

Efectos de la actividad solar en el clima y en los seres vivos



Se cuenta con numerosos datos que muestran la influencia del Sol sobre el clima de la Tierra, los efectos de éste sobre diversas tecnologías, así como la relación entre la actividad solar y problemas de salud en los humanos.

Blanca Mendoza, Juan Ramírez y Rosa Díaz Sandoval

El Sol, nuestra estrella, sostiene todos los procesos biodinámicos de la Tierra y determina las condiciones físico-químicas de los planetas vecinos.

Del Sol recibimos varios productos de su actividad: por un lado, la radiación solar; por otro, las emisiones de su atmósfera, ya sea en forma continua, como el llamado viento solar, o bien esporádica, como las eyecciones de masa coronal. También llegan partículas energéticas provenientes de explosiones solares: las fulguraciones. Como todas estas emisiones salen junto con el campo magnético del Sol, el espacio interplanetario está lleno del campo magnético y la atmósfera solares. Las fulguraciones emiten además una gran cantidad de energía luminosa en una amplia gama de longitudes de onda.

Nuestro planeta responde al impacto de la actividad solar de varias maneras. El viento

solar confina al campo geomagnético en una cavidad conocida como la magnetosfera (ver el artículo “Corazas magnéticas” en este número de *Ciencia*). Ésta ocasionalmente se conecta con las líneas del campo magnético interplanetario, como lo muestra la Figura 1, permitiendo en ese caso una gran entrada de plasma y partículas solares al entorno terrestre que provocan cambios abruptos de la intensidad del campo magnético: las llamadas tormentas magnéticas. Las auroras son otro resultado indiscutible de la interacción de la atmósfera solar con la terrestre: las partículas del viento solar interactúan con el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera, los cuales se excitan y al desexcitarse emiten los hermosos colores de las auroras.

EL SOL Y LA TECNOLOGÍA

Conforme la tecnología se ha desarrollado utilizando corrientes, conductores y ondas electromagnéticas, los efectos solares se han vuelto evidentes. Durante la Segunda Guerra Mundial las radiocomunicaciones se empezaron a usar intensamente; a partir de entonces los efectos solares se reconocieron como un

