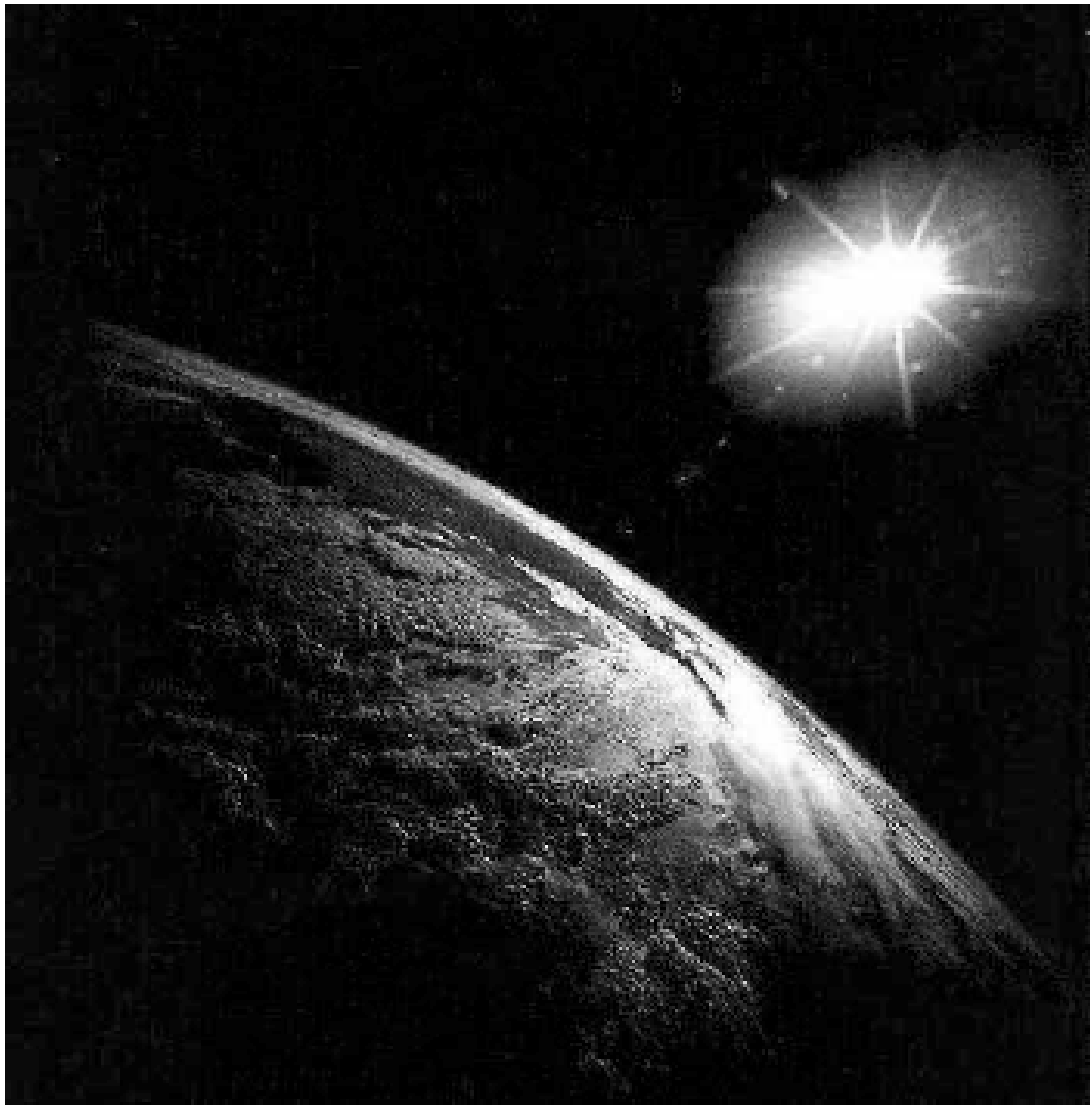




Estableciendo conexiones entre el Sol y la Tierra: una nueva perspectiva



Guía de presentación Tercer nivel

Traducción y adaptación: **Dra. Inés Rodríguez Hidalgo**
(Instituto de Astrofísica de Canarias,
Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna)

Estableciendo conexiones Sol-Tierra: una nueva perspectiva

Índice:

Transparencias y comentarios:

