:

Prol-Ledesma, R. M., V. M. Sugrobov, E. L. Flores, G. Juárez, Ya.B. Smirnov, A. P., Gorshkov, V. G. Bondarenko, V.A.Rashidov, L. N. Nedopekin, V. A. Gavrilov. 1988. *Heat Flow variations along the Middle America Trench*. Marine Geophys. Rs. (en prensa)

Konov, V. I., B.G. Polak, E. M. Prasolov, R. M. Prol, and L. I. Surovtseva. 1988. *Hidrothermal gases in Mexico*. Dokladi Akademii Nauk SSSR. (en prensa).

Prol-Ledesma, R. M., 1988. Heat Flow in Mexico. In: Rybach, L. and Cermak, V. (Eds) *Terrestrial Heat Flow and the Lithosphere Structure*. Springer Verlag. (en prensa)

Prol-Ledesma, R. M. and A. Ortega, 1988. *Evidencia geoquímica de termalismo en el Valle de San Juan B. Londo, B. C. S., México*. Geotermia. (en prensa).

Prol-Ledesma, R. M. and Browne, P.R.L., 1988. *Fluid inclusion analysis in core samples from the Los Humeros Geothermal Field, Mexico*. Geoth. Resour. Council Trans. (en prensa)

Prol-Ledesma, R. M. and Ortega, A., 1988. *Geochemical evidence of a thermal component in the groundwater of the San Juan Londo Valley, Baja California Sur, Mexico*. Geoth. Resour. Council Trans. (en prensa)

Prol-Ledesma, R. M. and Browne, P. R. L., 1988. *Hidrothermal alteration and fluid inclusion analysis in the Los Humeros Geothermal Field, Mexico*. Geothermics. (sometido a arbitraje)

Prol-Ledesma, R. M. 1988. *Chemical geothermometers applied to the study of thermalized aquifers in Guaymas, Sonora, Mexico*. Jour Volcanology and Geothermal Research. (sometido a arbitraje).



1988 SEG Events

SEG/AGU Chapman Conference on Seismic Anisotropy in the Earth's Crust, Berkeley (Dec. 87, p. 44)*

May 31-June 4

SEG/EAEG Research Workshop on Reservoir Geophysics, Loew's Anatole Hotel, Dallas (March 88, p. 46)*

August 1-3

SEG/China Petroleum Society Production Geophysics Meeting, Daqing Oil Field, PRC (March 88, p. 46)*

September 6-10

SEG, 58th Annual International Meeting, Anaheim (Dec. 87, p. 44)*

Oct. 30-Nov. 3

1988 Other Events

SPWLA Annual Meeting, San Antonio

June 5-9

World Gas Conference and Exhibition, Washington, D.C.

June 5-9

EAEG, 50th Annual Meeting and Exhibition, The Hague

(Dec. 87, p. 45)*

June 6-10

2nd International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, University of Minnesota, Minneapolis (July 87, p. 52)*

June 8-10

29th U.S. Symposium on Rock Mechanics, University of Minnesota, Minneapolis (July 87, p. 50)*

June 13-16

International Conference on Permafrost, Trondheim, Norway

August 2-5

SEPM, 5th Annual Midyear Meeting, Columbus, Ohio

August 21-24

4th Joint Oceanographic Assemblies, Mexico City (June 87, p. 46)*

August 23-31

Remote Sensing and Digital Image Analysis, 27th International Workshop, EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota

Sept. 6-Oct. 7

4th Biennial Venezuelan Geophysical Congress, Hotel Tamanaco, Caracas (Dec. 87, p. 45)*

September 11-15

IGARSS '88, 8th Conference of Remote Sensing Society, University of Edinburgh (Feb. 88, p. 48)*

September 13-16

AAPG / IFP / SEPM Mediterranean Basins Conference and Exhibition, Nice, France

September 25-28

Geographic Information Systems (GIS) symposium, Sheraton Tech Center, Denver (June 88, p. 47)*

September 26-30

SPE 63rd Annual Technical Conference and Exhibition, Houston

October 2-5

IPAA Annual Meeting, New Orleans

October 16-18

Geofyzika Brno International Geophysical Symposium, Prague, Czechoslovakia (May 88, p. 17)*

October 24-27

GSA, 100th Annual Meeting, Denver

Oct. 31 - Nov. 3

Oceans '88, Marine Technology Society and IEEE's Oceanic Engineering Society Conference and Exhibition, Convention Center, Baltimore

Oct. 31-Nov. 2

*Details in the issue of LEADING EDGE indicated.

SPE China '88, International Petroleum Equipment and Technology Exhibition, Tianjin, PRC (Dec. 87, p. 52)*

Oct. 31-Nov. 5

API Annual Meeting, New York

November 13-15

ASA Fall Meeting, Honolulu

November 14-18

AGU Fall Meeting, San Francisco

December 5-9

National Symposium on Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation, Nugget Hotel, Reno (June 88, p. 47)*

December 5-9

1989 SEG Events

SEG, 5th Annual Gulf Coast Meeting, Houston

March 14-16

SEG, 42nd Annual Midwestern Exploration Meeting, Denver

April 16-18

Offshore Technology Conference, Astrodomain, Houston

(May 88, p. 17)*

May 1-4

SEG/AAPG/SEPM Pacific Coast Sections, 64th Annual Meeting, Palm Springs; General Chairman Mike Mitchell, (213) 696-3802

May 10-13

SEG/Union of Chinese Exploration Geophysics, Beijing '89 International Symposium on Exploration Geophysics, Beijing, PRC (May 88, p. 17)*

May 23-27

SEG, 59th Annual International Meeting, Dallas

Oct. 29-Nov. 2

1989 Other Events

11th Oil Spill Conference on Prevention, Behavior, Control and Cleanup of Oil Spills, San Antonio (June 88, p. 48)*

February 13-16

SME of AIME Annual Meeting, Las Vegas

February 27-March 2

European Geophysical Society General Assembly, Barcelona, Spain

March 13-17

AAPG/SEPM-EMD-DPA Annual Meeting, San Antonio

April 23-26

AGU Spring Meeting, Baltimore

May 8-12

ASA Spring Meeting, Syracuse

May 22-26

EAEG, 51st Annual Meeting and Exhibition, West Berlin

May 30-June 2

SPWLA Annual Meeting, Denver

June 11-15

30th U.S. Symposium on Rock Mechanics, University of West Virginia

June 19-22

28th International Geological Congress, Washington, D.C.

July 9-19

SPE Annual Meeting, San Antonio

October 8-11

IPAA Annual Meeting, San Antonio

October 15-17

GSA Annual Meeting, St. Louis

November 6-9

API Annual Meeting, San Francisco

November 12-14

AGU Fall Meeting, San Francisco

December 4-8

EL SISMO DE 1985: UNA AGENDA PARA LA SISMOLOGIA LATINOAMERICANA

Cinna Lomnitz

El sismo de México acaecido el 19 de Septiembre de 1985 costó cerca de 20,000 vidas y asestó un duro golpe al país. Más de 350 edificios, diseñados por ingenieros de acuerdo a los más avanzados conocimientos disponibles en la profesión, se derrumbaron en el centro mismo de la ciudad. Por este motivo, el sismo de 1985 no representó tan sólo la catástrofe natural más grave que haya sufrido México en su larga historia; fue también un descalabro sin precedentes para la sismología y la ingeniería sísmica a nivel internacional.

Hubo, desde luego, materiales de construcción y detalles constructivos de mala calidad. Sin embargo, los edificios situados fuera de la zona arcillosa, presumiblemente, padecían de los mismos defectos y no se cayeron. Además, las normas sísmicas vigentes eran mucho más estrictas en la zona arcillosa que en el resto de la ciudad. Las características de las aceleraciones registradas en el sismo de 1985 fueron las previstas en las normas. Los sismólogos habían previsto correctamente la localización de la región epicentral y la magnitud del terremoto. No hubo, pues, errores profesionales en cuanto al enfoque preventivo de este sismo.

En rigor, el comportamiento de los edificios tampoco decepcionó. Sólo dos edificios se voltearon. En la zona arcillosa las ondas sísmicas se presentaron con períodos de dos a tres segundos, exactamente como preveían las normas: sin embargo, el tren de ondas fue mucho más monocromático y mucho más largo que lo previsto. La aceleración basal no superó los 240 gales previstos por las normas; en cambio, los efectos de rotación dinámica de la base de los edificios excedieron cuanto podía haberse anticipado.

Planteadas así las cosas, cabe preguntarse por qué no se admite la posibilidad de que en el sismo de 1985 hubo un efecto nuevo o un proceso causal no previamente tomado en cuenta. Sabemos que la arcilla del Valle de México contiene, en volumen, de 9 a 13 veces más agua que materia sólida. Cuando se deforma más allá de cierto umbral —que fue ampliamente excedido durante el terremoto— pierde



su rigidez y se deforma cada vez con mayor facilidad. En otras palabras, la relación esfuerzo-deformación no es lineal. No puede extrapolarse el comportamiento de las arcillas en base a los efectos observados en sismos débiles.

Oportunidades de la geofísica

Todo lo anterior es materia conocida. Haciendo un cálculo elemental, podemos verificar que las ondas de Rayleigh generadas durante un sismo en una capa sedimentaria tenderán a acortar su longitud de onda y se asemejarán, cada vez más, a olas hidrodinámicas. Este acortamiento de la longitud de onda no está previsto en las normas sísmicas; su efecto consistirá en incrementar dramáticamente la rotación y deformación de la base del edificio.

Ahora bien, ondas superficiales de corta longitud se han observado visualmente en muchos grandes terremotos de América Latina. Se trata de ondas mucho más lentas y mucho más cortas que un onda elástica lineal.

A través de numerosas conversaciones y consultas personales, he descubierto que existe un consenso tácito entre los principales ingenieros sísmicos de

México, Estados Unidos y Japón, en el sentido de que los daños espectaculares registrados sobre terreno blando no se deben tanto a las aceleraciones basales (que en el caso de México no rebasaron los 200 gales) como a los esfuerzos adicionales inducidos por la rotación y deformación de la base.

La destrucción de la ciudad de Huaraz, Perú, a 200 km del epicentro del sismo de 1970; los daños espectaculares que hubo en la zona blanda de Caracas en el sismo de 1967; los daños en zonas blandas por el sismo chileno de 1985, y por el de 1960; los efectos destructores de los grandes sismos ecuatorianos (como el de 1987), correlacionados claramente con cuencas sedimentarias; y tantos otros casos que podrían citarse con igual validez: ¿no constituirán otros tantos ejemplos de la acción de las ondas superficiales no lineales en sedimentos?

La investigación de estas ondas requiere un esfuerzo coordinado entre ingenieros y sismólogos que conviene extender más allá de México por muchas razones. Por una parte, somos muy pocos y nuestros recursos escasean. La tesis conservadora, según la cual no hubo factores imprevistos en la catástrofe de 1985, es aún dominante y es la que obtiene apoyo para la investigación tanto de fuentes mexicanas como internacionales. Conviene, por lo tanto, apartarnos del caso de México cuyas implicaciones son aún muy profundas y sensibles, por razones que todos debemos comprender y respetar.

