

## LA HELIOSFERA

Rogelio A. Caballero López

Se conoce como heliosfera a la región que rodea al Sol y que se encuentra "bajo sus dominios". Pero, ¿qué significa estar "bajo los dominios" del Sol?

Desde hace casi medio siglo sabemos que nuestro Sol expulsa un flujo de partículas cargadas (plasma), -alrededor de un millón de toneladas por segundo- llenando una gran región a su alrededor. Este flujo de partículas, al que llamamos Viento Solar, es supersónico, es decir, su velocidad promedio (400 km/s) supera la velocidad del sonido. Este plasma, en expansión radial, crea una especie de burbuja en el medio interestelar, a la que llamamos heliosfera.

Debido a que la presión en el medio interestelar es muy baja, el equilibrio de presión de la heliosfera se logra sólo si existiese una superficie interna donde el Viento Solar se convierte en subsónico. La superficie donde el Viento Solar pasa de supersónico a subsónico a través de una discontinuidad en su velocidad se denomina choque terminal del Viento Solar. Más allá de este choque el plasma solar es incompresible y su velocidad decrece con la distancia hasta llegar a valores muy bajos en la frontera externa de la heliosfera, llamada heliopausa. La región entre el choque terminal y la heliopausa se conoce como heliofunda (Fig. 1)

Podemos crear una heliosfera artificial en nuestra casa. Solo necesitamos abrir la llave del fregadero y observar que el chorro de agua al caer en el fondo sale de manera radial hasta una superficie donde abruptamente disminuye su velocidad (este sería el choque terminal), de ahí y hasta los bordes del fregadero el agua fluye a una menor velocidad y es más turbulenta. Esto mismo le sucede al Viento Solar en la heliofunda, es decir presenta una alta turbulencia.

¿Cuán grande es la heliosfera? Esta pregunta ha estado en la mente de los científicos por varias décadas. En 1973 se lanzaron los Pioneros 10 y 11. Estas naves espaciales fueron los primeros exploradores del espacio que tenían como objetivo estudiar nuestro entorno más allá de los planetas distantes. En 1977 fueron lanzados los Viajeros 1 y 2 y al igual que con los Pioneros 10 y 11 se pretendía investigar con ellos a la heliosfera. Hoy en día, solo los Viajeros siguen en operación. El Viajero 1 se encuentra a 102 UA (unidades astronómicas), es decir 102 veces más alejado del Sol de lo que se encuentra la Tierra (1 UA es la distancia media entre el Sol y la Tierra, o sea unos 150 millones de kilómetros). Por su parte el Viajero 2 está a 82 UA. Mientras el Viajero 1 se mueve en una dirección de 35° norte respecto al plano de la Eclíptica (plano donde orbitan la mayoría de los planetas), el Viajero 2 va en dirección 25° sur (Fig. 1). La señal que recibimos de estas naves tarda unas 14 horas en llegar a la Tierra y la velocidad de los Viajeros es cerca de 3.2 UA/año.

Abordo de estas naves espaciales se encuentran instrumentos que miden las características físicas del Viento Solar (temperatura, densidad, velocidad, campo magnético, etc.), así como de las partículas cargadas y de las ondas que viajan por el medio interplanetario. Los detectores de campo magnético en el Viajero 1, observaron el choque terminal del Viento Solar el 16 de diciembre de 2004, a aproximadamente 94 UA.



Fig. 1 Esquema de la heliosfera con la localización de los Viajeros 1 y 2

Por tanto, en estos momentos esta nave se encuentra explorando la heliofunda. ¡No sabemos cuándo cruzará la heliopausa! Para saberlo, los científicos recurrimos al estudio de los rayos cósmicos (partículas cargadas que en su mayoría llegan de afuera de la heliosfera y por tanto al estudiarlas se puede extraer información de la región atravesada por ellos). En julio del año 2000, se sabe que el Sol expulsó una serie de "chorros" de material muy denso de su superficie y a muy alta velocidad que se conocen como eyecciones de masa coronal. Varias de estas eyecciones formaron ondas de choque muy intensas en el medio interplanetario que se propagaron hasta la heliopausa. Casi ocho meses después de ser expulsadas, sus ondas de choque pasaron por el Viajero 1 y provocaron que tanto sus registros de rayos cósmicos como los del campo magnético se alteraran. Al llegar a la heliopausa las ondas de choque provocaron excitación en el plasma del Viento Solar, lo cual condujo a la creación de ondas de radio que se propagaron en todas direcciones y fueron "escuchadas" por el Viajero 1 en su detector de ondas de radio. El análisis de los tiempos de propagación condujo a los científicos a la conclusión de que la heliopausa se debe de localizar a unas 160 UA aproximadamente en la dirección del Viajero 1. Estos cálculos son aproximados y además, como la heliosfera no tiene una geometría uniforme y estática, hay que seguir estudiando sus características para poder predecir con precisión su tamaño. En la Figura 1 se muestra una representación de la heliosfera. Como vemos la heliofunda está extendida en la dirección contraria a la de los Viajeros (la cola de la heliosfera), algo similar a la forma de la magnetosfera de la Tierra.