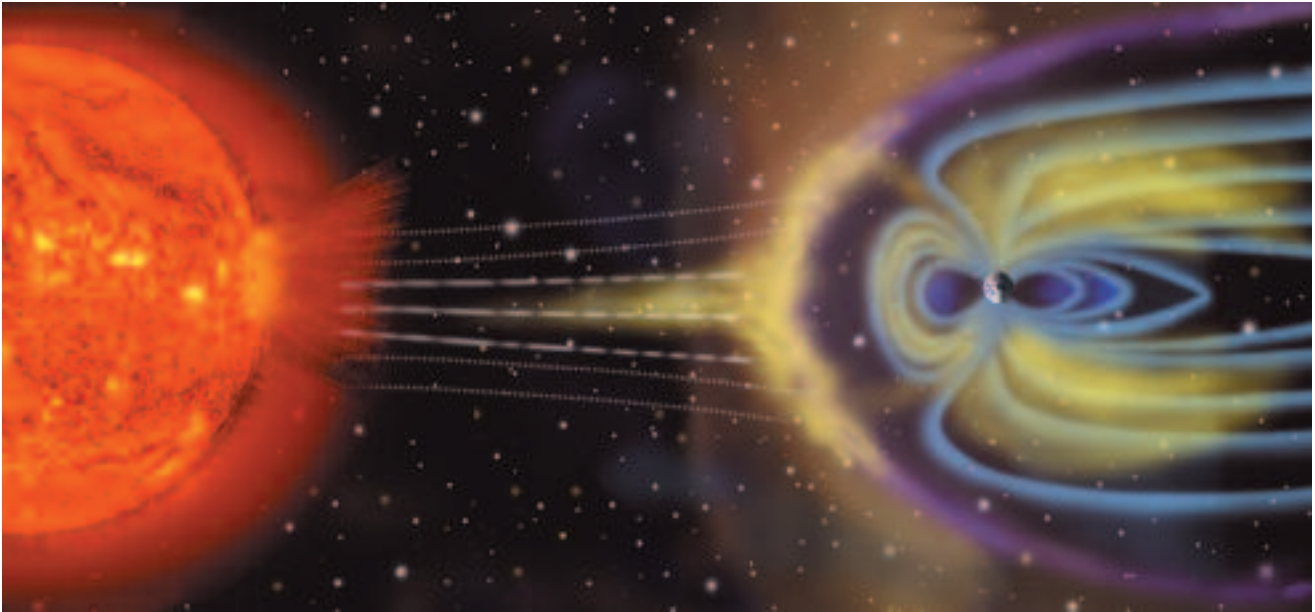
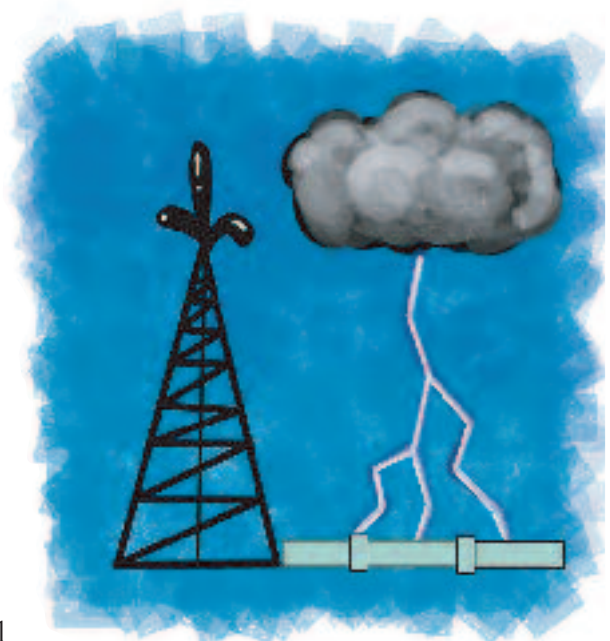


Figura 1. Cuando la atmósfera solar llega al entorno terrestre, cuyo campo magnético tiene una dirección opuesta al campo geomagnético, ambos campos se pueden reconectar, permitiendo la entrada de atmósfera y partículas energéticas solares.

problema serio. Desde esa fecha, nuestra dependencia de la tecnología electrónica ha crecido enormemente, y con ello el potencial dañino del Sol. El colapso masivo del sistema hidroeléctrico de Québec en Canadá en 1989, que dio por resultado la pérdida temporal de 9 mil 450 megawatts de potencia eléctrica, marcó el momento en que no sólo la comunidad científica, sino el público en general, se preocuparon por la actividad solar. Algunos de los efectos que actualmente representan un problema son:

Las corrientes inducidas geomagnéticamente. Durante una tormenta magnética, las corrientes que fluyen en la región ionizada de nuestra atmósfera, la ionosfera, cambian rápidamente, produciendo su propio campo magnético, el cual se combina con el terrestre. Al nivel del piso también hay un cambio en el campo magnético, que induce corrientes eléctricas en cualquier conductor que esté presente. Frecuentemente no notamos estas corrientes geomagnéticamente inducidas. En un buen conductor, como los gaseoductos, oleoductos o líneas de transmisión eléctrica, las corrientes viajan por sus paredes. Los voltajes generados producen diferencias de potencial de por ejemplo 10 volts en un kilómetro, lo cual en un oleoducto de mil kilómetros genera una enorme diferencia de potencial





Desde hace ya muchos años existe, tanto entre la comunidad científica como entre el público en general, una pregunta inquietante: ¿tiene la actividad solar una influencia directa sobre el clima de nuestro planeta?

de 10 mil volts. Las corrientes eléctricas inducidas son más peligrosas a altas latitudes, y en áreas que están sobre grandes depósitos de roca ígnea. Debido a que las rocas ígneas tienen una baja conductividad, las corrientes inducidas viajan a través de los conductores hechos por el ser humano causando su corrosión y mal funcionamiento. Aunque las compañías eléctricas y petroleras diseñan mecanismos de protección, al construir más y mayores sistemas de potencia la vulnerabilidad se incrementa.