Por otra parte, la geofísica latinoamericana se encuentra en una etapa de transición. La Generación del 58 (o sea, el grupo de líderes que surgió a raíz del Año Geofísico Internacional y de las expediciones de M. A. Tuve en Sudamérica) está abandonando las riendas y no hay sucesores a la vista. La participación de los latinoamericanos en los congresos internacionales ha decaído, y los recursos canalizados a la región por los organismos internacionales son ya francamente insignificantes.

Algunos pretenden que necesitamos a otro Mr. Tuve, para unirnos desde afuera y sacudir nuestra proverbial indolencia. Pero ya pasó el tiempo de depender de la benevolencia de protectores foráneos. Puedo asegurar a quienes continúan esperando este tipo de Mesías que los idealistas y visionarios de la geofísica ya se acabaron, si es que existieron alguna vez. Tuve fue un idealista, sin duda; pero si nos benefició fue por razones científicas y no por amor a América Latina. Lo mismo puede decirse de otros empresarios científicos extranjeros que se han interesado por nuestra región de vez en cuando.

En 1974, con base en consideraciones de esta

índole, hicimos el intento de crear una asociación a nivel latinoamericano. El momento parecía propicio, ya que el número de geofísicos había aumentado considerablemente en nuestra región. Sin embargo, aún faltaba madurez. Fracasamos esa vez; la asociación llegó a constituirse pero abortó debido a mezquinas disensiones internas. Quince años más tarde puede haber llegado otro momento favorable, ya que hoy existen uniones geofísicas nacionales, tales como la UGM, en varios países, y podremos apoyarnos en ellas para crear una organización latinoamericana sólida y duradera. Hemos sondeado a los colegas argentinos y brasileños, quienes poseen las asociaciones más activas y poderosas; y su respuesta inicial ha sido alentadora.

El problema de las ondas no lineales en los grandes sismos es típico, pues concierne a la mayoría de nuestros países en forma directa y prioritaria. Es un proyecto que vale la pena emprender en común, a escala regional. Interesa, por diferentes razones, también a los geofísicos de exploración. En efecto, el problema del *ground roll* —o sea de las ondas superficiales generadas por explosiones— subsiste como uno de los problemas no resueltos de la exploración petrolera: aún no se sabe cómo se genera el *ground roll*.

Se objetará que no tenemos pruebas de que ocurrieron ondas superficiales de corta longitud durante el sismo de 1985, ni en otros terremotos. En efecto, si tuviéramos tales pruebas, no sería necesaria la investigación. Pero hasta la teoría lineal predice un acortamiento de la longitud de onda, cuando se reduce la rigidez. Por lo tanto, nuestra agenda de investigación debe consultar, en forma prioritaria, la eventual realización de pruebas en arcillas y otros materiales sedimentarios utilizando vibraciones fuertes. Estos experimentos deben realizarse con sismógrafos espaciados a menos de 10 metros, para detectar ondas no lineales de corta longitud.

Asimismo, debe darse prioridad a investigaciones sobre medios efectivos para proteger a la población civil. No podemos predecir terremotos; pero sí cabe predecir que catástrofes como la de 1985 se repetirán tanto en México como en otros países. Todos los sistemas protectores de los edificios contra rotaciones de la base son prioritarios y deben desarrollarse urgentemente. Un ejemplo son los amortiguadores sintonizados, muy apropiados para el caso de México. La idea no es nueva; data por lo menos de ochenta años atrás. Sin embargo, aún no se ha aplicado en México, ni tampoco en otros países de América Latina. Nuestro compromiso está en razón de las vidas que podamos salvar.

PRIMERA ETAPA DE INSTALACION DE LA RED DE MONITOREO SISMICO Y GEODESICO DEL VOLCAN DE COLIMA

Servando de la Cruz-Reyna, Guillermo Castellanos, Zenón Jiménez Jiménez, Gabriel Reyes, Manuel Mena Jara, Gilberto Ornelas, Juan Manuel Espíndola Castro, J. C. Pérez, Alejandro F. Nava Pichardo, A. Ramírez, Esteban Ramos Jiménez, J. Herrera, Carlos Cañon Amaro, H. Tamez, Izumi Yokoyama, Bertha Márquez y Nuria Segovia

Resumen

Se describen los trabajos de campo correspondientes a la primera de tres etapas de instalación del sistema de monitoreo y vigilancia del Volcán de Colima; Esta etapa se llevó a cabo del 22 al 27 de febrero de 1988 y consistió en la localización de los sitios de las estaciones sismológicas y geodésicas.

Introducción y antecedentes

El Volcán de Colima es el más activo del país. Tan sólo, en tiempos históricos, desde 1560 hasta la fecha han ocurrido 29 eventos eruptivos importantes, de los cuales seis pueden clasificarse como erupciones explosivas de magnitud considerable (índice de explosividad volcánica = 4). Los depósitos geológicos de erupciones pre-históricas sugieren la ocurrencia de actividad similar en el pasado y por lo menos un evento paroxístico que algunos autores sitúan hace 4500 años (Luhr and Carmichael, 1980, 1981, 1982 y 1988) y otros hace 10000 años (Robin *et al.*, 1987). Este evento se manifestó como una gran erupción lateral, del tipo Monte Santa Helena, la cuál produjo una avalancha con un volumen estimado entre 10 y 20 kilómetros cúbicos que cubrió una extensión de 1500 kilómetros cuadrados al sur del volcán. Las erupciones históricas han sido menos destructivas, aunque por lo menos en una, 1818, se han producido víctimas, y en otras los daños a la producción agrícola y ganadera han sido importantes (1585, 1606, 1622, 1818, 1890 y 1913).

El análisis de la actividad pasada muestra que no existen patrones regulares en la ocurrencia de erupciones que permitan la predicción en base únicamente a la historia. Los datos existentes permiten, tan sólo, determinar parámetros que describen la distribución estadística de las duraciones de los in-

tervalos entre erupciones, y, si bien es posible calcular probabilidades a partir de ellos y construir modelos de patrones de actividad, de ninguna manera es posible predecir, con certeza, la ocurrencia de eventos individuales a partir de este tipo de información.

Afortunadamente, la tecnología actual ha permitido desarrollar instrumentos de detección capaces de registrar una serie de fenómenos, generalmente imperceptibles por otros medios, que normalmente preceden a una erupción. Estas manifestaciones son producidas por la acumulación de material magmático rico en volátiles bajo el volcán y son reconocibles si se cuenta con la instrumentación adecuada.

Los fenómenos detectables que comúnmente preceden a una erupción son:

- a) Diferentes tipos de actividad microsísmica bajo o cerca del volcán.
- b) Deformaciones del edificio volcánico y sus alrededores.
- c) Anomalías emanométricas.
- d) Anomalías geoquímicas en fumarolas o en manantiales asociados al volcán.

Cuando se cuenta con el equipo adecuado es posible detectar estas manifestaciones con la anticipación suficiente para poder aplicar las medidas necesarias de protección a la población y a los factores de producción.

El Gobierno del Estado de Colima a través de su Sistema de Protección Civil y la Universidad de Colima han iniciado un programa de trabajo para que, en colaboración con la UNAM y otros organismos se instale en el Volcán de Colima un dispositivo de monitoreo y vigilancia que permita detectar con anticipación suficiente las manifestaciones que preceden a una erupción y así dotar a sus autoridades de un mecanismo de toma de decisiones que permita mitigar al

máximo los efectos de una posible actividad volcánica. Este dispositivo tendrá también la capacidad de registrar la actividad sísmica regional de origen tectónico, por lo que aportará asimismo una valiosa información para la evaluación del riesgo sísmico.

Descripción del programa

El programa de observación y monitoreo del Volcán de Colima y de la sismicidad tectónica regional contempla la instalación de ocho estaciones telemétricas que detectarán y transmitirán información sísmica e inclinométrica a una central de recepción y análisis situada en el Centro de Ciencias Básicas de la Universidad de Colima. Contempla también el establecimiento de una red geodésica que permita cuantificar las deformaciones detectadas por las componentes inclinométricas de la red telemétrica, y la implantación de detectores de radón para el control emanométrico en suelo.

El desarrollo del programa de instalación se planea en tres fases:

a) Localización de los sitios definitivos de las estaciones telemétricas y de la red geodésica.

b) Construcción de las casetas que albergarán el equipo telemétrico y de los monumentos de la red geodésica.

c) Instalación de detectores sísmicos e inclinométricos, unidades de transmisión en las estaciones remotas y equipo de recepción, registro y proceso en la unidad central.

El presente informe describe las actividades que el Grupo de Vulcanología del Instituto de Geofísica de la UNAM, en colaboración con la Universidad de Colima y las instituciones participantes del Sistema Estatal de Protección Civil del Estado de Colima y la Universidad de Guadalajara, realizaron del 22 al 27 de febrero de 1988 para implementar la primera fase del programa de instalación del Sistema de Monitoreo y Vigilancia del Volcán de Colima: Localización de los sitios de las estaciones telemétricas y de la red geodésica.

Características de los sitios

Los sitios donde se instalarán las estaciones telemétricas y geodésicas deben satisfacer una serie de requisitos técnicos para el óptimo desempeño de sus funciones. Las estaciones sísmicas deben estar localizadas en sitios que permitan calcular, con la menor ambigüedad posible, las posiciones de los hipocentros; deben asimismo situarse en lugares donde el nivel de ruido sísmico sea lo suficientemente bajo para permitir que los detectores se puedan ajustar a

una alta sensibilidad, y su distribución espacial debe ser tal que permita un monitoreo detallado de cualquier tipo de actividad sísmica que pudiera ocurrir en el volcán y al mismo tiempo registrar la actividad tectónica regional, requiriendo, en todos los casos, la existencia de línea de vista entre el sitio elegido y la unidad central que permita la transmisión por radio de la información. Asimismo, las estaciones sísmicas telemétricas localizadas en o alrededor del edificio volcánico, también registrarán datos de deformación por medio de los inclinómetros electrónicos, por lo que deberán situarse en posiciones en las que se esperen cambios significativos de nivel, eventualmente debidos al incremento de presión en la cámara magmática del volcán. Las restantes estaciones geodésicas han de situarse en posiciones que permitan determinar la geometría de las posibles deformaciones de la estructura volcánica en términos de desplazamientos absolutos horizontales, verticales y basculamientos, para de allí poder modelar la fuente de presión.

Función de los

equipos y técnicas de medida

Los equipos de monitoreo sísmico tendrán las siguientes funciones:

a) Discriminar entre sismos tectonovolcánicos que ocurran en la zona de influencia del volcán y sismos tectónicos en áreas vecinas.

b) Discriminar entre sismos tectonovolcánicos y sismos netamente volcánicos (i.e. tipo B).

c) Capacidad de determinar, dado el caso, posibles patrones de sismicidad en el volcán, tales como migración de hipocentros, concentración de focos en regiones definidas, existencia de familias de sismos en términos de características espectrales y otros.

d) Capacidad de detección y reconocimiento de tremores armónicos.

Estas funciones se logran con unidades telemétricas consistentes de sismómetro de período corto, amplificador y filtro, modulador de señal y transmisor de UHF o VHF en frecuencia modulada y una unidad central consistente en: receptores, demoduladores, demultiplexor, control de tiempo, registradores y computadora para análisis de señales.

La red geodésica basa su diseño en los resultados de investigación vulcanológica de las últimas cuatro décadas, los cuales han demostrado que existe una correlación directa entre las deformaciones y la próxima actividad eruptiva. La presente red se ha diseñado para mantener un monitoreo geodésico a

través de control horizontal, vertical, de basculamiento y de redistribución en las densidades.