Durante el 2007 la comunidad científica celebra el Año Heliofísico Internacional. Uno de los objetivos fundamentales de estas conmemoraciones es unir esfuerzos para una mejor comprensión del entorno solar llamado heliosfera. Con este fin se están organizando reuniones científicas alrededor del mundo y una amplia gama de eventos y actividades. Para mayor información se puede obtener en <http://ihy2007.org>

## un vistazo a los autores

Lorenzo Vázquez Selem  
lselem@igg.unam.mx

Rogelio A. Caballero-López  
rogelioc@geofisica.unam.mx

Egresado del Colegio de Ciencias y Humanidades (UNAM), Plantel Sur. Cursó la licenciatura y maestría en Geografía en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, especializándose en Geografía Física y Geomorfología. Posteriormente realizó una maestría en suelos en el Instituto de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra de los Países Bajos y un doctorado en Geografía Física en la Universidad Estatal de Arizona. En 2000 se incorporó como investigador al Instituto de Geografía de la UNAM. Su trabajo de investigación y docencia se centra en la geomorfología de los volcanes, los estudios paleoambientales (en particular las glaciaciones en las montañas de México), y las relaciones entre geoformas y suelos. Puedes encontrar más información sobre su trabajo y el de otros investigadores en la página web del Instituto de Geografía de la UNAM: [www.igeograf.unam.mx](http://www.igeograf.unam.mx)

Nació en Cuba y estudio la preparatoria en La Habana. Posteriormente realizó la licenciatura y maestría en Ciencias Físico-Matemáticas con especialidad en Física Nuclear (1990) en la Universidad Estatal Lomonosov de Moscú, Rusia. Ya en México cursó la Maestría en Física Espacial (1997) y el doctorado en Ciencias Espaciales (2001), ambos en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Desde enero de 2004 es Investigador Asociado del Departamento de Investigaciones Solares y Planetarias del Instituto de Geofísica de la UNAM, en donde se dedica a estudiar los rayos cósmicos y el medio interplanetario.

## charlas de divulgación

"CIEN AÑOS DE OBSERVACIONES SÍSMICAS EN MÉXICO. UNA SÍNTESIS"  
JAIME YAMAMOTO  
JULIO 5

"LOS VOLCANES Y SU IMPORTANCIA EN MÉXICO"  
ANA LILLIAN MARTIN  
AGOSTO 30

"LOS RIESGOS DEL AGUA"  
RAMIRO RODRIGUEZ  
SEPTIEMBRE 27

"CAMBIO CLIMÁTICO Y EL OCASO DE LOS MAYAS ¿QUÉ SABEMOS DE OTROS SITIOS?"  
BEATRIZ ORTEGA  
OCTUBRE 25

INSTITUTO DE GEOFÍSICA  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
AUDITORIO TLAYOLOTL 12:00HRS.  
(ENTRADA LIBRE)

### EDICIÓN

Dra. Margarita Caballero  
Miranda  
Tel. 56 22 42 33  
maga@geofisica.unam.mx  
Dra. Ana Ma. Soler  
Tel. 56 22 42 34  
anesoler@geofisica.unam.mx

### los que lo hacemos

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

DISEÑO  
Alberto Centeno Cortés

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 del Edificio Anexo del Instituto de Geofísica de la UNAM, Ciudad Universitaria

### Entrada Libre

Diez grandes descubrimientos que  
cambiaron la humanidad  
29 Junio

Paseando por el patrimonio  
31 Agosto

Clima extremo: Torando  
28 Septiembre

videocine  
2007

# GEOFISICAS

¡HOLA!