1. Introducción.....	3
2. Principales áreas de investigación.....	3
3. Importancia de la Tecnología Espacial	4
4. Estructura interna del Sol.....	4
5. Superficie y atmósfera del Sol.....	5
6. Manchas solares.....	5
7. Fulguraciones solares.....	5
8. Expulsiones de masa coronal (CMEs).....	6
9. El ciclo solar.....	6
10. El viento solar	6
11. Velas solares. Exploración interestelar.....	7
12. La magnetosfera de la Tierra.....	7
13. Expulsiones de masa coronal: cruzando el camino de la Tierra.....	7
14. Expulsiones de masa coronal: impacto sobre la Tierra.....	8
15. Auroras: diferentes puntos de vista.....	8
16. Auroras: luces en movimiento.....	8
17. Medioambiente espacial: efecto sobre naves en órbita.....	9
18. Medioambiente espacial: efecto sobre sensores en satélites	9
19. Tormentas solares: efecto sobre los humanos en el espacio.....	9
20. Tormentas solares: efectos sobre sistemas sociales.....	10
21. Energía procedente del Sol: conductora del clima terrestre	10
22. La conexión Sol-Tierra.....	10

Transparencia 1

Cuando vemos el Sol desde la superficie de la Tierra generalmente parece estático, constante. Pero en el espacio hay satélites (de las Agencias Espaciales Americana y Europea, NASA y ESA, por ejemplo) que emplean instrumentos que revelan mucho más de lo que se puede apreciar a simple vista. Cuando se observa el Sol en ondas de radio, rayos X, luz ultravioleta e incluso luz visible, se percibe que nuestra estrella, en realidad, es muy dinámica.

Transparencia 2

Para comprender mejor la conexión entre el Sol y la Tierra, NASA y sus colaboradores internacionales están llevando a cabo un amplio programa para estudiar en profundidad el Sol, la Tierra y el espacio entre ellos. Esta investigación es importante no sólo por sí misma, sino porque afecta de forma importante a otros proyectos y trabajos de NASA en el espacio. Con mayor y mejor información sobre el viento solar y el entorno espacial cercano a la Tierra, los investigadores aeroespaciales podrán construir satélites capaces de durar más tiempo y volar más lejos. Observaciones de los cambios en la actividad solar ayudarán a los científicos a comprender mejor la dinámica de nuestra atmósfera y clima. También para los astrofísicos que estudian objetos más allá de nuestro Sistema Solar es interesante coleccionar información fundamental sobre el Sol, que es la única estrella que podemos observar desde cerca y llegar a conocer en mayor profundidad. Y como la radiación procedente del Sol puede afectar a la salud humana, las conexiones Sol-Tierra pueden ayudar a las agencias espaciales a encontrar formas de explorar el espacio más seguras y eficientes para los humanos.

Transparencia 3

Equipados con telescopios y cámaras de última tecnología, así como con sofisticados sensores físicos y químicos, los satélites artificiales pueden estudiar el interior del Sol, su superficie visible, su atmósfera, el viento solar y el espacio magnético alrededor de la Tierra. Los satélites que orbitan a más de 1 millón y medio de km de la Tierra hacen observaciones que nos permiten detectar y seguir los eventos relacionados con el medioambiente (o clima) espacial y estudiar nuestra estrella más cercana.

Transparencia 4

Las teorías de estructura solar proponen que el Sol está formado por seis regiones principales:

- El *núcleo*, que es el gran “horno” del Sol, donde tienen lugar reacciones nucleares de fusión que transforman hidrógeno en helio y liberan fotones (energía electromagnética). La temperatura del núcleo solar se estima en torno a los 15 millones de grados.
- La *zona radiativa* rodea al núcleo. En ella el gas es tan denso que un fotón tarda cientos de miles de años en atravesarla y poder llegar a la superficie del Sol para salir al espacio.
- La capa siguiente se llama *zona convectiva*. Es una región muy agitada en la que el plasma circula como el agua hirviendo en un caldero. El plasma más caliente asciende desde el interior del Sol y luego cae de nuevo hacia él, tras haber transportado calor hasta la superficie solar.
- La superficie visible del Sol o *fotosfera* es la capa que radia la luz y el calor que hacen posible la vida en la Tierra. La temperatura de la fotosfera es del orden de 6000 grados.
- La *cromosfera*, que está justo sobre la fotosfera, es una fina región de gas que se observa con un color rojizo-anaranjado. Es una capa intermedia entre la superficie del Sol y su tenue atmósfera exterior, muy poco densa.
- Esta última zona se llama la *corona*, un halo de plasma muy débil que rodea todo el Sol. La temperatura en la corona se aproxima a los 2 millones de grados.

Transparencia 5

Las características y estructuras del Sol que se observan más fácilmente desde grandes distancias son las que pertenecen a su superficie visible (a la izquierda se muestra un mapa del campo magnético de la fotosfera solar. Blanco y negro indican las regiones de polaridad opuesta) y a la corona (a la derecha).