Las comunicaciones. Los satélites artificiales están en órbitas fuera de la mayor porción de la atmósfera terrestre, y por tanto hay poca fricción sobre ellos. Los satélites de comunicaciones se encuentran a casi 6 radios terrestres (un radio terrestre equivale 6 mil 378 kilómetros), pero hay satélites que orbitan más bajo. Durante épocas de alta actividad solar se incrementa la radiación ultravioleta y la precipitación de partículas energéticas a la atmósfera terrestre, calentándola y expandiéndola. Entonces los satélites de órbitas más bajas están en una atmósfera más densa, lo que incrementa la fricción sobre ellos, alterando sus órbitas y causando que algunos se precipiten a tierra. Los satélites en órbitas altas se encuentran bien protegidos dentro de la magnetosfera, pero si hay un evento particularmente intenso, por ejemplo una eyección de masa coronal muy energética, la magnetosfera se comprime y el satélite queda fuera de su cobijo, causando que las partículas energéticas y del viento solar corroan al satélite y dañen sus componentes.

Las radiotelecomunicaciones que se realizan a través de la ionosfera se ven también afectadas, al producirse allí ionización adicional debido a radiación ultravioleta y de los rayos X, así como a partículas energéticas provenientes de eyecciones de masa coronal, fulguraciones solares o rayos cósmicos.

¿LA ACTIVIDAD SOLAR AFECTA AL CLIMA TERRESTRE?

Desde hace ya muchos años existe, tanto entre la comunidad científica como entre el público en general, una pregunta inquietante: ¿tiene la actividad solar una influencia directa sobre el clima de nuestro planeta? Estaríamos tentados a responder afirmativamente, puesto que nadie duda que es la energía solar la que mueve a esta compleja maquinaria que es nuestro planeta: generando la vida animal y vegetal, poniendo en marcha

complicados mecanismos para generar huracanes, tormentas, regular el ciclo hidrológico, etcétera.

En 1645, Antonii Mariae Scheyreli sugirió que un incremento en las manchas solares podría estar asociado con un clima frío. Para 1801, William Herschell decía que los altos precios de trigo indicaban un clima frío y lo asociaba con la aparición de pocas manchas solares. Las manchas solares se encuentran en la atmósfera solar más profunda, y tienen intensos campos magnéticos y temperaturas menores que sus alrededores; por ello se ven oscuras en contraste. Gracias a la variación de su número se identificó el ciclo solar de actividad de 11 años.

Es muy conocido el tema del cambio climático global, consistente en que en el último siglo la temperatura terrestre global se ha elevado en promedio 0.5 grados centígrados. La explicación más aceptada es que el clima está cambiando debido a la actividad humana. Pero hay evidencias que indican que la variabilidad solar es un factor importante cuando de clima se trata, y por ello surge nuevamente el interés sobre el papel que juega el Sol en este contexto.

El clima de la Tierra es primeramente una manifestación de cómo la radiación solar es absorbida, redistribuida en el sistema atmósfera-océano y posteriormente re-radiada hacia el espacio exterior. La composición de la atmósfera incide directamente en el balance global de energía, ya que sus componentes reflejan o absorben la radiación solar proveniente del espacio, así como la radiación térmica reemitida por la superficie terrestre en diferentes formas.

