

muestras colectadas en campo son analizadas con diferentes fines, por ejemplo un kilogramo aproximadamente de muestra suelta se utiliza para estudiar la variación en las dimensiones de las partículas con la distancia del volcán. Otras muestras son enviadas a otros laboratorios especializados para ser analizadas, lo que implica un tiempo de espera. Para el estudio completo de un volcán se requieren diversas salidas de campo de varias semanas en donde se trata de visitar todos los lugares alrededor del volcán, en algunos sitios dada su lejanía y limitado acceso es necesario ubicar campamento a donde se requiere llevar las provisiones más elementales como alimentos, agua, etc.

Una vez que se logra comprender la historia eruptiva de un volcán se puede construir un mapa de peligros volcánicos. Los mapas de peligros volcánicos plasman las zonas que podrían ser afectadas en caso de una erupción futura. Estos mapas son de gran utilidad para las autoridades de protección civil dado que en ellos se pueden localizar las zonas que podrían estar a salvo en caso de una erupción. Asimismo, son esenciales para la ubicación de albergues y el trazado de las posibles rutas de evacuación

Retos para el futuro

Nuestro país es un país netamente volcánico, más del 40% de nuestra población vive en la actualidad cerca de un volcán activo o extinto. A pesar de esto, un gran número de personas no sabe que viven a un costado de un volcán; esto se debe a que los suelos volcánicos son muy fértiles y útiles para la agricultura. Esto quiere decir que cada vez más personas se situarán en los alrededores de un volcán.

En el futuro se requerirá de un conocimiento más completo de nuestros volcanes activos y extintos, por lo que se debe de impulsar la creación de recursos humanos en Ciencias de la Tierra en nuestro país, así como de personal especializado en vulcanología.

El reto futuro será el combinar nuestros estudios volcánicos con una adecuada planeación de uso de suelo y ubicación de futuros asentamientos

humanos fuera del alcance de erupciones volcánicas.

PARA LOS MAS PRENDIDOS

Checa estas pláticas:

El 12 de Julio el Dr. Jaime Urrutia y el Mtro. Pedro Vera te platicarán sobre *Los impactos meteoríticos*.

El 23 de Agosto la Dra. Ana Ma. Soler te invitará a que la escuches en *De brújulas, comales e incendios*.

En Septiembre 13 el Dr. Javier Pacheco te contará sobre *Los grandes sismos del Siglo XX*.

Estas conferencias se llevan a cabo los jueves a las 12.00 hrs en el Auditorio Monges López en el 2o piso del Instituto de Geofísica. El Instituto está a 5 minutos caminando de la estación Ciudad Universitaria del metro. Seguramente te gustarán las pláticas, así que aquí nos vemos.

UNA OJEADA A LOS AUTORES

La Mtra Ma. Guadalupe Cordero nos cuenta: estudié el bachillerato en el Colegio de Ciencias y Humanidades (Azcapotzalco), después entré a la Facultad de Ciencias para estudiar la carrera de Física. Inicialmente mi intención era la de dedicarme a la Física Experimental, pero a principios del tercer semestre de la carrera, acompañé por casualidad a una amiga a inscribirse a un curso de Astronomía y al final de la clase decidí inscribirme también, fue en este curso donde aprendí lo maravilloso que es el universo en general y los planetas en particular. Cuando terminé la carrera de Física decidí estudiar los planetas por lo que entré al posgrado en Ciencias de la Tierra en el área de Física Espacial. Actualmente trabajo en mi tesis doctoral con la que intento contribuir a la solución del problema del origen de las bandas en el satélite Europa. A la Mtra. Cordero la puedes localizar en el tel. 56 22 41 13 o en cu correo electrónico: cordero@nahuiollin.igeofcu.unam.mx

El Dr. José Luis Macías Vázquez estudió Ingeniería Geológica en el IPN, obtuvo su doctorado en 1994, el 1 de junio del mismo año se incorporó al Departamento de Sismología y Vulcanología del Instituto de Geofísica de la UNAM mediante el programa de repatriación del CONACyT. Actualmente es investigador titular "A" definitivo de tiempo completo, docente del posgrado en Ciencias de la Tierra y jefe del Departamento de Vulcanología. Te puedes comunicar con él al tel. 56 22 41 24 o a su correo electrónico: macias@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

LOS QUE LO HACEMOS

Geofisicosas 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. Ofelia Morton Bermea
Tel. 56 22 81 27
omorton@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

Edición Técnica:

Enrique Cabral Cano
François Graffé Schmit
Freddy Godoy Olmedo
Impreso en la Unidad de Apoyo Editorial del Instituto de Geofísica, UNAM.