Transparencia 6

Las *manchas solares* son áreas ligeramente más frías que su entorno, que aparecen más oscuras que el resto de la superficie visible del Sol. Estas zonas son más frías porque gran parte de su energía está ligada a campos magnéticos que son unas 1000 veces más fuertes que el campo magnético terrestre. Cuidadosas observaciones realizadas durante más de un siglo han mostrado que el número de manchas en el Sol cambia siguiendo un patrón cíclico.

Transparencia 7

Las *fulguraciones solares* son explosiones brillantes e intensas que tienen lugar cerca de la superficie del Sol. Se producen cuando la energía magnética en la atmósfera solar es liberada súbitamente en un estallido equivalente a 10 millones de bombas de hidrógeno. Aunque duran sólo unos minutos, pueden expulsar rayos X intensos, rayos gamma y ondas de radio hacia la Tierra, causando problemas a las señales de radio de origen humano. Estas ráfagas también pueden acelerar partículas hacia la Tierra, dañando a las naves espaciales y poniendo en peligro a los astronautas.

Transparencia 8

Quizá los más violentos sucesos del medioambiente espacial sean las *expulsiones coronales de masa* (CMEs, de las siglas de su nombre en inglés, Coronal Mass Ejections). Estas gigantescas estructuras en erupción desde el Sol son una de las principales formas en que el Sol expulsa material y energía hacia el Sistema Solar. Es como si la corona solar se desgarrase para liberar, en ocasiones, hasta 20000 millones de toneladas de materia solar –¡equivalente a la masa de 200000 barcos de crucero!-. Estas enormes burbujas de plasma viajan a millones de kilómetros por hora a través del espacio, algunas veces hacia la Tierra.

Transparencia 9

Como la Tierra, el Sol tiene “estaciones”. Más precisamente, su comportamiento muestra un ciclo que dura unos 11 años. Siguiendo este patrón cíclico, el número de manchas solares crece, decrece y comienza a crecer de nuevo en un periodo en torno a los 11 años que los científicos llaman el *ciclo solar*. De forma similar, el número y la intensidad de las fulguraciones y CMEs también aumenta y disminuye con este ciclo de 11 años. La época caracterizada por muchas manchas y explosiones se conoce como *máximo solar*, mientras que la fase más calmada, con pocas manchas, se llama el *mínimo solar*.

Transparencia 10

El Sol emite continuamente un flujo de partículas cargadas eléctricamente (el plasma solar), llamado el *viento solar*. El Sol “sopla” en todas direcciones estos protones y electrones que viajan entre los planetas hasta los confines del Sistema Solar. El viento solar confina el campo magnético de la Tierra en una cavidad llamada la *magnetosfera*. Bajo las condiciones adecuadas, la energía y presión del viento solar pueden distorsionar la magnetosfera y causar *auroras* y *tormentas magnéticas*.

Transparencia 11

Hoy día, satélites y lanzaderas espaciales son propulsados a través del espacio por cohetes muy pesados y caros. Aunque los combustibles químicos dan a los cohetes una potente inyección de energía, son inherentemente ineficientes: es necesario transportar el combustible, lo que añade peso y frena la propia nave que se pretende mover. Esta masa extra dificulta llegar a planetas más lejanos y al espacio interestelar. Pero, ¿qué pasaría si fuera posible *propulsar una nave espacial con la luz del Sol*? En los próximos diez o veinte años NASA planea hacer volar satélites que no necesitarán combustible: se deslizarán por el espacio gracias a velas empujadas por los fotones de la luz solar.

Transparencia 12

La *magnetosfera* es el límite más externo del entorno de la Tierra, la región que actúa como un escudo de la atmósfera y superficie terrestres, protegiéndolas de los estallidos de radiación procedentes del Sol. Es una región dominada por el campo magnético de la Tierra, que se extiende decenas de miles de kilómetros en el espacio y desvía el viento solar alrededor de la Tierra. Este viento azota la magnetosfera y la distorsiona, excitando al plasma atrapado en los *cinturones de radiación de Van Allen* y en la ionosfera, y causando tormentas magnéticas.

Transparencia 13

Las expulsiones de masa coronal ocurren frecuentemente, desde unas pocas veces por semana durante la época de mínimo solar, hasta unas pocas veces al día en el máximo solar. Algunas de estas nubes de plasma cruzan la trayectoria de la Tierra en el espacio. Aunque las CMEs transportan miles de millones de toneladas de partículas cargadas, la mayor parte de este plasma es desviada alrededor de la Tierra por la magnetosfera. Pero la potencia de algunas CMEs y la energía que llevan pueden causar estragos en la forma y la estabilidad de la magnetosfera.