Control horizontal: En este rubro el programa contempla una red de triangulación que permita observar los desplazamientos horizontales desde bases "cortas" (distancias menores de 2 km) y "largas" (distancias mayores de 2 km), con observaciones periódicas de distancias y ángulos.

Control vertical: En este aspecto se mantendrá una línea de nivelación con bancos cada 250m situados en la base del cráter de caldera denominado "El Playón". Esta línea se extiende alrededor del flanco norte y oeste del volcán y será construida en base a monumentos de concreto de 40 x 40 cm, con un cimiento de un metro de profundidad. Esta nivelación debe ser necesariamente de primer orden y se repetirá periódicamente.

El control de basculamiento se efectúa por medio de inclinómetros "secos" que, en contraste con los electrónicos, son capaces de detectar cambios en la horizontalidad sobre áreas grandes. Esto se consigue por medio de nivelación de precisión entre monumentos situados en los vértices de triángulos, tomando las medidas entre pares de hitos. La comparación de las nivelaciones tomadas en diferentes tiempos permite determinar los vectores de inclinación.

El control de densidad se lleva a cabo con medidas repetitivas de gravimetría de precisión sobre las líneas de nivel previamente establecidas y tras las correcciones a la anomalía gravimétrica observada por deformaciones verticales.

Actividades correspondientes a la primera fase

Aspectos sismológicos

El grupo formado por los autores cubrió los objetivos correspondientes a la primera fase de la instalación del sistema de monitoreo del Volcán de Colima en el período del 22 a 27 de febrero de 1988.

Se midieron los niveles de ruido sísmico en diversos lugares que satisfacían los otros requerimientos señalados en el capítulo "Características de los Sitios" utilizando tres sismógrafos portátiles Sprengneter modelo MEQ-800. En todos los casos se comprobó la perfecta comunicación de radio entre los sitios escogidos y la unidad base.

Los sitios de control geodésico fueron escogidos utilizando un teodolito. Todo el trabajo de campo fue llevado a cabo con el apoyo logístico del Sistema Estatal de Protección Civil a través de sus instituciones participantes, especialmente SCT, y del Centro de Ciencias Básicas de la Universidad de Colima.

A continuación se describen los sitios escogidos para las estaciones telemétricas:

Volcancito. En la cumbre del volcancito formado durante la erupción del 6 de diciembre de 1869, cerca de la cruz que allí se encuentra. El acceso a éste sitio es por el camino que sale de la carretera Cd. Guzmán-Colima, adelante de Atenquique, en dirección al Parque Nacional Volcán de Fuego de Colima. Este camino conduce hasta el Playón, desde donde es posible subir al Volcancito en corto tiempo por la unión entre éste y el Volcán de Colima. El nivel de ruido sísmico allí es muy bajo, por lo que permitirá situar una excelente estación sísmica en ese punto. Asimismo, sus características morfológicas lo hacen idóneo para instalar un inclinómetro electrónico de dos componentes cuyas señales también se transmitirán a la unidad receptora.

Playón. Este sitio se encuentra en el extremo SW del Playón, cerca de donde termina el camino maderero que lo circunda. El acceso es el mismo que se menciona en el párrafo anterior y tiene características similares de bajo nivel de ruido. Este sitio es también idóneo para la instalación de otro inclinómetro electrónico de dos componentes. La comunicación por radio de éste sitio con la Ciudad de Colima es perfecta.

Nevado. Situado en la parte alta del Nevado de Colima, justamente por debajo de la estación repetidora de televisión, este lugar cubre el azimuth norte del Volcán de Colima. En este sitio se instalará un sismómetro telemétrico. El acceso se logra por el camino al Nevado que entronca con la carretera Cd. Guzmán-Atenquique.

El Fresnal. Este sitio se ubica en el costado SE del Volcán. Para llegar se sale de Tonila hacia el fraccionamiento del Fresnal. De allí se toma el camino maderero al noroeste y a 1.5 km (aproximadamente) se encuentra el lugar indicado. En esta estación se instalarán sismómetro e inclinómetro telemétricos.

La Yerbabuena. Esta estación se ubica cerca del poblado del mismo nombre. Para llegar se utiliza una brecha que sale de San Antonio, pasa por La Yerbabuena y continúa por una parte plana durante unos 2 km. En seguida la brecha sube por un promontorio escarpado como 1.5 km y alcanza una meseta. Unos 300m más adelante se encuentra una elevación, la cual fue elegida para situar esta estación y en la que también se instalarán sismómetro e inclinómetro telemetrizados.

El sistema de telemetría contempla tres estaciones sismológicas más, localizadas a mayores distancias del volcán, con el doble objetivo de mejorar la

precisión en la localización tanto de eventos locales como regionales. Estas estaciones son:

Cerro Grande. El acceso a este sitio se consigue saliendo por Villa de Alvarez hacia Juluapan. Aproximadamente 1.5 km más adelante del puente del río Armería, se encuentra, a mano derecha, una brecha que se dirige hacia el Cerro Grande. De esta desviación, a unos 25 km, se encuentra el sitio seleccionado. Este es el único lugar donde no se dejó una marca específica, ya que existen numerosos afloramientos de roca adecuados con línea de vista a la base.

La Carbonera. Este sitio se halla al SW del cerro de la Carbonera. Para llegar allí se sigue la carretera que va de Tecalitlán a Pihuamo. Como a 15 km de la desviación a Tecalitlán se encuentra una brecha que conduce a La Higuera. De allí sale un camino angosto que llega a La Encinera (rancho del Sr. Alfredo Cárdenas). Del rancho parte un camino que va al cerro Los Lobos, llegando a otro rancho en donde termina el camino. De allí es necesario caminar unos 600m hacia el cerro más elevado, donde se halla el sitio elegido. El Sr. Cárdenas ha ofrecido su ayuda para localizar el sitio.

El Alcomún. Este sitio se encuentra en un cerro al sur de la ciudad de Colima. Para llegar allí se sale de Coquimatlán por una brecha que conduce al poblado de Jala. A unos 15 km de Coquimatlán, en la parte más alta de esta brecha, se caminan 600m hasta alcanzar el punto donde se tiene línea de vista a la ciudad de Colima.

Aspectos geodésicos

Para el control horizontal se estableció un polígono de cinco vértices, cuatro en El Playón y uno en la cima del Volcancito. En el Playón dos vértices se encuentran sobre los flujos antiguos de lava que descienden por los flancos del volcán y dos en la parte inferior, cerca de la pared del cráter de la caldera. La siguiente tabla muestra los rumbos y azimuths de las estaciones "internas" a partir de la estación situada en la parte NW de El Playón, la cual se ha denominado "Estacionamiento".

ESTACION	AZIMUTH	RUMBO
1	223°03'	S 43°03' W
2	295°46'	N 64°14' W
3	253°42'	S 73°42' W
4 (Volcancito)	161°29'	S 18°31' E

Todas las estaciones tienen líneas de vista entre ellas, y la distancia entre las mismas es menor de 2km.

Por otro lado se ha diseñado una figura con un vértice principal ubicado en la barda sur de la estación repetidora de televisión situada en la cumbre del Nevado de Colima y con cuatro vértices sobre el Volcán de Colima; uno en el flujo que se encuentra al este del dique radial, dos coincidentes con el polígono descrito arriba y uno más en la estación sobre el Volcancito.

En la parte sureste del volcán se establecieron dos puntos de referencia, uno coincidente con un vértice de triangulación establecido en 1941 por la Compañía Mexicana Aerofoto, ubicado en la parte exterior del segundo nivel de la torre de la iglesia de Tonila, y otro en la parte suroeste de la torre No. 192 de la CFE. Estos vértices se ligan a la red antes descrita a través de la estación de la cumbre del Volcancito.

En la parte noroeste del volcán las dificultades de intervisibilidad entre los puntos nos obligó a establecer un sólo vértice ligado al Nevado de Colima y a un grupo de los bancos de nivel de la línea que se describirá en el siguiente párrafo.

El control vertical se mantendrá por medio de la observación periódica de la línea ya mencionada. A partir del dique radial del Playón se podrá observar, desde algunos de éstos bancos, el vértice de triangulación colocado en el flujo de lava oriental del volcán e integrarlos de esta manera a la red de triangulación.

Estos bancos servirán, además, como estaciones gravimétricas para control de posibles redistribuciones de densidad en el interior del volcán.

Finalmente cabe mencionar que los inclinómetros secos han sido ya monumentados.

Referencias

- Luhr, J. F. and Carmichael, I.S.E.: *The Colima volcanic complex. Mexico: Part I. Post-caldera andesites from Volcan Colima*. Contrib. Mineral. Petrol. 71, 343-372. (1980).
- Luhr, J. F. and Carmichael, I.S.E.: *The Colima volcanic complex, Mexico: Part II. Late-Quaternary cinder cones*. Contrib. Mineral. Petrol. 76, 127-147. (1981).
- Luhr, J.F. and Carmichael, I.S.E.: *The Colima volcanic complex. Mexico: Part III. Ash-and scoria-fall deposits from the upper slopes of Volcan Colima*. Contrib. Mineral. Petrol. 80, 262-275. (1982).
- Luhr, J.F. and Carmichael, I.S.E.: *Geología del Volcán de Colima, México*. Revista Mexicana de Geología. (En prensa). 1988.
- Robin, C., Mossand, Ph., Camus, G., Cantagrel, J.M., Gourgaud, A., Vincent, P.M. *Eruptive history of the Colima Volcanic complex (Mexico)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 31, 99-113. (1987).

PRECIPITACION ANUAL PROBABLE, USANDO SERIES DE FOURIER

Domitilo Pereyra, Francisco Escamilla

La lluvia es una de las variables climáticas más conocidas por cualquier persona, ya que su presencia o ausencia influye de manera determinante en la mayoría de las actividades humanas; este líquido al llegar a la superficie de la Tierra puede ser almacenado en presas, donde es posible instalar criaderos de peces (acuacultura), generar energía hidroeléctrica o distribuirla a los distritos de riego y a las grandes ciudades (que por lo general carecen de este líquido vital). Al aprovecharse el agua de lluvia, en las formas expuestas anteriormente, se contribuye a incrementar la producción alimenticia y el desarrollo industrial del país.

Debido a la gran importancia de este líquido vital, surge la necesidad de tratar de conocer las precipitaciones anuales futuras en una determinada región y planear su aprovechamiento de manera adecuada a las necesidades del país. Para pronosticar las precipitaciones futuras se recurrió a las series de Fourier ajustadas a una muestra de datos de precipitaciones en 56 años de la estación No. 49, localizada a una latitud $19^{\circ}32'$, longitud de $96^{\circ}55'$ y una altitud de 1361 m.s.n.m., ubicada en la Ciudad de Xalapa, Veracruz.

Como antecedentes a este estudio (en el país) se pueden mencionar los trabajos de García (1981) y Pereyra (1984), en los cuales el objetivo fue solamente determinar la tendencia de la precipitación en el tiempo, con la que se pueden conocer los períodos de sequías, que tanto daño causan al país, así como los lluviosos, durante los cuales es posible almacenar el agua en grandes presas y emplearla en los años de escasa precipitación pluvial. En este trabajo, la serie de Fourier ajustada a la precipitación anual de Xalapa, Ver., además de la tendencia proporciona la variación de la precipitación en este intervalo de tiempo, con un error de solamente 0.8%, por lo cual se puede emplear para inferir acerca de las precipitaciones anuales futuras en esa zona.

