

Milankovitch. Los Ciclos de Milankovitch alteran la cantidad de energía que nos llega del Sol y la forma en que ésta es distribuida por toda la Tierra, favoreciendo que existan de manera cíclica, épocas frías y épocas cálidas. Durante los dos últimos millones de años el clima del planeta se ha caracterizado por ciclos de aproximadamente 100,000 años, en los que más del 80% del tiempo el clima es muy frío (glaciación) y menos del 20% del tiempo el clima es como hoy (interglaciación). Llevamos cerca de 10,000 años de haber terminado con la última glaciación, así es que es de esperar que pronto (bueno, en tiempo geológico, ¿unos 5,000 años) volvamos a un clima en extremo frío o glaciación.

Como puedes ver la cuestión del cambio climático no es tan sencilla, pero queda claro que el clima siempre ha cambiado y que uno de los principales controles del clima es el dióxido de carbono en la atmósfera porque éste regula la temperatura del planeta a través del efecto invernadero. Es muy cierto, por supuesto, que todos los motores que queman gas, diesel o gasolina, que los hay por todos lados hoy en día, arrojan dióxido de carbono al aire, aumentando la cantidad de este gas de manera alarmante. También es cierto que la tala de bosques en las últimas décadas ha sido enorme, lo que incrementa todavía más la cantidad de bióxido de carbono en el aire. Como consecuencia en los últimos 10 años hemos observado como la temperatura de la Tierra ha ido gradualmente en aumento, a esto se le llama Calentamiento Global. Las consecuencias del Calentamiento Global son impredecibles, pero podemos suponer, además del temido aumento en el nivel del mar por la desaparición de los hielos polares, que fuertes sequías serían comunes en el centro de México, elevando el desarrollo de la zona más poblada de nuestro país a una situación crítica. Debemos desde hoy hacer conciencia sobre el uso de nuestros recursos, México es rico en los dos recursos determinantes para este fenómeno: combustibles fósiles y bosques amenazados por la tala inmoderada. Claro que el Calentamiento Global es el panorama del cambio climático a corto plazo, pero como ya se mencionaba, a largo plazo lo que podemos esperar es que vuelva a ocurrir, como lo ha hecho en los últimos dos millones de años, una etapa de clima frío, o sea una nueva Glaciación.

PARA LOS MAS PRENDIDOS

Checa esto:

El 19 de Octubre el Dr. Claus Siebe te platicará sobre las *Catástrofes derivadas de flujos prehispánicos e históricos en el valle sagrado de los Incas, Cusco Perú*.

El 16 de Noviembre acompaña al Dr. Luis Marín *Buscando agua para zonas marginadas de la Mixteca Baja*.

El 7 de Diciembre con el Dr. Juan Américo González conocerás a las *Ondas de choque interplanetarias: los rugidos del Sol*.

Todas las conferencias se llevarán a cabo en el Auditorio Ricardo Monges López en el 2do piso del Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria, a las 12.00hrs. Al Instituto de Geofísica puedes llegar caminando desde el metro CU. Asiste a las conferencias, te van a gustar, así que allí nos vemos.

También te queremos decir que existe el Posgrado en Ciencias de la Tierra. Puedes estudiar cosas referentes a Sismología y Vulcanología, Recursos Naturales, Paleomagnetismo y Exploración y Ciencias Espaciales y Planetarias. Si te interesa comunícate con Araceli Chamán al teléfono 56 22 41 37.

