

¡HOLA!

EN ESTE NÚMERO TE PRESENTAMOS DOS ARTÍCULOS QUE ESPERAMOS TE GUSTEN.

-EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO VISTA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INTERFEROMETRÍA DE RADAR DE APERTURA SINTÉTICA.

-EL SOL Y SU INTERACCIÓN CON LA TIERRA.



INSTITUTO DE GEOFÍSICA,
CIUDAD UNIVERSITARIA, CIRCUITO EXTERIOR,
DELEGACIÓN COYOACÁN
C. P. 04510 TEL. 56 22 41 15

www.geofisica.unam.mx



Num. 22, Enero 2005

charlas de divulgación

- ENERO 20.....“Las Erupciones Volcánicas y su Impacto Ambiental.”**
JOSE LUIS MACÍAS
- FEBRERO 10.... “Los Rayos Cósmicos Explorando la Heliosfera.”**
ROGELIO CABALLERO
- MARZO 10..... “Sistemas Hidrotermales y el Origen de la Vida.”**
ROSA MARIA PROL
- ABRIL 14..... “Los Sismos en México: Mitos y Realidades”**
CARLOS VALDES

videocine 2005 *La Unidad de Educación Continua y a Distancia en Ciencias de la Tierra le invita a las proyecciones que se llevarán a cabo los viernes a las 13:00 hrs. en el Auditorio Tlayolotl en el Edificio Anexo del Instituto de Geofísica de la UNAM, en Ciudad Universitaria (Entrada Libre)*

- ENERO 14.....“ El Mundo del Neanderthal”.**
- ENERO 28.....“Cielo e Infierno de la serie Cosmos”.**
- FEBRERO 11.....“ Paseo por el Gran Cañón, Yosemite, Serengeti y el Sahara”.**
- FEBRERO 25..... “ LA GUIA MAXIMO T-REX”.**
- MARZO 11..... “LA ASOMBROSA TIERRA, PASADO CATASTRÓFICO”.**
- MARZO 25.....“LA ASOMBROSA TIERRA, PRESENTE VIOLENTO”.**

INSTITUTO DE GEOFÍSICA CIUDAD UNIVERSITARIA.
AUDITORIO TLAYOLOTL 12:00hrs. (Entrada Libre)

un vistazo a los autores

Enrique Cabral Cano estudió en la Escuela Nacional Preparatoria (UNAM) Plantel Num. 6 “Antonio Caso”. Después concluyó sus estudios superiores como Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Posteriormente realizó su doctorado en Geología y Geofísica Marina en la Universidad de Miami. En 1996 se reincorporó al Instituto de Geofísica de la UNAM, al Departamento de Geomagnetismo y Exploración y se ha especializado en la aplicación de Sistemas Remotos Aplicados en la Exploración Geológica y Evaluación de Peligros Naturales. Actualmente es responsable del CARDI (Laboratorio de Cartografía Digital). Puedes contactarlo por correo electrónico a: ecabral@igeofcu.mx

Xochitl Blanco Cano estudió la preparatoria en el Centro Escolar Hermanos Revueltas. Continuó la carrera de Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Posteriormente realizó su doctorado en la Universidad de Londres, en Astrofísica especializándose en Plasmas Espaciales. En 1996 regresó al Instituto de Geofísica al departamento de Física Espacial, donde realiza estudios sobre Plasmas Espaciales, la Interacción del Viento Solar y los Planetas, la Magnetosfera de los Planetas Jovianos, entre otros. Actualmente aparte de colaborar con el Instituto de Geofísica imparte clases en la Facultad de Ciencias y en el Posgrado en Ciencias de la Tierra. Puedes contactarla en: xbc@igeofcu.unam.mx

los que lo hacemos

EDICIÓN
Dra. Margarita Caballero Miranda
Tel. 56 22 43 33
maga@geofisica.unam.mx

Dra. Ana Ma. Soler
Tel. 56 22 42 34
anesoler@geofisica.unam.mx

Impreso en la Unidad de Apoyo Editorial del Instituto de Geofísica, UNAM

DISEÑO
Alberto Centeno Cortés

EDICIÓN TÉCNICA
Francois Graffé Schmit
Freddy Godoy Olmedo

DISTRIBUCIÓN
Aida Sáenz

El Hundimiento de la Ciudad de México vista desde la perspectiva de la Interferometría de Radar de Apertura Sintética y El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Enrique Cabral Cano