A continuación se presenta una breve historia de las series de Fourier, así como la descripción de la Teoría de éstas, el método de ajuste de la serie, los

resultados obtenidos, las conclusiones y las recomendaciones necesarias para el empleo de estas series en el pronóstico.

Antecedentes de las series de Fourier

La aplicación de las series de Fourier en la solución de problemas data desde la época de Daniel Bernoulli (1700-1781), quien las utilizó para resolver problemas relacionados con la cuerda vibrante,¹² el mayor desarrollo de esta teoría se llevó a cabo en 1822 cuando el físico francés Joseph de Fourier (1768-1830), publicó el libro "Théorie Analytique de la Chaleur", desde entonces, y debido a su importancia, se ha desarrollado una extensa teoría acerca de las series que llevan su nombre, siendo una de las ramas de la Matemática que mayores aplicaciones ha encontrado en el campo científico y tecnológico. La base de las series es representar funciones periódicas por medio de funciones cíclicas particulares, tales como las trigonométricas.⁵

El estudio de fenómenos periódicos o cíclicos ha encontrado en las series de Fourier una herramienta de gran importancia, principalmente en áreas como la Electrónica, Climatología, Hidrología, Mecánica de Suelos y Acústica, entre otros. En general, las series de Fourier representan una forma conveniente de estudiar fenómenos cíclicos como es el caso de la precipitación anual, objetivo de este trabajo.

Concepto de series de Fourier

Una función $f(x)$ se dice que es periódica si está definida para todo x real y si existe el número positivo T tal que:

$$f(x+T) = f(x) \quad (1)$$

Al valor T se le llama el período de $f(x)$. De la misma forma, generalizando, se entiende que si n es un entero cualquiera:

$$f(x+nT) = f(x) \quad (2)$$

Las funciones periódicas más conocidas son las trigonométricas, ya que satisfacen la condición dada por la ec.2. Frecuentemente, en algunos problemas prácticos se presentan fenómenos periódicos o que se les puede considerar como tales.⁷ Estos fenómenos pueden representarse por una serie trigonométrica de la siguiente forma:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (3)$$

donde a_0 , a_n y b_n son los coeficientes de la serie, los cuales están dados por:

$$\begin{aligned} a_0 &= (1/T) \left(\int_0^T f(x) dx \right), \\ a_n &= (2/T) \left(\int_0^T f(x) \cos nx dx \right), \\ b_n &= (2/T) \left(\int_0^T f(x) \sin nx dx \right) \end{aligned} \quad (4)$$

a los cuales se les conoce como integrales de Euler-Fourier.

Análisis armónico

Cuando se analiza una serie de datos y se encuentra que éstos fluctúan periódicamente alrededor de la media, es frecuentemente útil ajustarle una serie de Fourier para determinar las características periódicas tales como su tendencia. De esta forma, si se tiene una serie de datos expresados como un número finito de puntos, en un cierto intervalo, pueden ajustarse a una serie de Fourier, la cual debe contener un número finito de senos y cosenos. A la determinación de los coeficientes a_0 , a_n y b_n de una serie de este tipo, es a lo que se le conoce como análisis armónico, en él, las integrales de Euler-Fourier se calculan en forma aproximada, se sustituyen las integrales por sumatorias y los coeficientes de la serie finalmente quedan en la siguiente forma:

$$\begin{aligned} a_0 &= (1/N) \sum_{i=1}^N f(i), \\ a_n &= (2/N) \sum_{i=1}^N f(i) \cos(2n\pi t(i)/T), \\ b_n &= (2/N) \sum_{i=1}^N f(i) \sin(2n\pi t(i)/T) \end{aligned} \quad (5)$$

donde N es el número de datos o longitud del período fundamental, $f(i)$ es el valor de la i -ésima

observación, n es el número de la armónica, $t(i)$ es el tiempo y T es el período fundamental.

Así, el análisis armónico proporciona el método para descomponer una señal (por ejemplo, un registro de datos de precipitación) en sus componentes armónicos y conocer, así, los constituyentes periódicos más importantes que se presentan en ésta.

A la onda formada por los primeros dos términos ($a_1 \cos(2\pi t(1)/T) + b_1 \sin(2\pi t(1)/T)$ de la serie de Fourier, se le conoce como primera armónica o como la oscilación u onda fundamental. Si el comportamiento de un fenómeno no es explicado satisfactoriamente con la serie de Fourier formada por a_0 (media de la muestra) y la primera armónica, es necesario calcular las siguientes. La segunda armónica tiene un período igual a la mitad del período fundamental, es decir varía dos veces más rápidamente; la tercera un tercio del período fundamental y así sucesivamente hasta la armónica $N/2$, que es la última que se puede calcular, y tiene un período de $1/N$ del período fundamental (ver fig. 1).

Por otra parte, si de antemano se sabe que el fenómeno que se pretende analizar con series de Fourier sufre variaciones cíclicas o periódicas, es posible, si se conoce aproximadamente el período de estas variaciones, calcular independientemente las armónicas que representan estos cambios. En caso contrario, que es lo más común, es necesario calcular la serie con el mayor número de armónicas o en todo caso la serie completa, con $N/2$ armónicas¹⁰ y después eliminar los componentes de menor contribución.

Un problema con el que nos encontramos en el análisis armónico, es conocer el período fundamental, T . Por lo general este valor es desconocido y se le asigna un valor arbitrario³ comúnmente igual o mayor al número de datos utilizados. Si el valor propuesto fuera incorrecto, esto se compensaría al calcular un número suficiente de armónicas⁸ de modo que cualquier periodicidad importante que exista en el fenómeno, se haga presente en la serie de Fourier calculada finalmente. Así, probablemente, algunas armónicas toman un valor cercano a cero y sólo aquellos que muestren periodicidades significativas permanecerán en la serie.

Una vez calculados los coeficientes de cada armónica resulta más fácil la interpretación, si se sintetiza a los dos miembros de cada armónica en la forma siguiente:

$$A_n \sin(nx + \phi_n) \quad (6)$$

donde, n es el número de la armónica.

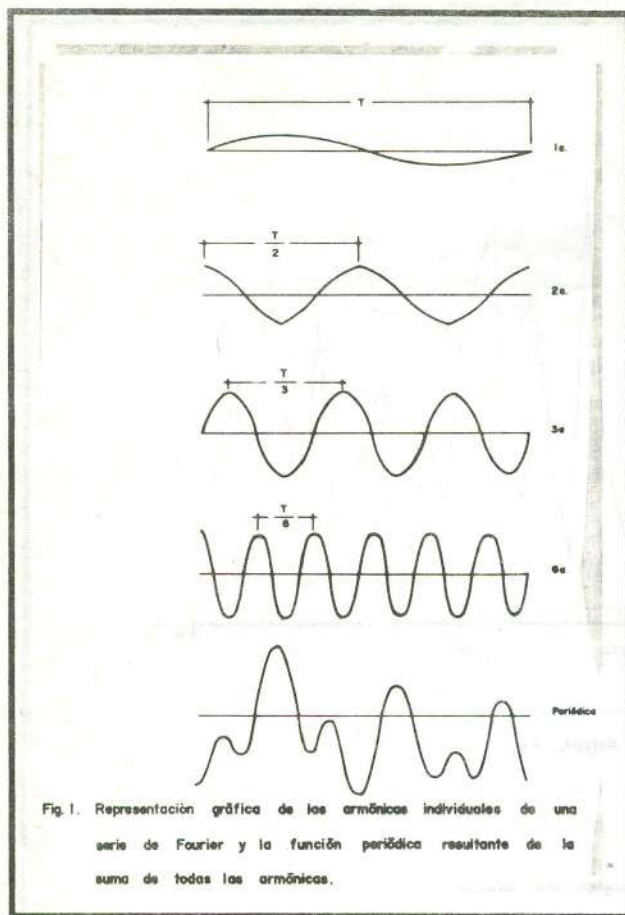


Fig. 1. Representación gráfica de los armónicos individuales de una serie de Fourier y la función periódica resultante de la suma de todas las armónicas.

Dado que

$$\sin(nx + \phi_n) = \cos nx \sin \phi_n + \sin nx \cos \phi_n$$

La ecuación 6 se expresa como:

$$A_n \sin(nx + \phi_n) = A_n \sin \phi_n \cos nx + A_n \cos \phi_n \sin nx \quad (7)$$

Considerando que $a_n = A_n \sin \phi_n$ y $b_n = A_n \cos \phi_n$, la ecuación 7 se transforma en:

$$A_n \sin(nx + \phi_n) = a_n \cos nx + b_n \sin nx \quad (8)$$

que es la forma en que se expresa la n -ésima armónica de una serie de Fourier. Por lo tanto, si a y b son conocidos, se pueden calcular los valores de ϕ_n y A_n , usando las relaciones siguientes⁸

$$\phi_n = \arctan(a_n / b_n) \quad (9)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (10)$$

Al valor A_n se le conoce como la amplitud de la n -ésima armónica y representa todo el rango, desde el punto más bajo al más alto de la onda representada por la armónica. De la misma forma, ϕ_n es el ángu-

lo de fase, el cual indica el punto del ciclo donde la onda alcanza su valor máximo.

Aplicación de las series de Fourier a la precipitación anual de Xalapa, Veracruz

Para obtener la Serie de Fourier que representara la variación anual de la precipitación, se buscó una estación que tuviera una cantidad aceptable de datos y que además fueran lo más homogéneos posibles, es decir, como menciona Conrad,² que las fluctuaciones en el tiempo fueran debidas al clima y no a otros factores.

La estación que cumplió con los requisitos antes mencionados fue la estación No. 49 con latitud 19°32', longitud 96°55' y altitud 1361 m.s.n.m., ubicada en la Ciudad de Xalapa, Veracruz y la cual cuenta con registros desde 1920 hasta la actualidad. De esta muestra de datos se escogió, para el presente trabajo, un intervalo de 56 años, muestra suficiente para poder describir las fluctuaciones de la lluvia anual en el tiempo, por medio de las series de Fourier. La figura 2 muestra las precipitaciones anuales de la ciudad de Xalapa.

Con estos datos se procedió a realizar el análisis armónico, es decir, el cálculo de los coeficientes a_n y b_n (ec.5) de la serie de Fourier; esto se realizó usando el programa SFOUR de un paquete estadístico. Los valores de los coeficientes de la serie se muestran en la Tabla 1. Los valores de la serie ajustada se muestran en la Tabla 2, al comparar estos valores con los observados se puede notar que los valores pronosticados por la serie de Fourier completa (28 armónicas) son casi iguales y que su diferencia es insignificante (ver Tabla 2 y Fig. 3).

Para cuantificar el error, E , que se comete en el ajuste, se utilizó la fórmula del Error Medio Cuadrático (RMS), la cual se expresa de la siguiente manera:⁴

$$E = \sqrt{\sum (Y_o - Y_c)^2} \quad (11)$$

donde: Y_o y Y_c son los valores observados y calculados, respectivamente, y N es el número de datos utilizados. El error cometido en este ajuste fue solamente de 0.8% (12.2mm). Según la ec. 6, la serie ajustada se puede expresar como,

$$y = a_0 + A_1 \sin(x + \phi_1) + A_2 \sin(2x + \phi_2) + \dots + A_n \sin(nx + \phi_n) \quad (12)$$

los valores de A_n y ϕ_n , calculados por medio de las ecuaciones 9 y 10, se proporcionan en la Tabla 3.