UNA OJEADA A LOS AUTORES

La Dra. Rosa María Prol estudió en la Preparatoria 4 de la UNAM, después estudió Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM, la Maestría también la hizo allí y se doctoró en Ciencias Físico-Matemáticas en el Instituto de Física de la Tierra de la Academia de Ciencias de Rusia. Es investigadora titular en el Instituto de Geofísica de la UNAM y maestra en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y en el Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM. Se dedica a estudiar la importancia de la energía térmica de la Tierra, y le puedes preguntar lo que quieras sobre este tema a su teléfono el 56 22 41 33 o a su correo electrónico: **Error! Bookmark not defined.**

La Dra. Margarita Caballero estudió en la Preparatoria 6 de la UNAM y posteriormente realizó la licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM y el doctorado en la Universidad de Hull en Inglaterra. Su interés por el cambio climático en el pasado, que es su especialidad, se generó al terminar la licenciatura. Actualmente trabaja como Investigadora en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Comunícate con ella para saber más de estas investigaciones a su teléfono el 56 22 43 47, o a su dirección electrónica: **Error! Bookmark not defined.**

LOS QUE LO HACEMOS

Geofísicas es preparado por miembros del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El Instituto se encuentra en Ciudad Universitaria y tiene una sede en Juriquilla, Querétaro. Los que formamos parte de este Instituto hemos estudiado carreras tales como Ingeniería, Ingeniería Geofísica, Geología, Física, Matemáticas, Química o Geografía.

Dra. Blanca Mendoza Ortega
Tel 56 22 41 13
blanca@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Dra. Leticia Flores Márques
Tel. 56 22 41 17
leticia@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Dr. Carlos Mortera
Tel. 56 22 41 38
carlosm@ollin.igeofcu.unam.mx

Mtro. Jaime Durazo
Tel. 56 22 41 33
durazo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Mtro. Armando Carrillo
Tel. 56 22 41 42
acvips@fis-esp.igeofcu.unam.mx

Dr. Enrique Cabral Cano
Tel. 56 22 41 17
ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Edición Técnica:
Francois Graffé Schmit
Freddy Godoy
Impreso en la Unidad de Apoyo Editorial del Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D. F. <http://www.igeofcu.unam.mx>



Geofísica
UNAM

GEOFISICOSAS

Instituto de Geofísica

<http://www.igeofcu.unam.mx>



Octubre, 2000

N° 8

¡ Hola !

En nuestro tercer número del año te platicaremos como la actividad de los volcanes no es sólo un evento destructivo, también tiene su aspecto positivo pues genera recursos naturales, para saber cómo los volcanes hacen esto tienes que leer el artículo **Actividad volcánica y recursos naturales**. Uno de los problemas científicos de moda es el del Calentamiento Global del que seguramente habrás escuchado, sin embargo no es todavía claro si en la Tierra **¿Nos estamos calentando o nos enfriamos?** lee este artículo para que te enteres de la respuesta. Y como ya es costumbre, en la última sección **UNA OJEADA A LOS AUTORES** te contamos algo sobre los articulistas y te damos sus teléfonos y correos electrónicos. La razón es que nos interesa que nos busques si quieres saber más sobre los temas que encuentres aquí. Así que léenos, comunícate con nosotros y ¡llégale a las Ciencias de la Tierra!

ACTIVIDAD VOLCANICA Y RECURSOS NATURALES ROSA MARÍA PROL LEDEZMA

La actividad volcánica sirve como mecanismo de transporte de masa y energía desde las profundidades terrestres hasta la superficie. En esa forma el volcanismo se relaciona con la generación de dos tipos de recursos: *energéticos* (geotermia) y algunos tipos de *yacimientos minerales* (depósitos de origen magmático y de origen hidrotermal).

Recursos Energéticos: El calor transportado del interior de la Tierra a las capas más superficiales o bien hasta la superficie puede ser utilizado para producción de energía eléctrica. El calentamiento de aguas subterráneas al