Las características geográficas de la Cuenca de México afectan en forma directa la calidad de vida de su población. Entre otros, la calidad del aire, el suministro de agua y el propio desarrollo urbano se ven condicionados por el relieve y naturaleza del suelo, además de existir otros potenciales riesgos naturales como son los sismos y erupciones volcánicas. En ciertos casos la extracción de agua subterránea para el consumo de su población se presenta acompañado de la compactación del suelo con alto contenido de arcillas y el desarrollo de fracturas y fallas lo cual genera subsidencia o hundimiento acelerado del subsuelo.

La ciudad de México, parte de la cual está construida sobre depósitos de origen lacustre con alto contenido de arcillas de edad Cuaternaria, experimenta desde finales del siglo XIX hundimientos diferenciales que en ocasiones llegan a ser de grandes magnitudes y de altísimos costos para la operación diaria de la ciudad. El problema de subsidencia es parte de la vida cotidiana de sus habitantes. Monumentos y edificios públicos como El Ángel de la Independencia o el Palacio de Bellas Artes son claros ejemplos de estructuras que sufren las consecuencias del hundimiento diferencial. En los sectores de la ciudad donde las tasas de subsidencia son altas, es común que las viviendas presenten daños estructurales notorios que representan un riesgo para sus habitantes. A lo largo de varias décadas se han utilizado técnicas topográficas convencionales para medir los procesos de subsidencia. Estos métodos tienen la desventaja de brindar sólo información puntual del momento y lugar donde se realiza la medición. Se necesitarían numerosas observaciones simultáneas para poder describir el proceso regional, pero esto es poco viable por ser excesivamente costoso. Esta limitación impide realizar un monitoreo continuo de toda la zona afectada con estas técnicas convencionales. Sin embargo, este obstáculo puede ser superado utilizando tecnología de sensores remotos.

En los últimos meses el Instituto de Geofísica ha iniciado un programa de estudios sobre la naturaleza del fallamiento y fracturamiento en la Ciudad de México, particularmente en zonas en donde este fracturamiento ha causado daños en casas, vialidades y edificios públicos, utilizando datos provenientes de satélites y complementada con mediciones en estaciones permanentes del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) localizadas en diversas partes de la ciudad. Mediante estas acciones se incrementa de manera notable el conocimiento de la magnitud y extensión de este riesgo geológico para la población.

La imagen de una porción de la Cuenca de México que se presenta en la figura (fig. 1) es una muestra de los interferogramas generados en el Laboratorio de Cartografía Digital del Instituto de Geofísica. Este interferograma muestra un mapa continuo de subsidencia en el que se aprecia gráficamente la velocidad diferencial de asentamiento de la zona metropolitana de la ciudad de México, debido principalmente a la extracción de agua subterránea. La mayor subsidencia se detecta en el área de Cd. Nezahualcóyotl donde se observa una tasa de subsidencia anual de aproximadamente 380 mm/año. Por otra parte, el centro histórico de la ciudad que durante la década de los 50's llegó a tener una subsidencia cercana a los 400 mm/años, muestra una tasa de hundimiento cercana a los 125 mm/año. En contraste, la zona poniente el área metropolitana no muestra un movimiento significativo. Estos resultados, aunados a la gran coherencia de las imágenes en la zona urbana a lo largo de varios meses, indican que la técnica de InSAR es un método viable para mantener una estrecha vigilancia de los procesos de subsidencia en las zonas urbanas.