EN ESTE NÚMERO TE PRESENTAMOS DOS ARTÍCULOS

MUY INTERESANTES:

GLACIACIONES EN MÉXICO

Y

LA HELIOSFERA

NO TE OLVIDES DE VER LAS FECHAS DE LAS CHARLAS DE DIVULGACIÓN Y DEL VIDEOCINE



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

Num. 31, junio 2007

geofisica  
UNAM

## GLACIACIONES EN MÉXICO

Lorenzo Vázquez Selem

¿Glaciaciones en México, en donde disfrutamos de climas tan benignos?, tal vez se preguntará algún lector. Y es que la palabra glaciación usualmente nos remite a las condiciones de frío extremo que prevalecieron hace varios miles de años en latitudes altas del planeta. Acaso también la relacionemos con lo que hoy vemos en Groenlandia o la Antártida, donde hielos de gran espesor cubren casi todo el terreno. Películas recientes como *El día después de mañana* sugieren en tono de ciencia ficción y con alguna exageración, que los cambios climáticos producidos por el hombre pueden arrastrar al planeta hacia una nueva glaciación en cuestión de semanas. En cualquier caso, rara vez asociamos la idea de glaciación con un lugar más bien tropical como es México. Sin embargo, hoy sabemos que el sistema climático de nuestro planeta funciona como un todo interconectado, de manera que incluso las latitudes tropicales resintieron la influencia de las glaciaciones del pasado. De hecho, en México, bajo aquellos climas significativamente más fríos que los actuales, también se formaron glaciares relativamente extensos, aunque este fenómeno se limitó a las montañas más altas.

Vayamos por partes. En primer lugar, un glaciar es una masa de hielo permanente de decenas de metros de espesor, producto de la acumulación de nieve y su transformación paulatina en hielo. La formación de un glaciar requiere al menos de varias décadas durante las cuales la nieve se acumula, se compacta por el peso de las capas superiores y se recristaliza en forma de hielo. Al cabo de cierto tiempo esta masa comienza a moverse lentamente por gravedad, a razón de unos pocos metros al año y siguiendo la pendiente de las laderas. Debido a su enorme peso, es capaz de arrancar y arrastrar fragmentos de roca del terreno sobre el que se mueve para depositarlos ahí donde la masa de hielo encuentra condiciones climáticas más cálidas y finalmente fundirse. Estas pilas de detritos rocosos depositados por los glaciares se conocen como morrenas. A mediados del siglo XIX varios naturalistas europeos descubrieron depósitos de este tipo ubicados en la periferia de las montañas alpinas a varios kilómetros de los glaciares del momento; supusieron que podían atribuirse a glaciares mucho más extensos, lo cual también obligaba a pensar en climas mucho más fríos en un pasado no tan remoto. Más aún, notaron que había morrenas a distintas distancias de las montañas, lo que indicaba que los glaciares habían fluctuado a lo largo del tiempo, extendiéndose más en alguna época y en otra, un poco



Vista aérea del volcán Popocatepetl

menos. Así fue que nació la idea de las glaciaciones, es decir, fases durante las cuales el clima planetario se enfrió propiciando la formación de glaciares en latitudes altas y en zonas montañosas de todo el planeta.

Los estudiosos del fenómeno, originalmente encontraron evidencia de cuatro grandes glaciaciones separadas por etapas cálidas similares a la actual -llamadas interglaciales- durante las cuales los hielos desaparecían o se retraían a una mínima extensión. Tan impactante resultó el descubrimiento que al periodo más reciente de la escala de tiempo geológico (el Cuaternario) pronto se le identificó como la Edad Glacial, pues se observó que antes de él (durante el período Terciario) los climas habían sido comparativamente más cálidos. Hoy sabemos que ocurrieron mucho más de cuatro glaciaciones y que la transición hacia climas fríos —el inicio del Cuaternario- se produjo hace unos 2 millones de años. Al Cuaternario se le ha subdividido en dos épocas: el Pleistoceno, que terminó hace unos 11 mil años con el fin de la más reciente glaciación; y el Holoceno, la fase cálida (interglacial) en la que vivimos.

Con todos estos elementos volvamos a México. ¿Hubo glaciares en nuestro territorio? Por supuesto. De hecho los hay incluso bajo el clima relativamente cálido de la actualidad (aunque sólo por arriba de los 4800 metros de altitud) en las tres montañas más altas del territorio: Pico de Orizaba (5675 m), Popocatepetl (5452 m), e Iztaccíhuatl (5286 m). La cima de estas montañas se encuentran por encima de la línea de las nieves (o sea la altitud a la cual la temperatura media anual es aproximadamente 0 °C), de manera que buena parte de la nieve que cae en ellas no se funde, se acumula de un año a otro, y al cabo de varios años forma y mantiene pequeños glaciares. Éstos, se han contraído rápidamente en las últimas décadas bajo el efecto directo e indirecto del calentamiento global (y en el caso del Popocatepetl también por la actividad volcánica reciente). Sin embargo, durante las fases frías del Pleistoceno, la línea de las nieves se desplazó hacia abajo, con lo cual pudieron formarse glaciares más amplios en estas montañas y también en otras que hoy no presentan más que nevadas ocasionales en sus cimas (Nevado de Colima, Pico Tancítaro, Nevado de Toluca, Ajusco, Telapón, Tláloc, La Malinche, y Cofre de Perote, entre otras).