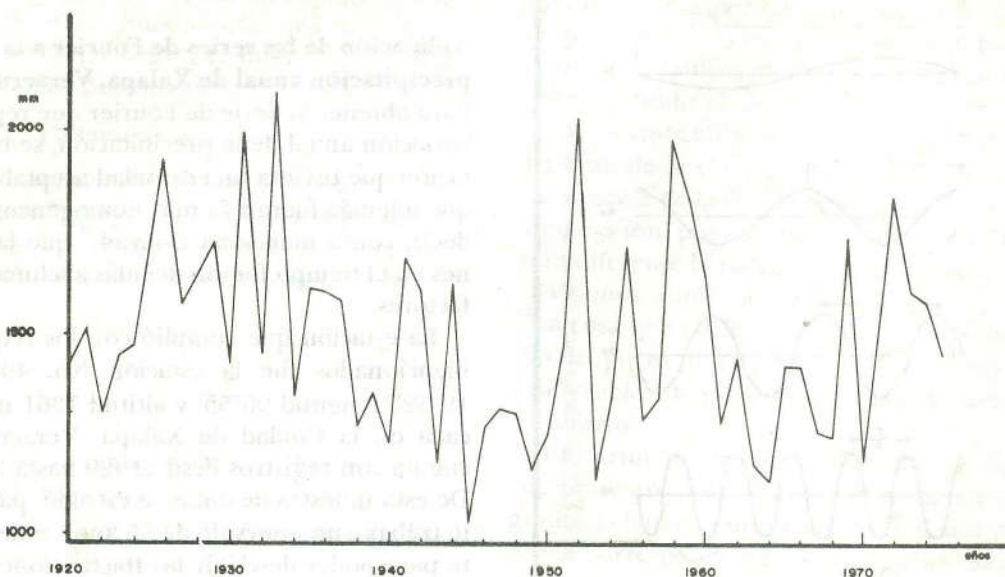


Fig. 2. Precipitación anual de la ciudad de Xalapa, Ver.

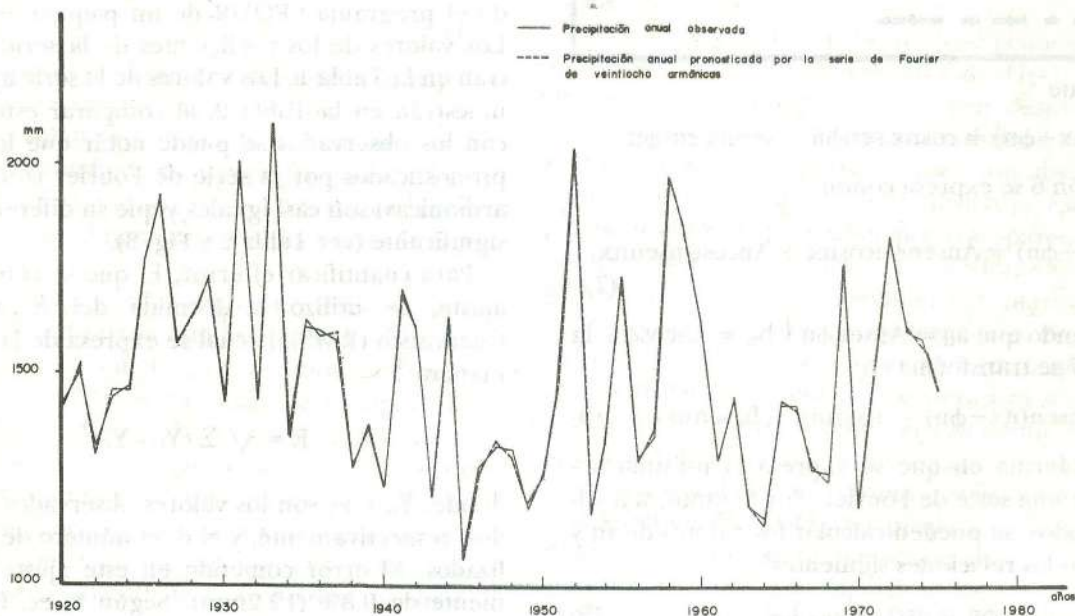


Fig. 3. Precipitación anual observada y pronosticada por la Serie de Fourier de veintiocho armónicas.

Aquí, se puede ver que algunas armónicas influyen muy poco en el resultado, por lo que pueden ser suprimidas de la serie original (28 armónicas). De esta manera se obtiene una serie, que aunque no contiene todos los términos calculados, proporciona una buena estimación del comportamiento de la precipitación anual.

Frecuentemente, al valor de la amplitud al cuadrado de una armónica (An^2), se le denomina "potencia" o varianza (Sn^2). El nombre potencia deriva del uso que en la ingeniería electrónica le han dado, debido a que expresa el contenido de energía de la componente de n -ésima frecuencia de una corriente eléctrica. A su vez, si se considera a la desviación de su valor medio como su respectiva varianza (Sn^2), se puede calcular el porcentaje de contribución de la n -ésima armónica con respecto a la serie de Fourier total.³ Por lo tanto, si la Varianza estimada para la n -ésima armónica es Sn^2 y la varianza de la serie de datos es Sy^2 , se tiene que el porcentaje de contribución de la n -ésima armónica $= (Sn^2/Sy^2) \times 100$, donde $Sn^2 = an^2 + bn^2$. De aquí que, conociendo el porcentaje de contribución de cada armónica de la serie de Fourier, se pueden eliminar los que no contribuyen en gran medida al resultado. Así, si sólo unas cuantas armónicas (por ejemplo las primeras) representan un buen porcentaje de contribución del resultado producido por la serie de Fourier completa, es posible trabajar únicamente con la serie formada

por estas armónicas, sin que las conclusiones varíen significativamente.²

En la serie de Fourier ajustada a la muestra de 56 años de registro, se nota que los porcentajes de contribución se encuentran repartidos a lo largo de un buen número de armónicas, ver tabla 4, por lo tanto, no se puede hablar de que alguna armónica influya determinadamente en la serie. Se puede decir que las armónicas que más influyen en la serie son la 1, 2, 3, 4, 7, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 25, 26, y 27; ya que la suma de sus porcentajes de contribución es de alrededor del 81%.

La figura 4, muestra la serie de Fourier filtrada, compuesta por la mitad del número de armónicas y se puede notar que representa, satisfactoriamente, la variación de la precipitación anual de la ciudad de Xalapa, Ver., durante el período de estudio.

Resultados

Cuando se analiza una serie de datos climatológicos, que varían con el tiempo, por algún método estadístico, como es el caso de las series de Fourier (también conocidas como series de tiempo), el propósito principal de investigar las fluctuaciones es, según Panofsky (1968):

a) Conocer las propiedades básicas de la serie de tiempo climática, tales como la variabilidad y características principales de sus oscilaciones periódicas o no periódicas.

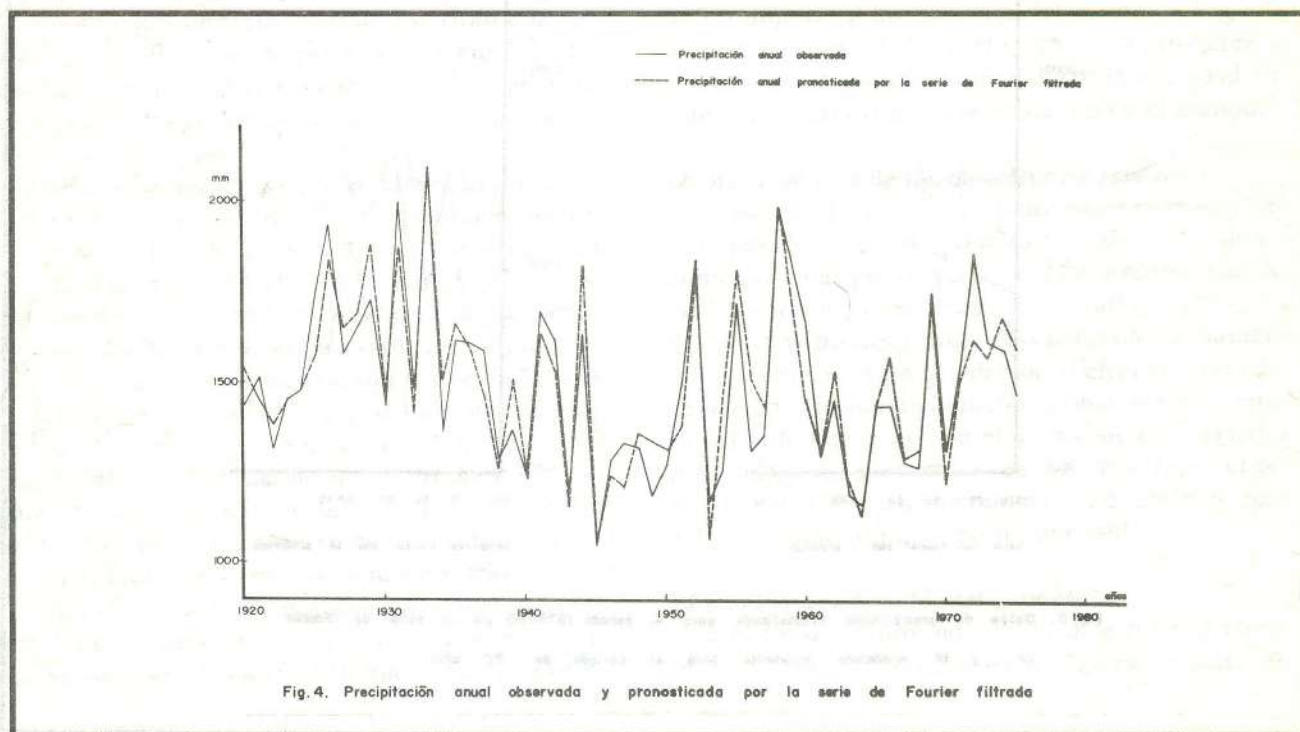


Fig. 4. Precipitación anual observada y pronosticada por la serie de Fourier filtrada

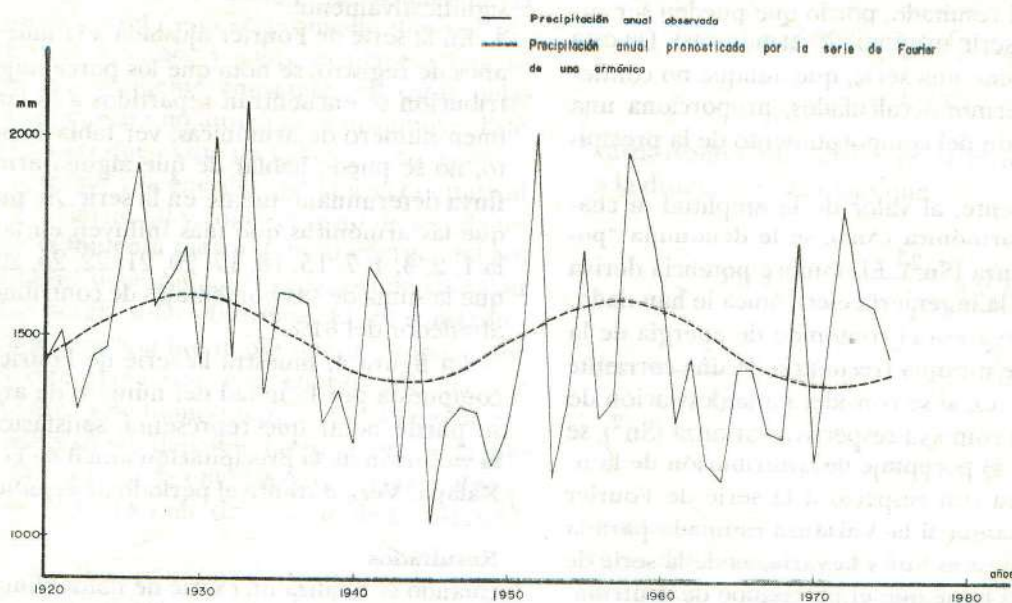


Fig. 5. Precipitación anual observada y pronosticada por la serie de Fourier de una armónica.