Fig. 1 Imagen de la Cuenca de México, mostrando la zona de mayor hundimiento al este de la ciudad.

El Sol y su interacción con la Tierra

Xochitl Blanco Cano

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y como todos sabemos, es de gran importancia para la vida en nuestro planeta, ya que nos provee de luz y calor continuamente. Además, su atracción gravitacional mantiene a los planetas del Sistema Solar en sus órbitas. El Sol tiene aproximadamente 4500 millones de años y se encuentra a 150×10^6 km de la Tierra. Su masa constituye el 99.86% de la masa del sistema solar y está formado principalmente por hidrógeno y helio. El Sol es muy caliente, en la fotosfera o “superficie” la temperatura es de 6 mil grados y en el núcleo el gas está a casi 16 millones de grados. Debido a estas altas temperaturas, todo el gas en el Sol está ionizado, esto es, está separado en iones y electrones, por lo que nuestra estrella se encuentra en estado de plasma. Debido a que los iones y electrones son partículas con carga eléctrica, un material en estado de plasma se genera con los campos eléctricos y magnéticos y su comportamiento es muy diferente al de un gas de átomos o moléculas neutras. Es por esto que para entender el comportamiento del Sol y su interacción con los planetas, debemos también estudiar su campo magnético.

El interior del Sol está formado por tres regiones llamadas núcleo, zona radiativa y zona convectiva. En el núcleo, la presión es de más de mil millones de veces la presión de la atmósfera de la Tierra, la densidad es de unas 160 veces la del agua y la temperatura es de cerca de 16 millones de grados. Estas condiciones son adecuadas para sostener reacciones termonucleares de fusión en las que núcleos de átomos de hidrógeno se funden para formar núcleos de helio. En el proceso se pierde masa que se convierte en energía. La energía total que radía el Sol cada segundo equivale a la generada por la explosión de 100×10^9 toneladas de TNT. Desde la frontera del núcleo hacia afuera, la temperatura disminuye desde 8 millones a solo 7 mil grados en el tope de la zona convectiva y la densidad decrece de 1.6×10^5 kg/m³ a un valor de solamente 8×10^{-5} kg/m³. La “superficie” del Sol se conoce como la fotosfera y es solo la delgada capa de 500 km en el tope de la zona convectiva de la que finalmente puede escapar la mayor parte de la radiación solar. En esta capa aparecen regiones oscuras llamadas manchas solares. El número y tamaño de estas manchas solares varían cíclicamente al igual que otras manifestaciones de la llamada actividad solar. En época de actividad máxima puede haber más de 200 manchas. El Sol pasa de épocas de gran actividad a épocas muy quietas, siguiendo un ciclo de aproximadamente 11 años. Las variaciones en la actividad solar se deben a cambios en la configuración del campo magnético solar. Cuando el campo se reconfigura pueden ocurrir grandes explosiones llamadas ráfagas que arrojan partículas muy energéticas al medio interplanetario.

Arriba de la fotosfera se encuentra la cromosfera que se puede ver brevemente durante los eclipses totales, como una banda rojiza alrededor del Sol. En la parte baja de la cromosfera el Sol alcanza su mínima temperatura de unos 4200 °K, pero después vuelve a subir rápidamente hasta unos 50 000 °K, mientras la densidad cae hasta ser 100 000 veces menor que la de la fotosfera. A una altura de unos 8 000 km, la temperatura alcanza 1 millón de grados y ahí se inicia la última capa de la atmósfera solar, la corona. Esta capa, cuya temperatura sigue aumentando desde su base hasta alcanzar varios millones de grados, se extiende por todo el espacio interplanetario constituyendo el llamado viento solar. El viento solar es un plasma que se expande con velocidades de más de 300 km/s, tiene una densidad muy baja, de tan solo 10 partículas por cm³ a la altura de la órbita de la Tierra y trae consigo al campo magnético del Sol. En la corona también se originan grandes nubes de plasma llamadas eyecciones de masa coronal. Estas

eyecciones transportan millones de toneladas de material y salen del Sol con velocidades de hasta 1600 km/s.

