TORMENTA SOLAR

TRACE

TORMENTAS SOLARES

LAS ERUPCIONES DE LA SUPERFICIE DEL SOL LANZAN CONTRA LA ATMÓSFERA TERRESTRE COLOSALES Y DEVASTADORAS NUBES DE PLASMA

POR **CRISTINA SÁEZ** PERIODISTA

Seguro que alguna vez se nos ha ido la luz en casa o, de repente, la emisión de radio se ha interrumpido mientras escuchábamos nuestra canción favorita. En la mayoría de ocasiones estos sucesos se deben a fallos en la red eléctrica. Pero, a veces, un porcentaje muy pequeño de estos problemas tiene su origen más lejos; en concreto, a 150 millones de kilómetros, en nuestra estrella vecina, el Sol. Vivir tan cerca de este astro nos comporta una serie de beneficios y también de inconvenientes.

De vez en cuando, se enfurece y arroja **nubes de plasma** que pueden recorrer la enorme distancia que nos separa en cuestión de pocos días e impactar contra la atmósfera de la Tierra con efectos devastadores. Estas explosiones solares son capaces de provocar fenómenos tan bellos como las **auroras boreales** pero también pueden "noquear" hasta dejar fuera de servicio nuestras tecnologías más potentes, como los satélites, y provocar un verdadero caos a ras de suelo, en la Tierra.

NUESTRO ASTRO PARTICULAR

La vida no podría existir sin el Sol y, sin embargo, por muy especial que nos pueda parecer, esa gran bola de fuego que vemos en el cielo no es más que una de las miles de millones de estrellas que pueblan nuestra galaxia. Si al observarla nos parece más grande y brillante que el resto de puntitos luminosos es, simplemente, porque se encuentra más próxima a la Tierra. Su importancia radica en que es nuestra principal **fuente de energía** y hace posible que la Tierra no sea un témpano de 180 °C bajo cero y albergue vida.

Al mirarlo a simple vista, nos puede dar la sensación de que es un astro estático, pero nada más lejos de la realidad. En el espacio

hay satélites de las agencias espaciales americana y europea, la NASA y la ESA, que revelan mucho más de lo que se puede apreciar a simple vista. Estas sondas y observatorios espaciales, así como los telescopios que hay diseminados por la faz del planeta, permiten a los científicos observar el Sol en todas las frecuencias: ondas de radio, rayos X, ultravioleta, visible... Así sabemos que nuestra estrella es, en realidad, muy dinámica y que brilla por sí misma.

El Sol es el único cuerpo del sistema solar que produce energía por sí solo

El Sol es el único cuerpo del sistema solar capaz de producir energía por sí solo y emite nada menos que **380 millones de megavatios**. ¡En un sólo segundo es capaz de generar toda la energía que necesitaría Estados Unidos durante los próximos nueve millones de años!

El Sol nos envía parte de esa energía que genera continuamente en forma de **radiación electromagnética**, que nos proporciona luz y calor y está en la base de las reacciones fotoquímicas de los vegetales.

La base de esa energía electromagnética o fotónica es la **combustión nuclear** y para generarla el Sol funciona como un enorme reactor termonuclear que fusiona **átomos de hidrógeno** (el elemento principal del universo) para formar **átomos de helio**. Mientras se producen estas fusiones en el núcleo del Sol, a 15 millones de grados de temperatura, en la superficie los campos magnéticos son muy intensos, complejos y cambiantes y dan lugar a **manchas solares** y regiones activas. Éstas son el origen de las llamadas tormentas solares, liberaciones de energía que efectúa el Sol y que tienen efectos sobre la Tierra.

UNA GRAN OLLA A PRESIÓN

A pesar de no poder realizar medidas in situ, los heliofísicos saben cómo funciona ese núcleo del Sol con una precisión del 99%. El doctor Blai Sanahuja, del Departamento de Astronomía y Meteorología de la Universitat de Barcelona, explica que si las regiones centrales de nuestro astro se conocen mejor que otras es porque sus características se pueden describir de una forma más fácil física y matemáticamente.

Para saber lo que sucede en sus capas exteriores, los científicos aplican **modelos matemáticos teóricos**, que combinan con los datos que obtienen de las observaciones con telescopios y satélites de la masa solar, la temperatura de la superficie y la luminosidad, que es la cantidad total de energía que se registra en el exterior de esta estrella. Aun así, según explica el doctor Juan J. Curto, del Observatorio Astronómico del Ebro, por ahora los científicos son incapaces de prever cuándo se van a producir estas liberaciones de energía, que envían al espacio una **lluvia de partículas** cargadas eléctricamente (protones, electrones y diferentes tipos de iones) a unas velocidades muy altas.