La radiación solar que miden los satélites tiene una variación muy pequeña a lo largo del ciclo solar: 0.1 por ciento entre el mínimo y el máximo. Tal cambio es despreciable al ser introducido en los modelos climáticos, y por ello no se le toma en cuenta. Incluso, en los medios meteorológicos, al total de la radiación solar se le llama “constante solar”, aun cuando varía. Sin embargo, en otras épocas la variación de la radiación solar ha sido más importante, llegando a incrementarse o disminuir entre 1 y 2 por ciento (Mendoza, 1997). Es bien conocido que en el siglo XVII los ríos europeos se congelaron por varias decenas de años; se calcula que la temperatura promedio global del planeta bajó un grado centígrado. Este descenso coincidió con el llamado mínimo de Maunder de la actividad solar, durante el cual el Sol no tuvo manifestaciones de actividad por 70 años.

Como ya mencionamos, la radiación solar cambia con la actividad solar. No sabemos cuándo el Sol presentará periodos de mucha menor o mucha mayor actividad y radiación, y es

Es bien conocido que en el siglo XVII los ríos europeos se congelaron por varias decenas de años; se calcula que la temperatura promedio global del planeta bajó un grado centígrado. Este descenso coincidió con el llamado mínimo de Maunder de la actividad solar, durante el cual el Sol no tuvo manifestaciones de actividad por 70 años



Figura 2. Representación artística de la posible conexión entre el Sol y el clima terrestre.

A principios del siglo xx, el naturalista ruso Leonidovich Chizhevski sugirió la relación entre el Sol y la salud humana, después de observar que los periodos de epidemias de cólera en Rusia eran muy similares al ciclo de actividad solar

por ello que la variabilidad solar debe incluirse en los modelos climáticos.

Ya mencionamos que del Sol no sólo nos llega radiación; nuestro planeta también interactúa con campos magnéticos y partículas energéticas, por lo que debiera esperarse que cualquier variación de estos fenómenos tuviera un efecto sobre el clima.

Se ha presentado un vasto número de datos que muestran una relación entre el Sol y el clima, pero como no existen teorías físicas satisfactorias que expliquen tal vínculo, el tema sigue siendo motivo de debate por parte de la comunidad científica.

Investigaciones recientes sugieren la posibilidad de que los rayos cósmicos galácticos y solares (ver el artículo “Una lluvia que llega del cosmos” en este número de *Ciencia*) puedan actuar como semillas para inducir la formación de cierto tipo de nubes, lo cual tendría un impacto directo en el balance de energía de nuestro planeta. En consecuencia, el clima podría ser modificado, ya que las nubes reflejan o absorben una porción importante (aproximadamente el 30 por ciento) de la radiación solar que llega a la Tierra.

¿LA ACTIVIDAD SOLAR AFECTA A LA SALUD HUMANA?

Los efectos biológicos de la actividad solar en el espacio son bien reconocidos: las radiaciones de onda corta del Sol (rayos X, ultravioleta) y partículas energéticas (tales como rayos cósmicos galácticos y solares), dañan a los astronautas que se encuentren fuera de las naves durante un periodo en el que éstos aumentan su flujo, lo cual ocurre en épocas de alta actividad solar. Se sabe que hay animales que usan el campo geomagnético para guiarse, como las aves migratorias. Estudios con pichones caseros muestran que ciertos tejidos en su cabeza y cuello contienen moléculas ricas en hierro, con propiedades magnéticas. Se observa que estas aves se desorientan cuando hay perturbaciones magnéticas. Se sospecha que los seres humanos somos también susceptibles a efectos magnéticos.