Geofísica
UNAM

GEOFISICOSAS

Instituto de Geofísica

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



Junio, 2001

Nº11

¡ Hola !

Ya es el segundo número de este año ¿Y sabes qué? *Europa* no es sólo el nombre de un continente, también se llama así una luna del planeta Júpiter; si quieres conocer más sobre ella, lee nuestro primer artículo. México es tierra de volcanes, por eso es muy importante estudiarlos desde varios puntos de vista, en particular se llevan a cabo *Estudios geológicos aplicados al conocimiento de nuestros volcanes activos*, de modo que lee este artículo para que te enteres mejor. En la sección *PARA LOS MAS PRENDIDOS* te tenemos un calendario de pláticas interesantísimas sobre las Ciencias de la Tierra. 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!

EL SATÉLITE EUROPA

Guadalupe Cordero

Nuestra historia comienza la noche del 7 de enero de 1910. Hacia poco, Galileo había conseguido construir un telescopio que, usando sus propias palabras, era "tan excelente que las cosas con él vistas parecen casi mil veces mayores y más de treinta veces más próximas que si se observasen con la sola facultad natural". Esa noche, Galileo se encontraba explorando el cielo nocturno cuando de pronto apareció en su campo de visión el planeta Júpiter; lo que llamó fuertemente su atención de esta aparición no fue el

planeta en sí, sino tres pequeñas estrellitas cercanas a él cuya particularidad era estar alineadas en una dirección paralela a la eclíptica (plano que contiene la órbita terrestre). Al principio, Galileo pensó que estas estrellitas pertenecían al grupo de las estrellas fijas, pero al observar la misma región la noche siguiente, se dio cuenta que la posición de las estrellas respecto a Júpiter había cambiado. Lo primero que se le ocurrió fue que Júpiter se había movido y había cambiado su posición con la de dichas estrellas, pero observaciones de noches posteriores le hicieron concluir que las tres estrellitas que había observado, más una cuarta que apareció el 13 de enero, no eran otra cosa que satélites de Júpiter. Galileo bautizó a estos cuerpos con el nombre de Astros Médiceos en honor a su benefactor Cosme II de Médicis, IV gran duque de Toscana. Galileo hizo la primera defensa pública de la doctrina Copernicana basado en estas observaciones. Casi al mismo tiempo, el astrónomo alemán Marius (Simon Mayer) descubrió los satélites de Júpiter y, por sugerencia de Kepler, los bautizó con los nombres con los que los conocemos actualmente: Io, Europa, Ganímedes y Calixto. En conjunto, a estos satélites se les conoce como satélites Galileanos.

Desde entonces, los satélites Galileanos han seguido siendo estudiados por medio de telescopios entre los que se encuentra el telescopio espacial Hubble. Dos resultados importantes de estas observaciones es la existencia de una atmósfera tenue en Ganímedes y el hecho de que Europa, Ganímedes y Calixto tienen superficies compuestas principalmente por hielo de agua.

Las primeras observaciones cercanas de los satélites Galileanos las realizaron las

naves Pionero 10 y Pionero 11 en 1973 y 1974, respectivamente. Debido a la poca resolución de las imágenes obtenidas por dichas naves no fue posible hacer mapas de estos satélites. Las siguientes en visitar el sistema joviano fueron las naves espaciales Viajero 1 y Viajero 2 en 1979. En esa ocasión fue posible obtener mapas de los satélites, aunque Europa fue el menos favorecido pues, sólo se consiguieron en general imágenes de una resolución pobre. A pesar de estos inconvenientes, fue claro que la superficie de Europa estaba caracterizada por una serie de *lineamientos* o bandas que formaban una intrincada red de montañas (dorsales) en todo el satélite.