Durante su recorrido por el sistema solar el viento solar interactúa con los planetas, asteroides, lunas y cometas. La velocidad con que se propaga este viento es tan alta, que supera la velocidad de las ondas que se transmiten en él. Esto hace que cuando el viento solar encuentra un obstáculo en su camino, tal como el campo magnético de la Tierra, se generen ondas en el plasma que tratan de propagarse en todas direcciones. Las ondas que tratan de propagarse hacia el Sol no pueden hacerlo, sino que son arrastradas por el viento mismo y se genera una región de transición conocida con el nombre de onda de choque, en donde las propiedades del plasma cambian bruscamente (ver Figura). Esta onda de choque es similar al efecto de choque de proa que se observa delante de un barco, debido a que éste viaja con una velocidad mayor a la de las ondas en el agua. El viento solar que atraviesa el choque es calentado, comprimido, y desacelerado llenando una región conocida como magnetofunda. La interacción de este viento chocado con el campo magnético dipolar de la Tierra forma una coraza magnética llamada magnetosfera. Esto ocurre porque el viento solar tiene una conductividad eléctrica muy alta y no acepta la penetración de un campo magnético externo (propiedad bien conocida de los buenos conductores eléctricos). En estas circunstancias, el campo magnético terrestre es barrido del medio interplanetario y comprimido hacia el planeta por el lado que da al Sol, el lado día. En el lado opuesto, el lado noche, las líneas de campo se estiran alejándose del Sol, formando una cola como la de los cometas (ver figura).

La magnetosfera terrestre está delimitada por una frontera llamada magnetopausa que separa al viento solar del campo magnético planetario. Esta cavidad protege a nuestro planeta de la llegada directa de partículas solares, por lo que dentro de ella la mayor parte del material proviene de la ionosfera (capa superior de la atmósfera terrestre). La magnetopausa del lado día se encuentra en promedio a unos 10 radios terrestres (1 radio terrestre = 6 400 km). Sin embargo, la llegada de una eyección de masa coronal puede comprimir a la magnetosfera acercando hasta a $5 R_T$.

El interior de la magnetosfera está dividido en varias regiones. Así tenemos a la plasmaesfera que es la porción del plasma magnetosférico que rota con la Tierra; en el interior de ella a los cinturones de Van Allen y una hoja de plasma u hoja neutra que separa en dos partes a la cola magnetosférica; en una de estas regiones las líneas de campo magnético se dirigen hacia la Tierra, mientras que en la otra se alejan de ella. Según las observaciones con sondas espaciales, la cola magnetosférica de la Tierra se extiende a más de 1 000 y posiblemente hasta $2\,000 R_T$. Toda la magnetosfera se encuentra llena de plasma, principalmente de origen ionosférico, aunque en ocasiones se cuela en ciertas regiones de ella el plasma de origen solar.

La magnetosfera es una región muy dinámica que sufre repetidas alteraciones provocadas por la actividad del Sol, el cual como mencionamos anteriormente, alterna periodos de calma y de actividad. Bajo ciertas condiciones las eyecciones de masa coronal pueden perturbar fuertemente a la magnetosfera y a todo el entorno geomagnético. Las alteraciones globales más intensas de la magnetosfera son las tormentas geomagnéticas y un buen número de manifestaciones diversas, incluyendo las auroras, evidencian la fuerte interacción en los distintos entornos de plasma que rodean a la Tierra. Durante una tormenta magnética intensa, los aparatos, tanto de navegación como de exploración, que se orientan con el campo geomagnético dejan de ser de utilidad

y las variaciones del campo magnético inducen corrientes eléctricas en toda la atmósfera e incluso en el subsuelo. El calor disipado por estas corrientes puede producir daños cuantiosos en instalaciones eléctricas y estructuras metálicas. El estudio de todas las alteraciones que sufre la región cercana a la Tierra es lo que se conoce actualmente como clima espacial.