penetrar a profundidad hasta las cercanías de cuerpos de magma reciente o parcialmente solidificados a temperaturas altas (de 700 a más de 1000°C) produce vapor a alta temperatura y presión (de más de 200°C de temperatura y más de 20 atmósferas de presión) el cual se puede hacer pasar por turbinas y generar electricidad de la misma forma como lo hacen las plantas termo, núcleo o carbocelétricas, las cuales consumen diesel, uranio o carbón para calentar el agua y producir vapor. La ventaja de la energía geotérmica es que no produce las grandes cantidades de desechos altamente contaminantes que producen esas otras plantas, como por ejemplo los compuestos de azufre, arsénico o residuos radioactivos. Es esta una de las razones por las cuales los países que cuentan con recursos geotérmicos le han dado prioridad a su utilización, además de diversificar su uso para en lugar de producir energía eléctrica, utilizar directamente el vapor geotérmico, ya sea en la industria o para otros usos. Un ejemplo de la utilización óptima de las aguas termales se tiene en Francia y Nueva Zelanda, donde se aplica el uso en cascada, es decir se va extrayendo la energía desde los niveles más altos hasta desechar el fluido geotérmico a la temperatura ambiente. En los alrededores de París (por ejemplo en Meaux) se extrae agua a aproximadamente 80°C que se usa para calefacción, posteriormente esta misma agua se usa para invernaderos y así hasta que finalmente se le usa en albercas. De esta forma se le extrae un máximo de energía. Este tipo de uso debería implementarse en las plantas geotermoelectricas, ya que en la mayoría de los casos el agua se desecha a temperaturas de más de 140°C, lo que implica un gran desperdicio de energía.

Como ejemplo de los países con un importante grado de utilización de sus recursos geotérmicos están: Italia, Nueva

Zelanda, Estados Unidos, Japón, Islandia, Filipinas, México, Etiopía, El Salvador, Kenya y Nicaragua. México es un país rico desde el punto de vista de la geotermia, ya que por su actividad volcánica reciente, cuenta con numerosos campos geotérmicos con posibilidades de producción de energía eléctrica. Desafortunadamente la abundancia de petróleo ha evitado que se desarrolle en mayor medida la geotermia en nuestro país. Dos de los campos estudiados por la Comisión de Electricidad se encuentran produciendo ya energía eléctrica: Cerro Prieto en Baja California (650MW) y Los Azufres en Michoacán (75 MW). También se tienen los campos de Los Humeros en Puebla y La Primavera en Jalisco, los cuales están ya próximos a iniciar la producción de electricidad después de haber completado las etapas avanzadas de exploración. Además se cuenta con varios campos geotérmicos que se encuentran en diferentes etapas de los trabajos de exploración, por ejemplo: Ceberuco, Las Tres Vírgenes, Araró, Laguna Salada, etc.

Yacimientos Minerales: Los depósitos minerales económicos se forman al tenerse en una zona determinada una concentración anómala de elementos considerados importantes económicamente. En general la mayoría de estos elementos se encuentran presentes en todas las rocas, sin embargo sus concentraciones son demasiado bajas (de unos cuantos microgramos por tonelada) y con los métodos actuales de extracción no es redituable explotarlos. En este aspecto el volcanismo es importante ya que con los fenómenos asociados a éste se lleva a cabo la concentración de algunos elementos útiles. Esta concentración tiene lugar en el caso de depósitos hidrotermales por el transporte diferencial de los elementos que lleva a cabo el fluido geotérmico y en el caso

de cámaras magmáticas por la cristalización fraccionada¹ de éstas.

La depositación de yacimientos de origen magmático puede ocurrir en varias formas: por la depositación en el fondo de las cámaras magmáticas de los minerales que van cristalizando (sedimentación magmática) o por su cristalización directa en las paredes de la cámara, por la separación de líquidos magmáticos y su solidificación, por la consolidación de una roca ígnea con un mineral económico de tipo accesorio en concentraciones comerciales o bien por la cristalización global de un volumen de magma.

La sedimentación magmática depende del hecho de que los cristales que solidifican se hundan en el magma por ser más densos, siempre y cuando la viscosidad de éste sea lo suficientemente baja para permitirlo. En el caso de que el magma se mantenga estático, la sedimentación magmática provocará la formación de capas al ir cristalizando las diferentes fases, esto es especialmente visible en rocas ígneas máficas o intermedias que contienen cromita ((Mg,Fe)Cr₂O₄), magnetita (Fe₃O₄) o ilmenita (FeO.TiO₂). Yacimientos de este tipo se tienen en Bushveld (Sudáfrica) y en Stillwater (Montana, EUA).