La misión *Galileo* se ideó para dar seguimiento al estudio de Júpiter y sus satélites. A diferencia de los Pioneros y los Viajeros que sólo "estuvieron de pasada" por el sistema joviano, la misión original de la nave Galileo era dar 11 vueltas alrededor de Júpiter y sus satélites para obtener mapas detallados de los satélites, estudiar la atmósfera y el dominio magnético de Júpiter y responder a preguntas fundamentales sobre la composición, origen y evolución del sistema joviano. Gracias a los resultados tan fructíferos obtenidos por la misión Galileo, su presupuesto original se ha extendido un par de veces al grado de aumentar las 11 órbitas originales a 30; de hecho, la nave Galileo se encuentra actualmente realizando su órbita 30 en la que se espera tenga un acercamiento con Calixto el próximo 25 de mayo.

El estudio de la geología del satélite Europa ha tenido un gran impulso gracias a las imágenes de alta resolución obtenidas por la cámara que va a bordo de la nave Galileo. Estas imágenes han permitido

ampliar y enriquecer los resultados obtenidos por las misiones anteriores. En los párrafos siguientes vamos a platicar un poco sobre este fascinante satélite con base en los resultados obtenidos del análisis de dichas imágenes.

Europa ocupa el segundo lugar de los satélites Galileanos por su distancia a Júpiter. Tiene un radio de 1569 km, una masa de 4.8×10^{22} kg, un periodo de rotación (igual al su periodo de traslación u orbital) de 3.55 días, una aceleración de la gravedad de 1.35 m/s^2 y una temperatura media de 100 K. Comparativamente Europa es sólo un poco menor en tamaño y masa que la Luna y se piensa que su interior puede estar formado por tres capas: un núcleo metálico formado por una mezcla de hierro y azufre que se extiende desde el centro del satélite hasta aproximadamente 0.4 radios europeos; un manto de silicatos y finalmente una corteza de agua de 80 a 200 km de espesor. La parte más externa de esta corteza, aproximadamente 15 km, es hielo de agua y se piensa que el resto puede estar en estado líquido o bien ser una especie de aguanieve. En la Figura 1 se observa una foto de la superficie de Europa, tomada por la nave Galileo, donde se ven claramente los *lineamientos*.

La superficie de Europa presenta estructuras muy interesantes con nombres raros entre las que se encuentran los *lineamientos* o *bandas*, la *lentícula* y el *caos*. En la Figura 2 puedes ver los lineamientos y el caos. La característica más sobresaliente de Europa son los lineamientos que cubren gran parte de su superficie; estos lineamientos se pueden dividir en fracturas, dorsales, dorsales dobles, bandas triples, bandas complejas y cuñas. Los geólogos planetarios piensan que todas las estructuras anteriores, a excepción de las cuñas, representan distintos estados de evolución de un mismo proceso que empieza con la formación de fracturas y termina con las bandas complejas siguiendo el orden en que se listaron. Los lineamientos no están distribuidos azarosamente; se ha observado que los lineamientos más jóvenes tienen una dirección noroeste-sureste, los lineamientos de mediana edad tienen una dirección este-oeste mientras que los

lineamientos viejos siguen una dirección noreste-suroeste. La atracción gravitacional de Júpiter sobre Europa ocasiona que el satélite se deforme. Al deformarse, las rocas que lo componen se mueven unas respecto a otras rozándose, por lo que se produce un calentamiento del interior del satélite conocido como calentamiento de marea. Además del calentamiento, la deformación produce en la corteza de Europa una serie de esfuerzos que forman las fracturas originales a partir de las cuales se desarrollan las bandas. Una vez formadas las fracturas, el mecanismo que da origen a las dorsales y a lineamientos más complejos está aún en debate. Algunas personas piensan que las dorsales dobles se producen por un volcanismo explosivo, otras que el agua que hay debajo de la corteza de hielo asciende al formarse la fractura y tras congelarse es expulsada al cerrarse la fractura debido a un cambio de esfuerzos. Otros geólogos planetarios piensan que estos lineamientos se deben a la deformación de la corteza por el ascenso de material "caliente". Recientemente, en las investigaciones que nuestro grupo lleva a cabo, hemos mostrado algunas evidencias que sugieren que el mecanismo de formación de las bandas podría ser este último. Actualmente se piensa que las cuñas se formaron por un proceso parecido a la formación de corteza oceánica en la Tierra, es decir, dos placas se separan y emerge material nuevo que llena el espacio vacío.