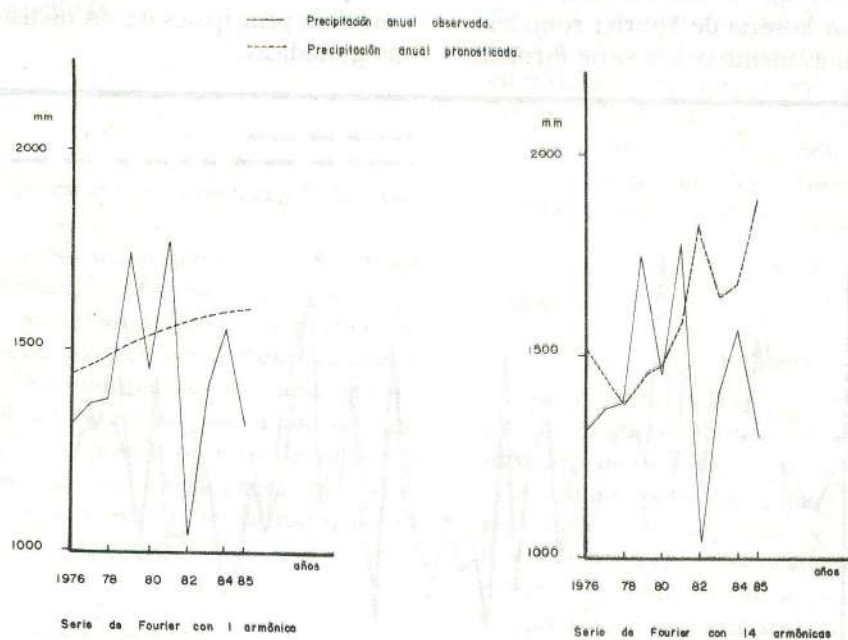


Fig. 6. Datos de precipitación pronosticada para el periodo 1976-85 por la serie de Fourier de 1 y 14 armónicas ajustadas para el periodo de 56 años.

b) Intentar predecir el comportamiento de la serie de tiempo climática.

En base a lo anterior, los datos de precipitación anual de la ciudad de Xalapa, Ver., analizados por medio de la serie de Fourier mostraron las características que a continuación se mencionan:

1.- La tendencia principal de la precipitación anual en el período comprendido entre 1920 y 1975, se muestra en la figura 5. Esta curva representa a la serie de Fourier formada por la media de los datos (armónica 0) y la armónica de mayor amplitud o mayor porcentaje de contribución (armónica 2). Es posible observar cómo la lluvia muestra un aumento general a partir de 1920 hasta aproximadamente 1930, a partir de 1931 la tendencia es negativa hasta 1943, donde esta marca el valor más bajo (el valor más bajo observado en este período fue en 1945). El ciclo se repite, con un aumento gradual hasta 1957, descendiendo nuevamente hasta un mínimo en 1971. Cabe aclarar que, al mencionar que existe aumento o disminución en la precipitación en cierto período, no se afirma categóricamente que un año tendrá mayor precipitación que el anterior y el siguiente aún mayor, o lo contrario en el caso de descenso. Lo que se quiere dar a entender es que se considera a todo el período en promedio, por arriba o por abajo de su valor promedio. De esta manera pueden existir años secos dentro de un período, que en general, se considera como lluvioso, o por el contrario, años lluviosos dentro de un período considerado como seco. Esto se debe a la forma tan aleatoria con que los fenómenos meteorológicos se presentan en el país, año con año.

2.- En la fig. 4, la serie formada por las 14 armónicas de mayor peso proporciona una buena idea de la variación de la precipitación en el tiempo, lo cual indica que no es necesario considerar la serie completa para tratar de pronosticar la precipitación anual de una región cualquiera.

3.- Que la precipitación, al igual que muchas variables climáticas, se comporta de una forma tal, que podemos considerarla periódica. Lo cual permite, si se cuenta con una buena muestra de datos, inferir, en base a la tendencia principal obtenida de la muestra, el comportamiento futuro que seguirá ésta. De este modo, cabría esperar para Xalapa, Ver., un ascenso gradual a partir de 1976 hasta 1985, ver fig. 6, en la cual se prolongaron las Series de Fourier de una y catorce armónicas, estando formada la primera por la armónica de mayor peso y la segunda por las catorce de mayor contribución. Se observa, claramente, cómo estas curvas pronostican, con buena

aproximación, el comportamiento futuro de la precipitación anual, con excepción del año 1982, en el cual se presentó un evento extremo (sequía que afectó todo el país), y que no fue tomada en cuenta en el ajuste de la Serie.

Conclusiones y recomendaciones

1.- Las series de Fourier son una buena técnica para investigar los períodos principales que se presentan en una serie de datos climatológicos, como es el caso de la precipitación anual de Xalapa, Ver., donde se encontró una periodicidad de 28 años.

2.- Es posible obtener, si se conoce de antemano, la periodicidad de la precipitación en un lapso determinado, con las dos primeras armónicas únicamente la tendencia de ésta, en el tiempo.

3.- El cálculo de los porcentajes de contribución de cada una de las armónicas permite conocer la serie de Fourier óptima para pronosticar la variable climática analizada.

4.- El pronóstico de la precipitación anual debe considerarse como una aproximación estadística, ya que ésta es un fenómeno natural y por lo tanto se comporta de una manera completamente aleatoria, debido al gran número de variables climáticas que intervienen en el proceso que origina la precipitación pluvial.

5.- Este pronóstico puede ayudar a programar los riegos en las zonas agrícolas, así como a dar mantenimiento a plantas Termoeléctricas y Geotérmicas del país cuando la precipitación anual pronosticada se encuentre por arriba de la media, ya que esto permitirá almacenar en las presas una mayor cantidad de agua con la cual se generará la energía eléctrica que producen las Termoeléctricas y Geotérmicas que entren a mantenimiento.

6.- Es recomendable, para realizar un buen pronóstico, contar con la mayor cantidad posible de datos que se emplearán en el pronóstico para obtener los coeficientes de a_n y b_n de la serie.

7.- Es recomendable realizar un estudio similar sobre la precipitación anual promedio de otras regiones de la República Mexicana, para determinar los períodos secos y lluviosos, lo cual ayudará a planear la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica del país.

Agradecimientos

La realización de este trabajo fue posible gracias a la colaboración del Departamento de Informática del Instituto de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos del Estado de Veracruz, quien facilitó el paquete es-

tadístico empleado en este estudio, así como la computadora. También se agradece, por su valiosa colaboración, a la estudiante de Arquitectura, Dora Hipólito P. Russell, por haber realizado los dibujos de este artículo.

BIBLIOGRAFIA

1. Bajpai, A. C., Calus, I. M. y Fairley, J. A.: *Matemáticas para estudiantes de Ingeniería y Ciencias*, Vol. 2 Limusa, 1979.
2. Conrad, V. y Pollak, L. W.: *Methods in Climatology*. Harvard University Press, 1973.
3. Davis, J.C.: *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, 1973.
4. Escamilla, B. P. "Series de Fourier Aplicadas a la Precipitación Anual", Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, 1987.
5. Gellert, W., Kustner, H., Hellwich, M. y Kastner, H.: *The VNR Concise Encyclopedia of Mathematics*. Van Nostrand Reinhold Company, 1975.
6. García, E. y Vidal, R.: "La Tendencia de la Precipitación en la Parte Central de México en los Últimos 50 Años". *Biótica* Vol 6, No. 1, 1981.
7. Kreyszig, E.: *Matemáticas Avanzadas para Ingeniería*, Vol. 1, LIMUSA.
8. Panofsky, H. A. y Brier, G. W.: *Some Applications of Statistics to Meteorology*, University Park, Pennsylvania, 1968.
9. Pereyra D. D., Palma, G. B. E. y Hernández, T. A.: *Análisis Estadístico y Probabilístico de la Precipitación en Xalapa, Veracruz, México*, Universidad Veracruzana, 1984.
10. Scheid, F.: *Análisis Numérico*, Schaum, 1972.
11. Stringer, E. T.: *Thecnics of Climatology*, W. H. Freeman and Company, 1972.
12. Wylie, C. R.: *Matemáticas Superiores para Ingeniería*, McGraw Hill, 1969.

NUMERO DE LA ARMONICA	COEFICIENTE a_n	COEFICIENTE b_n
0	1497.11	0.00
1	74.98	60.76
2	-53.12	95.69
3	35.78	-52.04
4	-43.73	-77.85
5	-30.17	-22.83
6	-43.86	33.77
7	22.05	-88.42
8	-46.40	-29.80
9	0.00	33.19
10	52.07	-21.11
11	-3.86	54.77
12	-24.54	-3.18
13	22.40	38.01
14	19.83	4.85
15	-51.66	61.47
16	94.40	-22.50
17	-30.24	-74.20
18	-10.05	-2.59
19	-1.14	-16.47
20	-66.60	-5.80
21	83.05	44.42
22	-50.68	58.61
23	-16.34	44.18
24	-6.06	3.18
25	15.31	-64.22
26	70.72	-10.78
27	-61.59	60.97
28	-23.68	0.00

Tabla 1. Valores de los coeficientes a_n y b_n de la serie de Fourier ajustadas para un período de 56 años.