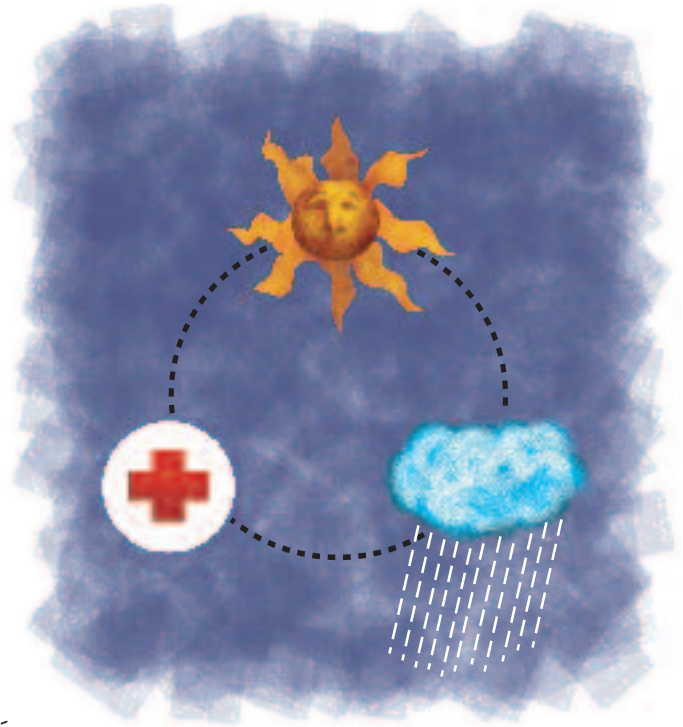
A principios del siglo xx, el naturalista ruso Leonidovich Chizhevski sugirió la relación entre el Sol y la salud humana, después de observar que los periodos de epidemias de cólera en Rusia eran muy similares al ciclo de actividad solar. Él mismo bautizó a su estudio de la relación Sol-biosfera como “heliobiología”, y hoy se le reconoce como padre de dicha ciencia. Esta

área de estudio, aunque todavía es muy controvertida, ha ganado terreno en la credibilidad de la comunidad científica con estudios rigurosos que han demostrado una buena relación entre los fenómenos de actividad solar y patologías cardiovasculares y nerviosas, así como parámetros cardiovasculares en individuos saludables.

Los mecanismos físicos de la interacción entre la actividad solar y su propagación en el medio interplanetario, la magnetosfera y la atmósfera, son muy complejos. Para el caso de las relaciones Sol-salud humana se agregaría a todo lo anterior la interacción de los campos electromagnéticos del medio ambiente con el cuerpo humano, un sistema biológico altamente desarrollado. Así pues, ésta es una de las áreas científicas actuales más ambiciosas, que puede involucrar especialistas en varias ramas de la física y la biología.

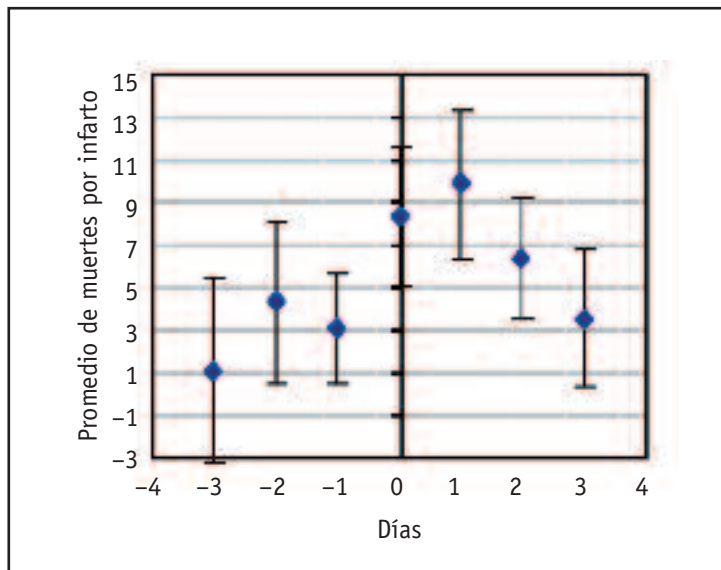
La influencia del Sol sobre la salud humana se ha observado en varios estudios estadísticos que muestran correlaciones entre la incidencia de patologías cardíacas y mentales, y variaciones notables en el campo geomagnético debidas a la actividad solar. A partir de los primeros trabajos de Chizhevski, en 1915, la comunidad científica rusa tomó el tema con gran interés. En cuanto a los trabajos occidentales, éstos se remontan al de Düll, en la década de 1930, con análisis de patologías mentales. Los científicos occidentales han tomado esta área con muchas reservas y empezaron estudios relacionados mucho más tarde. Durante la década de los sesenta y setenta los resultados de diversos estudios eran tanto a favor como en contra de una relación entre la actividad solar y la salud humana. Actualmente, los criterios estadísticos se han vuelto mucho más rigurosos, obteniéndose resultados que apoyan dicha relación, utilizando por ejemplo índices que miden la actividad geomagnética global y los decrementos Forbush en el flujo de rayos cósmicos (véase el artículo “Una lluvia que llega del cosmos” en este número de *Ciencia*), ambos causados por la actividad solar.