La lentícula la compone una serie de pozos elípticos, manchas oscuras y domos de entre 7 y 15 km de diámetro separados entre sí de 5 a 20 km. Se ha sugerido que estas estructuras pueden originarse por diapiros. Un diapiro es una porción de masa, que por tener una temperatura mayor al material que lo rodea es menos denso, por lo que asciende y deforma la corteza que atraviesa; algunas veces el material puede incluso perforar la corteza y emplazarse en la superficie.

Caos son regiones de forma irregular de decenas a cientos de kilómetros de diámetro formadas por la destrucción de planicies preexistentes. Estas zonas semejan un gran rompecabezas en el que cada pieza formó parte de las planicies

preexistentes y la cual ha sido rotada, inclinada y trasladada. La forma en que estas piezas se han movido sugiere la existencia de agua en estado líquido debajo de la corteza de hielo del satélite. Algunos científicos piensan que las zonas de caos se forman con el crecimiento de la lentícula.

Los cráteres de impacto son una medida de la edad relativa de un área en un planeta o satélite respecto a otra área del mismo cuerpo. Grosso modo, mientras más alta es la densidad de cráteres de impacto en una zona, mayor será su edad. Si se hacen ciertas consideraciones sobre el flujo de impactos, es posible tener una idea de la edad absoluta de un cuerpo. En particular se ha encontrado que la superficie de Europa tiene una edad de entre 10 millones y 100 millones de años. Durante este tiempo se formaron primero las planicies en Europa, posteriormente las bandas y las cuñas y finalmente el caos y la lentícula.

Todos los modelos de formación de bandas, así como de caos y lentícula suponen la existencia de un océano de agua líquida bajo la corteza de hielo de Europa o bien la existencia de aguanieve. Hace algunos meses, la nave Galileo detectó un campo magnético en las cercanías de Europa. Se llegó a la conclusión de que éste es un campo inducido por el campo magnético de Júpiter. Para que esto ocurra es necesario que debajo de la corteza de hielo haya un medio conductor; este medio sólo puede ser agua líquida, pues el hielo no es un buen conductor. Este descubrimiento, junto con el hallazgo de moléculas de hidrocarburos en la superficie de Europa y el hecho de que el satélite posee una fuente de energía producida por las fuerzas de marea con Júpiter, proporcionan los tres elementos básicos para la vida: agua, moléculas orgánicas y energía.

Es posible que en el 2003 la NASA envíe un orbitador alrededor de Europa con el fin de determinar con certeza la existencia de agua líquida bajo la corteza de hielo. Quién sabe... quizás Europa nos ayude a contestar parte de algunas de las grandes interrogantes del ser humano: ¿de dónde venimos?, ¿el proceso que nos

formó es común en el universo o en realidad somos únicos? A final de cuentas, lo realmente importante es no dejar de buscar.

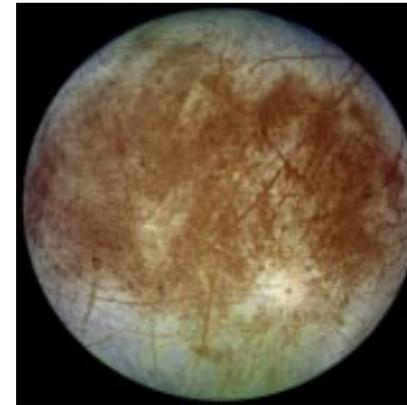


Figura 1. El satélite Europa

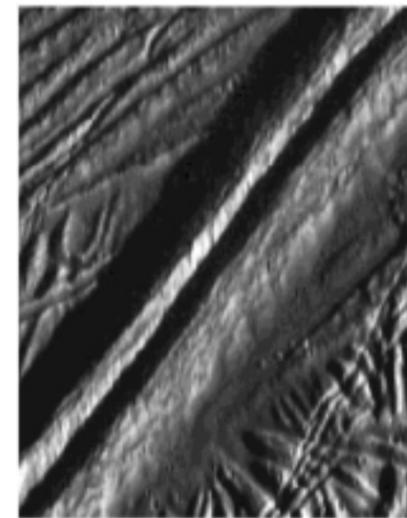


Figura 2 a. Los lineamientos.