AÑO	PRECIPITACION OBSERVADA	PRECIPITACION CALCULADA	NUMERO DE LA ARMONICA	AMPLITUD (An) en mm	ANGULO DE FASE (fn) en grados
1920	1435.8	1423.6			
1921	1515.2	1527.3	1	96.5	51
1922	1317.1	1304.8	2	109.3	331
1923	1451.1	1463.3	3	63.2	146
1924	1474.2	1462.1	4	89.3	209
1925	1743.2	1754.9	5	37.8	233
1926	1932.0	1920.4	6	55.2	237
1927	1585.8	1587.3	7	91.1	166
1928	1647.4	1635.7	8	55.2	237
1929	1728.5	1739.6	9	33.2	360
1930	1434.4	1432.2	10	56.2	112
1931	2000.2	2011.6	11	54.9	356
1932	1454.8	1443.3	12	24.7	263
1933	2095.1	2107.2	13	44.1	31
1934	1358.1	1346.2	14	20.4	76
1935	1616.8	1628.8	15	80.3	320
1936	1607.2	1594.9	16	97.0	103
1937	1588.2	1600.5	17	80.1	202
1938	1286.2	1274.0	18	10.4	256
1939	1369.8	1382.2	19	16.5	184
1940	1241.6	1229.1	20	66.9	265
1941	1691.0	1703.0	21	94.2	62
1942	1616.1	1603.9	22	77.4	319
1943	1190.8	1202.9	23	47.1	340
1944	1632.5	1620.9	24	6.8	298
1945	1041.6	1052.8	25	66.0	167
1946	1281.9	1270.3	26	71.5	99
1947	1330.5	1342.0	27	86.7	315
1948	1318.7	1307.1	28	23.7	270
1949	1179.3	1190.8			
1950	1271.5	1259.9			
1951	1477.6	1488.9			
1952	2036.0	2024.4			
1953	1156.1	1168.1			
1954	1352.7	1340.8			
1955	1723.5	1735.7			
1956	1303.9	1291.7			
1957	1357.0	1369.3			
1958	1983.9	1971.6			
1959	1842.0	1855.1			
1960	1652.4	1640.5			
1961	1294.5	1306.2			
1962	1456.8	1445.2			
1963	1192.0	1203.6			
1964	1156.2	1144.8			
1965	1436.4	1447.5			
1966	1435.8	1424.8			
1967	1275.1	1286.6			
1968	1260.1	1248.6			
1969	1752.8	1764.3			
1970	1199.1	1187.3			
1971	1545.8	1558.2			
1972	1850.7	1838.4			
1973	1614.4	1626.6			
1974	1590.4	1578.0			
1975	1465.8	1478.1			

Tabla. 2 Valores de precipitación observados y pronosticados por la serie de Fourier ajustada para un período de 56 años.

Tabla 3. Valores de la amplitud (A_n) y ángulo de fase (f_n) de la serie de Fourier ajustada para un período de 56 años.

NUMERO DE LA ARMONICA	PORCENTAJE DE CONTRIBUCION
1	7.57
2	9.70
3	3.24
4	6.48
5	1.16
6	2.49
7	6.75
8	2.48
9	0.90
10	2.57
11	2.45
12	0.50
13	1.58
14	0.34
15	5.24
16	7.65
17	5.22
18	0.09
19	0.22
20	3.63
21	7.21
22	4.87
23	1.80
24	0.04
25	3.54
26	4.16
27	6.10
28	0.46

Tabla 4. Porcentaje de contribución de las armónicas que forman la serie de Fourier ajustada para un período de 56 años.

SECCION: GRUPOS DE TRABAJO

LA EDITORIAL DEL INSTITUTO DE GEOFISICA

"GEOFISICA INTERNACIONAL"

Ela Molina

Introducción

Este artículo es sólo una primera aproximación al trabajo de la Editorial. Nos limitaremos a exponer acerca de la Revista Geofísica Internacional, ya que consideramos que es la publicación más importante que elaboramos.

Nos comprometemos a continuar EN PROXIMO(S) NUMERO(S) abordando el tema de la Editorial y dando a conocer nuestro trabajo y las publicaciones con que contamos.

Brevísima historia de la revista

La Revista Geofísica Internacional (a la que en adelante denominaremos GI) surge en 1961 y podemos afirmar, con orgullo, que es una de las pocas publicaciones, en la UNAM, que se ha mantenido en circulación, casi sin perder continuidad, durante 27 años, a pesar de las vicisitudes acaecidas tanto en la UGM como en el Instituto de Geofísica (en adelante denominado IGF).

¿Cómo funciona Geofísica Internacional?

La Revista Geofísica Internacional es el órgano de la Unión Geofísica Mexicana, auspiciado por el Instituto de Geofísica, el CONACYT y recursos provenientes de las suscripciones y ventas de la propia revista.

Existe un Comité Editorial fundado en 1977 e integrado por el Editor (nombrado por la UGM), un representante de la UGM y un representante de cada organismo universitario afín a la Geofísica. Desafortunadamente, desde 1983 sólo se ha reunido en dos ocasiones, cuestión que la UGM debe retomar e impulsar, ya que sólo de esta manera podrán tomarse decisiones que lleven a mejorar GI.

En el diseño, elaboración y distribución de GI intervenimos, directamente, 5 personas de las 6 que trabajamos en la Editorial, ya que el otro compañero trabaja fundamentalmente en las Comunicaciones Técnicas. Estos cinco compañeros tienen los siguientes nombramientos:

Un técnico académico titular A, tiempo completo.
Un técnico académico asociado B, tiempo completo.
Un técnico académico auxiliar C, tiempo completo.
Un técnico administrativo.
Una secretaria.

El compañero dedicado a las Comunicaciones Técnicas es, también, técnico administrativo.

Es necesario mencionar que hasta hace aproximadamente tres años, contábamos con otro técnico académico. Además es uno de los Departamentos Editoriales con menor personal y mayor número de publicaciones que existe dentro de la UNAM.

¿Quiénes publican en Geofísica Internacional?

En los cuadros 1.A y 1.B podemos observar que más del 50% de los autores que publican en Geofísica Internacional provienen del exterior y particularmente de los Estados Unidos, seguidos por la Unión Soviética, ya que entre los dos reúnen casi el 50% de los artículos cuyos autores provienen del exterior. Por otro lado en el cuadro 1.A vemos que el aporte de los autores estadounidenses se ha incrementado en el período 1983-1988, en relación a 1978-1982 en 16 puntos porcentuales. Incluso, la proporción que existía entre los autores estadounidenses y los soviéticos pasó de 7.21 puntos porcentuales en el primer período a 26.48 en el segundo. Así como ha decrecido la participación de los soviéticos, también lo ha hecho el resto del mundo, incrementándose, en cambio, la de los estadounidenses.

El cuadro 1.B muestra, de manera más clara, las tendencias antes mencionadas, en la última columna se presenta el incremento existente entre los períodos 1978-1982 y 1983-1988. Vemos que el incremento general de la Revista, en cuanto al número de autores que participan, es del 61.57% y los países y/o instituciones que rebasan este incremento son:

-En primer lugar el rubro "OTROS" de México;

CUADRO 1.A

PROCEDENCIA DE LOS AUTORES¹ CUYOS ARTICULOS SE PUBLICARON EN G.I. 1978-1988

AÑOS PAIS E INSTITUCION	1978 - 1982		1983 - 1988		TOTAL	
	No.	%	No.	%	No.	%
MEXICO	105	100	164	100	269	100
IGF	37	35.24	45	27.44	82	30.48
CICESE	23	21.90	22	13.42	45	16.73
UNAM	38	36.19	63	38.41	101	37.55
OTROS	7	6.67	34	20.73	41	15.24
EXTERIOR	111	100	185	100	296	100
U.S.A.	29	26.13	78	42.16	107	36.15
U.R.S.S.	21	18.92	29	15.68	50	16.89
OTROS	61	54.95	78	42.16	139	46.96

1) Se tomaron todos los autores de cada artículo.

2) Excepto el IGF.

3) Incluye veinte países; nueve de Europa (a excepción de la URSS) dos de América (a excepción de USA y México), siete de Asia y 2 de África.

que incluye Secretarías de Estado, organismos descentralizados e instituciones educativas, de investigación y servicios, privadas y públicas con excepción de la UNAM, el IGF y el CICESE. con un Δ de 386%!

-En segundo lugar, los autores estadounidenses con casi 169%!

En tercer lugar, los autores provenientes del exterior, en general.

-Por último, los autores de la UNAM, con excepción del IGF.

Volviendo al punto de la participación de los autores extranjeros, el cuadro 1.B muestra que, efectivamente, el aporte de la URSS y el resto de países ha disminuído favoreciendo a los Estados Unidos,

los que nos lleva a hacer una reflexión; ¿No existirá una tendencia, quizá involuntaria, a favorecer nuestras relaciones con los Estados Unidos, en detrimento del resto del mundo y "por tanto" de nuestro país? Creemos que el discurso de la "diversificación" debe aplicarse también a la investigación y la ciencia en general, y a la Geofísica, en nuestro caso.

En cuanto a la participación de autores nacionales, vemos que los del Instituto y el CICESE, han disminuído su aporte en relación al período 1978-1982, ya que en el cuadro 1.A, para dicho período constituían el 57.14% de los autores nacionales, mientras que para el segundo período sólo forman casi el 41%. Este dato nos parece digno de preocupación, ya que siendo Geofísica Internacional "la" pu-

CUADRO 1.B

PROCEDENCIA DE LOS AUTORES CUYOS ARTICULOS SE PUBLICARON EN G. I.

1878 - 1988

AÑOS PAIS E INSTITUCION	1978 - 1982		1983 - 1988		TOTAL		INCREMENTO	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
MEXICO	105	48.61	164	46.99	269	47.61	59	56.19
IGF	37	17.13	45	12.89	82	14.51	8	21.62
UNAM	38	17.59	63	18.06	101	17.88	25	65.79
CICESE	23	10.65	22	6.30	45	7.96	-1	-4.35
OTROS	7	3.24	34	9.74	41	7.26	27	385.71
EXTERIOR	111	51.39	185	53.01	296	52.39	74	66.67
USA	29	13.43	78	22.35	107	18.94	49	168.96
URSS	21	9.72	29	8.31	50	8.85	8	38.1
OTROS	61	28.24	78	22.35	139	24.6	17	27.87
TOTAL	216	100	349	100	565	100	133	61.57

blicación de la UGM y considerando que la mayor parte de sus miembros se encuentran ubicados en el IGF y el CICESE sería de esperar una mayor participación de los mismos en "su" Revista; creemos que son los miembros de la UGM los más indicados para mejorar la Revista y buscar los mecanismos que hagan esto posible.

Incluso llama poderosamente la atención que los miembros del CICESE no sólo no han incrementado su participación proporcional en Geofísica Internacional, sino que ésta decreció, también, de manera absoluta, pasando de 23 autores en el primer período, a 22, en el segundo.

Entre otras cosas, este artículo debe servir para plantearnos los "porqué" de estas situaciones y los "cómo" corregirlas. Esperamos sugerencia y propuestas para mejorar aquellos mecanismos que, quizá, desalienten la participación en GI de los autores miembros de la UGM y fundamentalmente del CICESE y el IGF, ya que son los que presentan un incremento menor de todos los conceptos tomados.

Lo anterior no significa que nos opongamos a la mayoritaria participación de autores extranjeros en Geofísica Internacional, ya que si así fuera debería llamarse sólo GEOFISICA, pero sí creemos que no

CUADRO 2.A
DISTRIBUCION DE G. I. 1988

TIPO DE DISTRIBUCION	SUSCRIPCIONES		CANJE Y DONACION ²		TOTAL
	No.	%	No.	%	
DESTINO					
MEXICO	121	66.85	110	29.97	231
UGM ¹	93	51.38	-	-	93
UNAM	-	-	32	8.72	32
OTROS	28	15.47	78	21.25	106
EXTERIOR	60	33.15	257	70.00	317
USA	38	20.99	39	10.63	77
AMERICA ³	7	3.87	90	24.52	97
EUROPA	9	4.97	92	25.07	101
ASIA	3	1.66	28	7.63	31
AFRICA	1	0.55	5	1.36	6
OCEANIA	2	1.10	3	0.82	5
TOTAL	181	100	367	100	548

1) Las suscripciones a la Revista a través de la UGM se hacen directamente en dicha Asociación y el dinero lo percibe ésta.