En el Sistema Solar todos los planetas salvo Venus, Marte y Plutón tienen un campo magnético y una magnetosfera. Observaciones hechas a bordo de naves espaciales han mostrado que existe una variedad de magnetosferas planetarias que no se ajustan a un solo modelo. Las características particulares de cada una están determinadas por factores como la intensidad del campo magnético planetario, así como su inclinación, condiciones del viento solar, fuentes internas de plasma, y existencia de satélites. El tamaño de las magnetosferas depende de la intensidad del campo interno del planeta, por lo cual Mercurio posee una magnetosfera pequeña (su campo interno es sólo un centésimo del de la Tierra) que se extiende solo a un radio del planeta del lado día. En contraste, Júpiter tiene la magnetosfera más grande de todo el Sistema Solar (su campo magnético es diez veces el de la Tierra). De hecho la magnetosfera joviana ocupa una región más grande que el Sol, midiendo entre 60 y 100 radios jovianos del lado día (un radio joviano, R_J , es igual a 71,373 km). Las magnetosferas de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno son, en términos generales, semejantes a la de la Tierra, poseen una nariz comprimida por el viento solar y una enorme cola magnetosférica que se extiende del lado noche del planeta. Enfrente de cada una de ellas se encuentra una onda de choque y están también rodeadas por una magnetofunda. En su interior, el plasma se organiza en diversas regiones con características diferentes y fluye de manera más o menos ordenada entre algunas de ellas. Pero ya en detalle, cada magnetosfera es un ente realmente único.

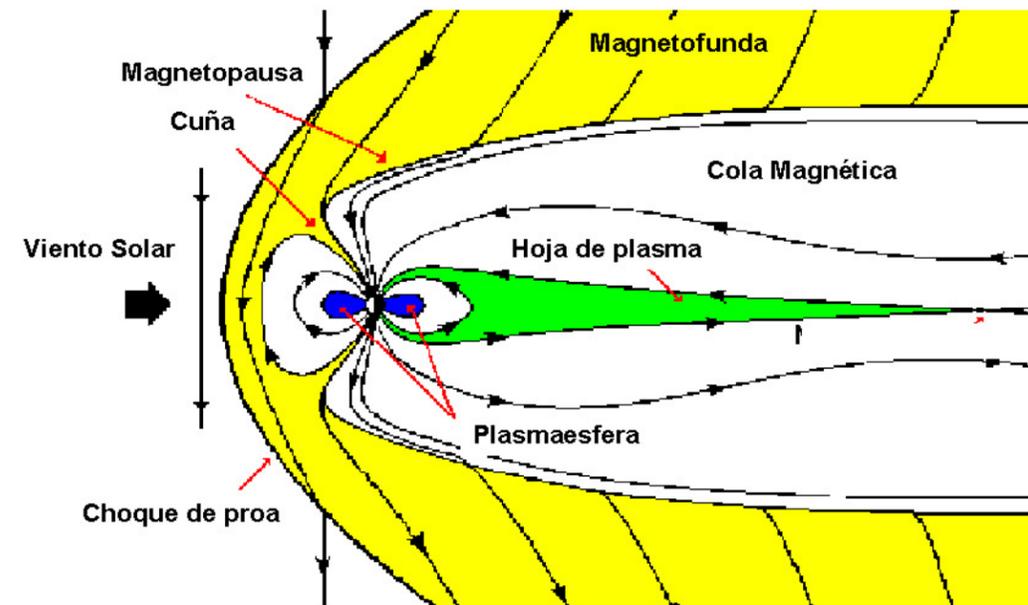


Figura 1. Esquema de la magnetosfera terrestre, que es más o menos representativa de la estructura general de las magnetosferas planetarias.