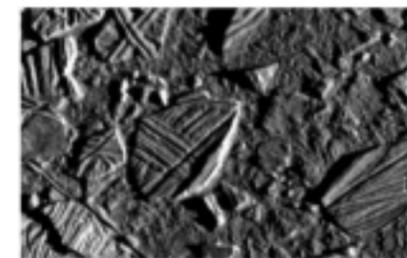


Figura 2b. El caos.

ESTUDIOS GEOLOGICOS APLICADOS AL CONOCIMIENTO DE NUESTROS VOLCANES ACTIVOS

José Luis Macías

La superficie de nuestro país se encuentra densamente poblada por volcanes; en su gran mayoría estos volcanes está apagados o extintos. Sin embargo, existe una docena de éstos que presentan algún tipo de actividad volcánica como fumarolas, manantiales termales o inclusive arrojan material incandescente en forma de lava; los volcanes Popocatepetl y Colima son un ejemplo de esto último. Para el estudio de estos volcanes activos se echa mano de una gran variedad de técnicas y métodos, entre otros: métodos geofísicos (sismología, gravimetría, etc.), geológicos (cartografía, estratigrafía, petrología, etc.), geoquímicos (análisis de aguas termales, gases), sensores remotos, Sistemas de Información Geográfica, etc. Mi preparación profesional como geólogo me ha permitido dedicarme al estudio de volcanes activos y lo más importante, participar en los estudios de varios de nuestros volcanes durante sus épocas de crisis.

Los estudios geológicos de nuestros volcanes activos representan una herramienta muy útil para desenmarañar la historia eruptiva de un volcán que frecuentemente es muy compleja. La historia eruptiva de un volcán puede abarcar cientos de miles de años e inclusive millones de años, y continuar en tiempos históricos y hasta nuestros días. El descifrar la historia eruptiva de un volcán implica determinar cuántas veces ha hecho erupción en el pasado y en qué fecha, el tipo de erupciones que ha tenido, y su magnitud, así como las áreas que han sido afectadas.

La historia eruptiva de un volcán equivaldría al historial clínico que el médico hace sobre un paciente determinado. En otras palabras, el médico sabe con certeza que el paciente se ha enfermado anualmente de gripe, que ha tenido dos operaciones, que sufre esporádicamente de insomnio, etc. En un volcán necesitamos conocer con el mayor detalle posible las particularidades de su

vida. Como un ejemplo de la historia eruptiva de un volcán descifrada por métodos geofísicos e históricos, a continuación se resume la historia eruptiva del volcán Popocatepetl:

El análisis de la historia geológica del Popocatepetl y de los datos registrados en reportes históricos indica que el volcán ha tenido tres tipos principales de erupciones: a) Eventos de gran magnitud, b) Eventos de magnitud intermedia, y c) Eventos de menor magnitud. Estos últimos se conocen por los reportes históricos y consisten en la emisión de ceniza y gases, mismos que no dejan un registro claro de depósitos alrededor del volcán. De acuerdo con el registro geológico durante los últimos 23 000 años el Popocatepetl ha sufrido al menos 8 erupciones cataclísmicas, las cuales ocurrieron hace aproximadamente 14 000, 11 000, 9000, 7000, 5000, 2300, 1800 y 1100 años antes del presente. De estos estudios hemos llegado a concluir que el Popocatepetl es un volcán de tipo "pliniano". Las erupciones plinianas derivan su nombre de Plinio, el Joven, quien en el año 79 d.C. observó la erupción del Volcán Vesubio en Italia. Esta clase de erupción forma una columna eruptiva vertical (fragmentos de pómez, rocas, vapor de agua y gases volcánicos), la cual inicialmente asciende debido al lanzamiento de material volcánico a altas velocidades y temperaturas desde el cráter. Este material continúa ascendiendo debido a su alta temperatura y baja densidad. Al expandirse, enfriarse y mezclarse con la atmósfera circundante, el material alcanza la misma densidad que la del aire, por lo que puede extenderse lateralmente en dirección de los vientos dominantes alcanzando enormes distancias.

Los estudios geológicos implican intensas campañas de trabajo de campo en las faldas de los volcanes y aun en sitios alejados. En estas campañas de trabajo de campo se realizan descripciones detalladas de los materiales arrojados por el volcán que incluyen espesor de las capas de material (depósitos), descripción de los componentes que generalmente incluyen pedazos de pómez (piedra pómez), escoria (tezontle), pedazos de roca del cráter, etc. Frecuentemente las