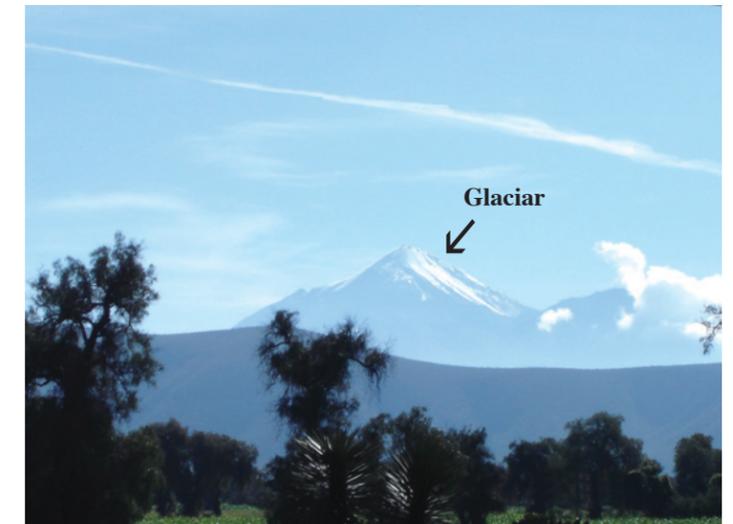


Glaciar del Iztaccíhuatl

A partir del estudio de las formas del terreno y los sedimentos (morrenas) producidos por los glaciares, podemos reconstruir la extensión de los hielos para diversas fases del pasado. Por otro lado, las técnicas modernas de fechamiento permiten precisar la edad de estas fases. Con base en esto sabemos que durante el Pleistoceno tuvieron lugar varios eventos de glaciación en las montañas del centro de México; uno muy extenso, del que se preservan pocas evidencias, ocurrió hace más de 120 mil años y aparentemente cubrió las laderas montañosas hasta altitudes cercanas a los 3000 m. Más recientemente,

entre 21 mil y 15 mil años antes de hoy, todas las montañas arriba mencionadas registraron formación de grandes glaciares que descendieron hasta aproximadamente 3300 m. Tratemos de imaginar cómo se veía el paisaje en esta época. Un habitante del Valle de México que se desplazara hacia el Valle de Toluca encontraría en el rumbo del Desierto de los Leones y la Marquesa un ambiente de suelo congelado, sin vegetación, nieve durante buena parte del año, y a corta distancia, observaría los glaciares del Ajusco. Si se dirigiera hacia el Valle de Puebla, encontraría en el rumbo de Río Frío condiciones similares, y a corta distancia vería los glaciares del Iztaccíhuatl y el Telapón. El área entre el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, o sea lo que hoy llamamos Paso de Cortés, aparecería totalmente cubierta por hielo y nieve durante todo el año. El bosque de pino, que hoy crece a altitudes hasta de 4000 m, apenas llegaría a los 3000 m. Los glaciares del Iztaccíhuatl, que hoy sólo cubren alrededor de 1 km<sup>2</sup>, en aquella fase abarcaban 130 km<sup>2</sup>. ¡Eran 130 veces más extensos!

Este episodio de glaciación es el más importante, pero no el único. Ocurrieron otros menos extensos hace unos 12 mil años (con glaciares descendiendo hasta cerca de los 3800 m de altitud) y hace unos 8 mil años (glaciares a 4100 m). Finalmente, en épocas históricas tan cercanas como el periodo colonial en México, los glaciares de las tres montañas más altas avanzaron hasta cerca de 4300 m. Este último episodio corresponde a la llamada Pequeña Edad Glacial, una etapa fría durante la cual los glaciares en todo el mundo se expandieron significativamente entre los siglos XV y XIX. Desde fines del siglo XIX los glaciares de las tres montañas más altas han retrocedido sin cesar, sobre todo en los últimos veinte años, y hoy apenas descienden hasta 4800 m.



Pico de Orizaba

El estudio de las glaciaciones mexicanas ha mostrado que nuestro territorio ha estado sujeto a cambios climáticos muy pronunciados en el pasado. No me refiero a un pasado tan remoto, ya que las comunidades humanas han sido testigos de todos estos cambios en los últimos miles de años, y seguramente han sido afectadas por ellos de diversas maneras. Por otro lado, un mejor conocimiento de los factores climáticos responsables de las glaciaciones mejorará nuestro entendimiento sobre los cambios climáticos presentes y futuros.