En México se han realizado estudios de carácter epidemiológico de la morbilidad ciudadana, encontrándose una relación entre el aumento en la tasa de infartos y los decrementos Forbush, y de mortalidad en el país, que muestra un incremento en la muerte por infartos al miocardio después de grandes tormentas magnéticas y después de un decremento Forbush. Se ha notado sobre todo una mayor incidencia de estos problemas de salud en personas vulnerables, como los ancianos, y en épocas



A principios del siglo xx, el naturalista ruso Leonidovich Chizhevski sugirió la relación entre el Sol y la salud humana, después de observar que los periodos de epidemias de cólera en Rusia eran muy similares al ciclo de actividad solar

Figura 3. Muertes por infartos al miocardio 3 días antes y 3 días después del día "0", correspondiente a decrementos Forbush de rayos cósmicos durante el periodo cercano al máximo solar (1998-1999), para personas mayores de 65 años.



en que la actividad solar es mayor, como lo muestra la Figura 3 (Mendoza y Díaz-Sandoval, 1999).

De lo expuesto anteriormente percibimos que hay evidencias de una relación entre el Sol, el clima y los seres vivos en nuestro planeta, y podemos concluir que cuando el Sol tose, a la Tierra le da pulmonía.

Bibliografía

Mendoza, B. (1997), "Estimations of Maunder minimum solar irradiance and Ca II H and K fluxes using rotation rates and diameters", *Astrophys. J.* 483, 523-526.

Mendoza, B. y R. Díaz-Sandoval (2004), "Effects of solar activity on myocardial infarction deaths in low geomagnetic latitude regions", *Natural Hazards*, 32, 25-36.

Ramírez, J, B. Mendoza, V. Mendoza y J. Adem (2004), "Modeling the effect of an assumed cosmic-ray modulated global cloud cover on the terrestrial surface temperature", *J. Atm. Solar-Terrestrial Phys.* 66, 1683-1690.

Otaola, J. A., B. Mendoza y R. Pérez (1999), *El Sol y la Tierra, una relación tormentosa*, Fondo de Cultura Económica, colección "La Ciencia para Todos", vol. 114.

Blanca Mendoza estudió la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el doctorado en física en la Universidad de Oxford, Inglaterra. Se desempeña como investigadora en el Departamento de Investigaciones Solares y Planetarias del Instituto de Geofísica de la UNAM. Sus áreas de investigación son la física solar y de relaciones Sol-Tierra, y es profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente es coordinadora del posgrado en Ciencias de la Tierra de la misma universidad y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.
blanca@geofisica.unam.mx

Juan Ramírez estudió la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la UNAM y el doctorado en el posgrado en Ciencias de la Tierra de la misma universidad. Actualmente se desempeña como investigador en Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Sus áreas de investigación son la física de relaciones Sol-Tierra y la modelación de la atmósfera.
juaramir@itesm.mx

Rosa Díaz estudió la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la UNAM y el doctorado en el posgrado en Ciencias de la Tierra de la misma universidad. Recientemente terminó un periodo posdoctoral en el INP. Sus áreas de investigación son la física de relaciones Sol-Tierra y el efecto de la actividad solar en la biota.
cuasar@exite.com