Durante el proceso de la cristalización fraccionada, el magma residual puede separarse en varios líquidos magmáticos inmiscibles: líquido de silicatos, líquido de óxidos, líquido de sulfuros y salmuera (agua con altas concentraciones de sólidos y gases disueltos). El líquido de sulfuros se encuentra generalmente enriquecido en fierro, cobre, níquel, zinc y elementos del grupo del platino. El líquido de óxidos contiene fierro, titanio, vanadio y fósforo. El líquido de silicatos retiene fierro, magnesio, aluminio, calcio, sodio y potasio y algunas otras fases importantes en la formación de rocas. Además del líquido de silicatos, la generación de un líquido de sulfuros o de óxidos depende de la composición original del magma y un mismo magma no puede formar los dos líquidos simultáneamente. En las últimas etapas de la cristalización del magma es cuando se van a desprender los componentes más volátiles y

¹ Cristalización fraccionada: la cristalización de un volumen de magma en la que la fracción de cristales ya formados no continúan reaccionando con la fracción del magma que aún permanece fluido, para formar nuevos minerales.

minerales disueltos que dan origen a las pegmatitas y los fluidos hidrotermales del origen magmático. Se les conoce como fluidos mineralizantes y contiene elementos más móviles como: cobre, plomo, zinc, plata, oro, litio, berilio, boro, rubidio y cesio, además de cantidades importantes de sodio, potasio, cloro, y bióxido de carbono.

Además de los depósitos minerales relacionados directamente con cuerpos intrusos en los cuales la concentración de minerales útiles tiene lugar como resultado de los procesos de solidificación del magma, también existen depósitos originados por la actividad hidrotermal generada en muchos casos por la actividad hidrotermal generada en muchos casos por la presencia de rocas intrusivas a profundidades de entre 5 y 10 km. en la corteza terrestre.

Los depósitos minerales hidrotermales relacionados con actividad volcánica/magmática son de diferentes tipos: sulfuros masivos en ofiolitas, sulfuros masivos polimetálicos, pórfidos de cobre/molibdeno, depósitos epitermales de metales preciosos.

El término hidrotermal comprende de todos los fenómenos que involucran agua caliente en la corteza de la Tierra. Algunas de las zonas de actividad hidrotermal están relacionadas con centros volcánicos de actividad relativamente reciente, como ejemplos podemos citar Yellowstone, (EUA) y algunas zonas de Islandia y Nueva Zelanda. También se tiene actividad hidrotermal en algunas regiones donde no existe volcanismo reciente y las temperaturas en la profundidad de la corteza no presentan valores anómalamente altos, sino que aumentan de acuerdo con el gradiente geotérmico "normal" de 30° C/km. Como ejemplos de zonas donde se tienen manantiales relacionados con circulación profunda de aguas están las Montañas Rocallosas (EUA), los Alpes (Europa), el graben de TianShinh (China). También existen depósitos minerales relacionados con este tipo de actividad hidrotermal, como son los del tipo del Valle del Mississippi. Sin embargo aquí se presentarán sólo aquellos relacionados directamente con la actividad volcánica.

La exploración de sistemas geotérmicos para la producción de

energía eléctrica ha dado como resultado el descubrimiento de la depositación en estos minerales preciosos en concentraciones que alcanzan grados comerciales. Se ha observado que los tipos de alteración superficial presentes en los sistemas geotérmicos activos, se correlacionan con los rasgos característicos de algunos tipos de depósitos minerales hidrotermales. Los minerales originales de las rocas que albergan los sistemas geotérmicos activos se transforman como resultado de la actividad hidrotermal en minerales arcillosos y algunos otros minerales como los calcosilicatos, definiendo zonas de alteración. A estas zonas de alteración se les denomina como arcilla si contienen caolín, propilítica si contienen clorita, feldespato potásico, etc.