Transparencia 14

En ocasiones puede producirse una fuerte conexión entre una CME y el campo magnético terrestre: tras viajar desde el Sol en dos o tres días, esta nube de plasma colisiona literalmente con la parte frontal de la magnetosfera, comprimiéndola en la zona diurna de la Tierra (la que mira hacia el Sol) y expandiéndola en la zona nocturna. Este efecto de empuje y tirón actúa como un gran acelerador cósmico de partículas, excitando el plasma que está atrapado alrededor de la Tierra y conduciéndolo bruscamente hacia la alta atmósfera de la Tierra, lo que produce auroras y tormentas magnéticas.

Transparencia 15

Las *Auroras Boreales* (o Luces del Norte), que suceden en los cielos del hemisferio Norte, y las *Auroras Australes*, que ocurren en el hemisferio Sur, son brillantes exhibiciones de luz y color. Las auroras son la única evidencia visible de que el Sol y la Tierra están conectados por algo más que la luz solar.

Transparencia 16

Las auroras ocurren en regiones con forma anular centradas en los polos magnéticos de la Tierra, que reciben el nombre de *óvalos aurorales*. La mayor parte del tiempo las auroras sólo son visibles en latitudes altas del Norte o del Sur, como Canadá, Alaska o Chile. Pero durante tormentas magnéticas intensas esos anillos aurorales pueden extenderse hasta latitudes más bajas y pobladas, por ejemplo, en los Estados Unidos, Europa Central o Australia.

Transparencia 17

Los satélites artificiales son las más comunes víctimas de las tormentas procedentes del Sol. La radiación y las tormentas magnéticas pueden distorsionar la atmósfera terrestre, dificultando las comunicaciones entre un satélite y su estación terrestre de seguimiento y control. También el incremento de la fricción en la alta atmósfera puede causar un lento arrastre del satélite que le hace descender respecto a su órbita original. Los efectos conjuntos del medioambiente espacial acortan el tiempo de vida de los satélites e incrementan los costes de cualquier misión de trabajo en el espacio.

Transparencia 18

Las fulguraciones solares y las CMEs pueden a veces acelerar partículas hasta casi la velocidad de la luz. Estos protones de muy alta energía pueden bombardear las cámaras a bordo de satélites y saturar los detectores de partículas. Algunos satélites pueden quedar temporalmente inoperativos o desorientados. Las partículas muy energéticas también pueden destruir paneles solares o perforar la “piel” de un satélite, produciendo cortes eléctricos y órdenes de operación no deseadas

Transparencia 19

Los humanos que viajan y trabajan en el espacio, fuera de nuestra atmósfera protectora, están asumiendo un riesgo. Las células humanas son vulnerables a la radiación solar, por lo que los trajes espaciales se fabrican con materiales pesados y aislantes que actúan como un escudo de los astronautas. Pero durante las tormentas solares más intensas, los trajes espaciales pueden no ser suficiente. Los astronautas necesitan a veces buscar cobijo en compartimentos especiales de la nave o estación espacial, porque permanecer en el espacio podría producirles dolencias debidas a la radiación, cáncer o incluso la muerte.

Transparencia 20

Algunas tormentas solares causan *trastornos en el campo magnético terrestre*. Corrientes en forma de remolino y campos magnéticos cambiantes en la ionosfera de la Tierra pueden producir corrientes adicionales y dañinas que fluirían a través de los cables telefónicos o los conductos de gas o petróleo. Estas tormentas magnéticas también pueden causar aflojamientos bruscos o errores en las líneas de tensión eléctrica y transformadores eléctricos, lo que puede llegar a quemar los sistemas de potencia, produciendo apagones. Finalmente, estos trastornos pueden distorsionar las señales de radio y de satélites, creando problemas de navegación a los aviones y barcos.

Transparencia 21

La luz y calor del Sol conducen la circulación de la atmósfera terrestre y ayudan a crear las estaciones. La radiación solar también afecta la química de nuestra atmósfera, influyendo, por ejemplo, en la capa de ozono. Los científicos tienen razones para creer que *los cambios de largo periodo en la actividad solar pueden llevar a cambios en el clima de la Tierra*.

Transparencia 22

A simple vista el Sol apenas cambia. Pero una mirada más cercana y detallada revela que *convivimos con una estrella dinámica y turbulenta*. Haciendo uso de todos los avances que permite la alta tecnología espacial, de telescopios y ordenadores en Tierra e incluso de antiguas anotaciones y dibujos a mano de la superficie del Sol, los científicos van poco a poco desvelando los secretos del sistema Sol-Tierra: escudriñan la “cara” del Sol buscando señales de fulguraciones y CMEs, monitorizan el viento solar para ver si trae “mal tiempo espacial”, y miden la energía que fluye en la alta atmósfera de la Tierra para ver si se está “fraguando” una tormenta magnética. Lo que ellos están descubriendo nos ayudará algún día a predecir el medioambiente (o clima) espacial y a entender mejor el impacto de nuestra estrella más cercana sobre la vida en la Tierra.