2) Una buena parte de las publicaciones que recibe la biblioteca del Instituto provienen del canje con Geofísica Internacional.

3) Exceptuando México y USA.

CUADRO 2.B
DISTRIBUCION DE GEOFISICA INTERNACIONAL 1988

TIPO DE DISTRIBUCION	SUSCRIPCION		CANJE Y DONAC.		TOTAL	
	No.	%	No.	%	No.	%
DESTINO						
MEXICO	121	66.85	110	29.97	231	42.15
EXTERIOR	60	33.15	257	70	317	57.85

CUADRO 2.C
DISTRIBUCION DE GOFISICA INTERNACIONAL 1988

TIPO DE DISTRIBUCION	MEXICO		EXTERIOR		TOTAL	
	No.	%	No.	%	No.	%
SUSCRIPCIONES	121	55.38	60	18.93	181	33.03
CANJE Y DONAC.	110	47.62	257	81.07	367	66.97
TOTAL	231	100	317	100	548	100

puede disminuir, aunque sea proporcionalmente, la participación de los miembros de la UGM.

¿Quiénes leen Geofísica Internacional?

Los cuadros 2.A, 2.B y 2.C presentan datos que concuerdan con las tendencias observadas en el punto anterior, a pesar de que sólo se refieren a 1988, nos comprometemos a retroceder, lo más posible, para artículos futuros.

Más del 50% de la distribución de la Revista va al exterior (Cuadro 2.B). Incluso, sólo los Estados Unidos reciben más ejemplares que Asia, Africa y Oceanía juntos.

En cuanto al tipo de distribución, cabe hacer la autocrítica de que no hemos logrado elevar, sustancialmente, las suscripciones a GI, para esto es necesario decidir una política más agresiva que propagandice y, en un inicio, signifique una fuerte erogación financiera, viéndose los frutos dos o tres años más adelante. Existen proyectos, con varios años de existencia, que por no contar con la decisión antes mencionada, no se han llevado a la práctica. Uno de ellos se refiere a enviar un ejemplar, como muestra, a todas las instituciones públicas o privadas, en México y el resto del mundo, dando a conocer GI y ofreciendo la suscripción. Para implementar esto se necesitaría gastar en el envío postal de todas las publicaciones. Sería un gasto importante, pero estamos seguros que con las suscripciones que se obtuvieran se recompensaría dicho gasto y se percibirían (al futuro) mejores ingresos.

Es necesario señalar que la primera fase en la ejecución de dicho proyecto se encuentra ya casi finalizada y consiste en localizar y hacer un índice de todas las instancias en el mundo que podrían interesarse en una Revista como la nuestra. Faltan la decisión de hacerlo y el dinero para ello. Aclaramos que estas decisiones no son competencia de la Editorial, sino del Comité a que hicimos referencia anteriormente, de la UGM y del IGF.

Pasando al Canje y las donaciones, consideramos que éstos deben continuar e, incluso, incrementarse, ya que gracias al intercambio contamos con una buena parte de las publicaciones existentes en la Biblioteca del IGF. Por otro lado, una cantidad importante de las donaciones (UNAM y México, Cuadro 2.A) son obligatorias e insoslayables.

Podemos afirmar, con tranquilidad, que un poco más de la mitad (548) del tiraje de la Revista (1,000 ejemplares) está asegurado entre suscripciones, canje y donación; pero este tiraje podría incrementarse teniendo una venta libre (por llamarle de alguna manera) también mayor. Esto podría lograrse a través de

la propaganda, misma, que a nivel nacional, los mejores promotores serían los miembros de la UGM, sobre todo aquellos que hacen docencia, recomendando a sus alumnos la lectura de aquellos números que contengan información importante y/o necesaria.

En fin, existen muchas ideas pero no el espacio y la decisión necesarios para experimentar (quizá errar) y avanzar en la percepción de ingresos provenientes de GI.

Para finalizar este punto deseamos aclarar que no todo en GI se ve negro, también hemos recibido satisfacciones de varios niveles, desde cartas felicitando a la Revista por parte de investigadores y docentes japoneses y estadounidenses, hasta citas, numerosas por cierto, en prestigiadas publicaciones, como la de la Academia de Ciencias de la URSS, pasando por el reconocimiento que otras Editoriales de la UNAM nos han hecho porque con tan poco personal sostenemos diversas publicaciones, y el hecho tan simple de que algunos números de GI se agoten, tal como el de LOS HUMEROS y el de EL SISMO DE OAXACA.

¿Que tan seria es Geofísica Internacional?

Puede parecer petulante que quienes coordinamos y diseñamos GI afirmemos que es seria, pero existen normas y regulaciones que determinan la seriedad de una publicación científica, y una de ellas, si no la más importante, se refiere al arbitraje. Este arbitraje tan difamado e incomprendido, pero tan necesario para nuestra Revista, si queremos ser "serios".

Los cuadros 3 y 4 presentan información respecto al proceso de arbitraje y vemos que más del 60% del mismo lo realizan especialistas nacionales, esto tiene una razón muy simple, muchos de los autores envían sus artículos en español (también los extranjeros) y creemos que pueden arbitrar mejor quienes dominan este idioma. Por esta razón puede verse que el rechazo, por parte de los especialistas nacionales es mayor, pues corresponde a la proporción entre la nacionalidad de los árbitros.

Algo que nos llama la atención es que, al comparar los datos del cuadro 3 y los de los cuadros 1, observamos que son más los autores nacionales que han enviado sus trabajos a la Revista (Cuadro 3), sin embargo, quienes publican en GI son más los extranjeros, porque el factor de rechazo es mayor en los artículos cuyo primer autor es nacional (29.79%) que en los cuyo primer autor es extranjero (16.15%) y esto, tomando en cuenta que la mayoría de los árbitros es nacional.

Podría pensarse que influyan celos profesionales, y aunque no lo descartamos, todo artículo pasa por

lo menos por dos árbitros y en muchísimas ocasiones por más de dos, entre otras cosas, para descartar algún posible juicio subjetivo y/o simplemente, diferentes concepciones respecto al tema en cuestión.

En última instancia creemos, nuevamente, que son los miembros de la UGM y los especialistas en las di-

ferentes ramas de la Geofísica quienes tienen la palabra, en cuanto a la calidad del arbitraje, ya que ellos lo realizan y la Editorial se limita a consultar quiénes pueden ser los especialistas idóneos para determinado tema. Nosotros confiamos en la honestidad y el espíritu científico de nuestros investigadores.

CUADRO 3
DETALLE DEL PROCESO DE ARBITRAJE
1978-1988

CONCEPTO TOTAL	ARTICULOS RECHAZADOS					
	ABS	%	AUTORES			
			NACIONALES		EXTRANJEROS	
			No.	%	No.	%
Arbitrajes realizados por especialistas nacionales	297	61.36	52	59.77	23	74.2
Arbitrajes realizados por especialistas extranjeros	187	38.64	35	40.23	8	25.8
TOTAL	487	100	87	100	31	100
	ARTICULOS ACEPTADOS					
	AUTORES					
	NACIONALES		EXTRANJEROS			
	No.	%	No.	%		
Arbitrajes realizados por especialistas nacionales	115	56.1	107	66.46		
Arbitrajes realizados por especialistas extranjeros	90	43.9	54	33.54		
TOTAL	205	100	161	100		

Nota 1: Sólo se tomó la procedencia del primer autor. No coincide, necesariamente, con el cuadro No. 1, ya que en éste se tomó la pro-

CUADRO 4
DESTINO DE LOS ARTICULOS ARBITRADOS DE 1978-1988

DESTINO	No.	%
ACEPTADOS	150	70.42
RECHAZADOS ¹	48	22.54
REZAGADOS ¹	15	7.08
TOTAL ²	213	100

1 Se refiere a aquellos que fueron arbitrados y aceptados pero el autor no los remitió para su publicación o los envió a otra revista. También aquellos a los cuales se les pidieron correcciones, por parte del o los árbitros, y no fueron devueltos.

2 No incluye artículos en proceso de arbitraje ni los números especiales.

Índice alfabético de autores

ARMIENTA, María Aurora.
Departamento de Química Analítica,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
BRAVO, Silvia.
Departamento de Física Espacial,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
CALLEJA, Manuel.
Servicio Sismológico Nacional,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
CAÑON, Amaro Carlos.
Departamento de Geomagnetismo,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
CASTELLANOS, Guillermo.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
DE LA CRUZ-REYNA, Servando.
Departamento de Vulcanología,
Instituto de Geofísica, UNAM
045100, México, D.F.
DELGADO, Argote Luis Alberto.
Departamento de Geología Regional,
Instituto de Geología, UNAM
04510, México, D.F.
ESCAMILLA, Francisco.
Subdirección de Calidad del Aire.
Sria. de Desarrollo Urbano y Ecología.
México, D.F.
ESPINDOLA Castro, Juan Manuel.
Departamento de Vulcanología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
GAY, Carlos.
Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
04510, México, D.F.
HERNANDEZ, Reynaldo.
Servicio Sismológico Nacional,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
HERRERA, Javier.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
JIMENEZ Jiménez, Zenón.
Departamento de Sismología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
LOMNITZ, Cinna.
Departamento de Sismología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
LOPEZ, Carlos.
Servicio Sismológico Nacional,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
MARQUEZ, Bertha.
Univesidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal.
MENA Jara, Manuel.
Departamento de Vulcanología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.

MOLINA, Ela.
Sección Editorial,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D. F.
NAVA Pichardo, Alejandro F.
Departamento de Sismología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
ORNELAS, Gilberto.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
PEREIRA, Domitilo.
Centro de Meteorología Aplicada,
Facultad de Física, Universidad Veracruzana
91000, Jalapa, Ver.
PEREZ DE TEJADA, Héctor.
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
PEREZ, Juan Carlos.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
PONCE, Daniel.
Servicio Sismológico Nacional,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D. F.
RAMOS Jiménez, Esteban.
Departamento de Vulcanología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D. F.
RAMIREZ, Ariel.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
REYES, Gabriel.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
SEGOVIA, Nuria.
Gerencia de Aplicaciones Industriales,
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares,
México, D.F.
TAMEZ, Héctor.
Centro de Investigación en Ciencias Básicas,
Universidad de Colima, Colima, Col.
URRUTIA, Jaime.
Investigador Jefe del Laboratorio de Paleomagnetismo,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
YAMAMOTO, Jaime.
Departamento de Sismología,
Instituto de Geofísica, UNAM
04510, México, D.F.
YOKOYAMA, Izumi.
Japan International Cooperation Agency, Japón.

Nota aclaratoria: En el No. 2 de GEOS aparecieron algunos errores en el Índice Alfabético de Autores, los cuales corregimos, pidiendo disculpas a nuestros lectores.

MEDINA, Francisco; es miembro del Instituto de Geofísica y no del CICESE.

ESCAMILLA, Francisco; su artículo aparece en GEOS 3.

GAY, Carlos; su artículo aparece en GEOS 3.

No mencionamos en el Índice Alfabético a los siguientes autores, cuyos artículos sí aparecieron en GEOS 2.

OROZCO, Adolfo, Instituto de Geofísica, UNAM C.P.04510, México, D. F.