El proceso de formación de los depósitos minerales hidrotermales se basa en la solubilidad del Au, Ag, Cu, Pb, Zn en el fluido geotérmico bajo las condiciones prevalentes a profundidad en los sistemas geotérmicos y su posterior depositación a niveles más superficiales provocada por fenómenos que cambian bruscamente las características fisicoquímicas del fluido que causan una disminución de la solubilidad de dichos elementos, con los que son depositados en las zonas donde tienen lugar esos cambios. Como ejemplos de esos fenómenos tenemos la ebullición, la mezcla con aguas subterráneas frías o bine el enfriamiento de los fluidos al ser descargados a la superficie. Un esquema general de los patrones de depositación en sistemas hidrotermales se muestra en la figura 4.



Otro tipo de depósitos minerales importantes son los nódulos polimetálicos que han sido encontrados en el fondo oceánico. También están relacionados con actividad hidrotermal, en este caso causada por fenómenos de volcanismo marino en zonas de dispersión donde tiene lugar la formación

de corteza oceánica, como por ejemplo la Cresta del Pacífico Oriental que incluye un segmento en aguas territoriales mexicanas.

La riqueza de México respecto a este tipo de depósitos está directamente relacionada con su agitado historial tectonovolcánico en los últimos millones de años. Se cuenta en el país con depósitos de fierro, cobre, estaño, mercurio, antimonio, arsénico, bismuto, vanadio, tungsteno, molibdeno, níquel, cobalto, titanio, cromo, uranio, zinc, plomo, plata, oro, etc. De esta forma se ve que la actividad volcánica no solo trae destrucción, sino también trae asociada la generación de recursos energéticos y minerales. Esta es una razón más para desentrañar todos los secretos encerrados en el fondo de los volcanes y descubrir los mecanismos de los procesos que pueden ser de utilidad en la búsqueda de nuevos recursos.

¿NOS ESTAMOS CALENTANDO O NOS ENFRIAMOS?

MARGARITA CABALLERO MIRANDA

En la últimas décadas se ha puesto de moda hablar sobre Cambio Climático y en los periódicos y noticieros se mencionan con frecuencia el efecto invernadero y el calentamiento global, términos que parecen ser ya parte del vocabulario de casi cualquier persona. A mí lo que me queda claro es que pocos entienden realmente de que se tratan estos términos y se nota cuando escuchamos a alguien decir "cuando empezó el cambio climático", refiriéndose al inicio del siglo XX y la Revolución Industrial. Cualquier estudioso de la historia del hombre y de nuestro planeta sabe bien que el cambio climático no empezó con la Revolución Industrial, sino que ha existido durante toda, toditita la historia de la tierra: 4,500 millones de años. Si revisamos los archivos históricos encontramos innumerables evidencias de que el clima era diferente en el pasado, baste decir que en los desiertos del norte de México o en las tierras congeladas de Groenlandia florecieron culturas que subsistían de la agricultura. Allí donde hoy no crece ningún cultivo por lo extremo del clima. Estudiando los registros geológicos, encontramos muchas y mucho más dramáticas evidencias. Por ejemplo hace 20,000 años la Tierra estaba en un periodo frío conocido como

Glaciación, durante el cual había hielos permanentes (glaciares) cubriendo la cima del Ajusco, del Iztaccíhuatl, del Popocatepetl y la Malinche (por mencionar algunos) y que todo Canadá estaba totalmente congelado. ¿Entonces, qué es realmente el cambio climático, y sobre todo, qué lo causa? Para entender esto tenemos que estudiar cinco temas:

1.- La Atmósfera: La atmósfera de nuestro planeta está formado hoy día por varios gases, Nitrógeno en un 79%, Oxígeno en un 20%, Argón en un 0.9% y el resto lo forman gases menos abundantes entre los cuales destaca el bióxido de carbono (0.03%). Estos gases tienen propiedades muy especiales porque son prácticamente transparentes a la luz del Sol, esto es ¡los rayos del Sol no los calientan! Cuando los rayos solares, de alta energía (azules), llegan a la superficie de la Tierra, ésta se calienta y devuelve la energía que llegó en forma de radiación de baja energía (roja). Los gases de la atmósfera (principalmente el dióxido de carbono y el vapor de agua) se calientan con este tipo de radiación que "rebota" de la Tierra, por lo que la energía del Sol es "reciclada" antes de ser devuelta al espacio, calentando las capas bajas de la atmósfera. Esto es lo que se conoce como el efecto invernadero, que mantiene la temperatura de la atmósfera más alta de lo que lo harían simplemente los rayos del Sol. Este efecto no es ni bueno ni malo, y no es un invento reciente, ha existido en la Tierra desde que se formó y de hecho ha permitido que la vida exista. Sin este efecto la temperatura de hoy día sería mucho más fría, ¡tendríamos una Tierra congelada! Sabemos además, que ha habido épocas de la historia de la Tierra que fueron más calurosas porque había más dióxido de carbono en el aire y con ello el efecto invernadero era más marcado. Un ejemplo son el Jurásico y el Cretácico (hace más de 65 millones de años), épocas en las que vivieron los enormes dinosaurios.

2. El Interior de la Tierra: Aunque parece difícil de creer, el clima del planeta es, en gran medida regulado por lo que sucede en el interior de la Tierra. ¿Cómo? Allí te va. La mayor parte del bióxido de carbono que hay en la atmósfera, que ya vimos que controla la temperatura de la Tierra por el efecto invernadero, proviene de la actividad volcánica. De esta manera, cuando hay épocas en las que la actividad del interior de la Tierra es mayor, hay

más volcanismo y también hay más dióxido de carbono en el aire, ¡Tenemos una Tierra más caliente! Por otro lado, la actividad del interior de la Tierra lleva como consecuencia que los continentes cambien su lugar con el tiempo, esto es un factor que regula el clima porque si no hay continente cercano a los polos, no se puede formar un casquete polar y por lo tanto los climas tienden a ser menos fríos. Si por el contrario, tenemos continentes en las dos zonas polares (hoy sólo hay continente en el polo sur), hay una tendencia hacia climas más fríos.

3. El Océano: Un factor importantísimo que regula el clima de la Tierra es el océano. El océano es un depósito inmenso no sólo de agua; disueltas en el agua pueden quedar atrapadas muchas sustancias, entre las que está por supuesto, el dióxido de carbono. Si la forma y tamaño de los océanos cambia (por cambios en la distribución de los continentes, por ejemplo) o si el agua del mar cambia de temperatura, la cantidad de bióxido de carbono que puede estar disuelto en el océano cambia. El océano puede retener o liberar cantidades enormes de este gas, regulando de esta forma el clima.

4. Los seres Vivos: La vida en la Tierra es un factor importante en controlar lo que sucede con el clima ¿Por qué? Bueno, pues es fácil, los seres vivos pueden atrapar grandes cantidades de bióxido de carbono y retirarlo de la atmósfera. Esto sucede de dos formas principales, atrapando el dióxido de carbono en sus propios cuerpos a través de la fotosíntesis o atrapándolo en sus conchas como lo hacen los caracoles, almejas, ostiones, etc. De igual manera, cuando desaparecen grandes cantidades de seres vivos, se libera dióxido de carbono al aire, por lo que se favorecen climas más cálidos. Esto sucede por ejemplo, cuando se talan de manera immoderada los bosques.

5. Los Ciclos de Milankovitch: Hay finalmente otro factor que controla el clima, y que es totalmente "extraterrestre" ¿A qué me refiero? Pues verás, los movimientos de la Tierra en el espacio están gobernados por la presencia de los grandes planetas y del Sol. La fuerza de gravedad de estos cuerpos deforma los movimientos de la Tierra: rotación (giro sobre su eje) y traslación (órbita alrededor del Sol) generando tres fluctuaciones cíclicas que se conocen como Ciclos de