En el Observatorio del Teide, en Tenerife, se encuentra uno de los mayores laboratorios del mundo dedicado al estudio del Sol y sus relaciones con la Tierra. De hecho, cuentan con la mayor concentración de **telescopios solares** del mundo, debido a su situación privilegiada y a la excelente visibilidad de que disponen. El doctor Valentín Martínez es uno de los heliofísicos que dirige sus investigaciones a intentar entender y explicar qué sucede en el interior del Sol. Este físico explica que nuestra estrella actúa como una gran olla a presión, en cuya superficie se forman burbujas de **gas caliente electrificado** (cargado de partículas ionizadas) que circula desde el interior hasta la superficie y estalla en el espacio.

Esta corriente regular de partículas se denomina **viento solar** y sopla a una velocidad de entre 1.152.000 a 2.520.000 km/h, transportando un millón de toneladas de materia hacia el espacio cada segundo. A pesar de que pueda resultar chocante, ese potentísimo viento solar no podría movernos ni un pelo, puesto que contiene muy pocas partículas en comparación con el viento terrestre, mucho más denso. La potencia de este viento solar le viene de la energía acumulada en el plasma y los campos magnéticos asociados a él.

EXPLOSIONES DESCOMUNALES

En el interior del Sol la temperatura es altísima, de millones de grados, por lo que los

CORTINAS MULTICOLORES

LAS AURORAS SON UN FENÓMENO ESPECTACULAR QUE ESTÁ RELACIONADO CON EL VIENTO SOLAR

COVER

El flujo de partículas cargadas que emite el Sol viaja por el espacio a unas velocidades de entre 320 y 700 km por segundo; cuando llega a la magnetosfera, como si fuera una tela de araña, algunas de estas partículas quedan enganchadas en ella y siguen el curso de las líneas de la fuerza magnética en dirección a la ionosfera, que es la parte de la atmósfera terrestre que se extiende entre 60 y 100 km desde la superficie de la Tierra. Allí, las partículas chocan con los gases que hay en la ionosfera, empiezan a brillar y se producen las auroras, bellísimas cortinas de luz, de colores rojo, azul y verde, que aparecen en el cielo. Si se originan en las regiones árticas, se denominan auroras boreales, y en el caso de aparecer en la zona antártica de la Tierra, auroras australes.

EL SOL

Diámetro: El Sol tiene un diámetro de cerca de 1,4 millones de kilómetros. Se necesitarían 110 planetas Tierra puestos en fila para hacer su diámetro.

Composición: Está formado mayoritariamente de hidrógeno, que supone el 75% de su masa. Y el 25% corresponde a helio.

No es sólido ni líquido, sino "plasma". Es gaseoso cerca de la superficie y se va densificando a medida que se acerca al núcleo.

NÚCLEO

El **núcleo** es el gran horno solar, donde tienen lugar las 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.

ZONA RADIATIVA

La **zona radiactiva** rodea al núcleo. En ella el gas es tan denso que un fotón (la partícula más pequeña e indivisible de luz) tarda cientos de miles de años en atravesarla y poder llegar a la superficie del Sol para salir al espacio.

ZONA CONVECTIVA

La **zona convectiva** es la siguiente capa. Es una región muy agitada en la que el plasma circula como el agua hirviendo en una caldera. El plasma más caliente asciende desde el interior del Sol y luego cae de nuevo hacia él, después de haber transportado calor hasta la superficie solar.

FOTOSFERA

La superficie visible del Sol o **fotosfera**, es la capa que irradia la luz y el calor que hacen posible la vida en la Tierra. La temperatura de la fotosfera es del orden de 6.000 grados.

CROMOSFERA

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.

CORONA

La última zona es la **corona**, un halo de plasma muy débil que rodea todo el Sol. La temperatura en la corona se aproxima a los dos millones de grados.

ESA

átomos de hidrógeno que componen esencialmente su masa están separados en sus componentes, en **electrones y protones**. Esas partículas circulan libremente y de manera continua desde el interior hacia el exterior, en una especie de flujo muy caliente, y cuando se encuentran, chocan, se fusionan y producen reacciones nucleares que liberan energía. No todo el hidrógeno se convierte en helio, parte de la masa se transforma –como explicó **Einstein** con su famosa fórmula de $E=mc^2$– en energía que asciende hasta la superficie visible, la fotosfera. Entonces se producen bellos fenómenos, como **explosiones y erupciones gaseosas**, partículas lanzadas a velocidades descomunales y destellos cegadores.

Y no son algo excepcional, sino que suceden cada día en la superficie del Sol, y su intensidad y frecuencia depende de la parte del ciclo que esta estrella atraviese, porque, de la misma manera que ocurre en la Tierra, el Sol también tiene **estaciones o ciclos**. Su comportamiento sigue un patrón de unos **once años** que viene marcado por el número de "manchas solares", zonas de la fotosfera más frías que están asociadas a intensas concentraciones en el campo magnético. Se producen, explica el heliofísico del Instituto de Astrofísica de Canarias, el doctor Valentín Martínez, en el interior del Sol y salen a la superficie. Las manchas solares pueden llegar a tener una amplitud de hasta 8.000 km y durar incluso dos meses, aunque lo habitual es que duren semanas.

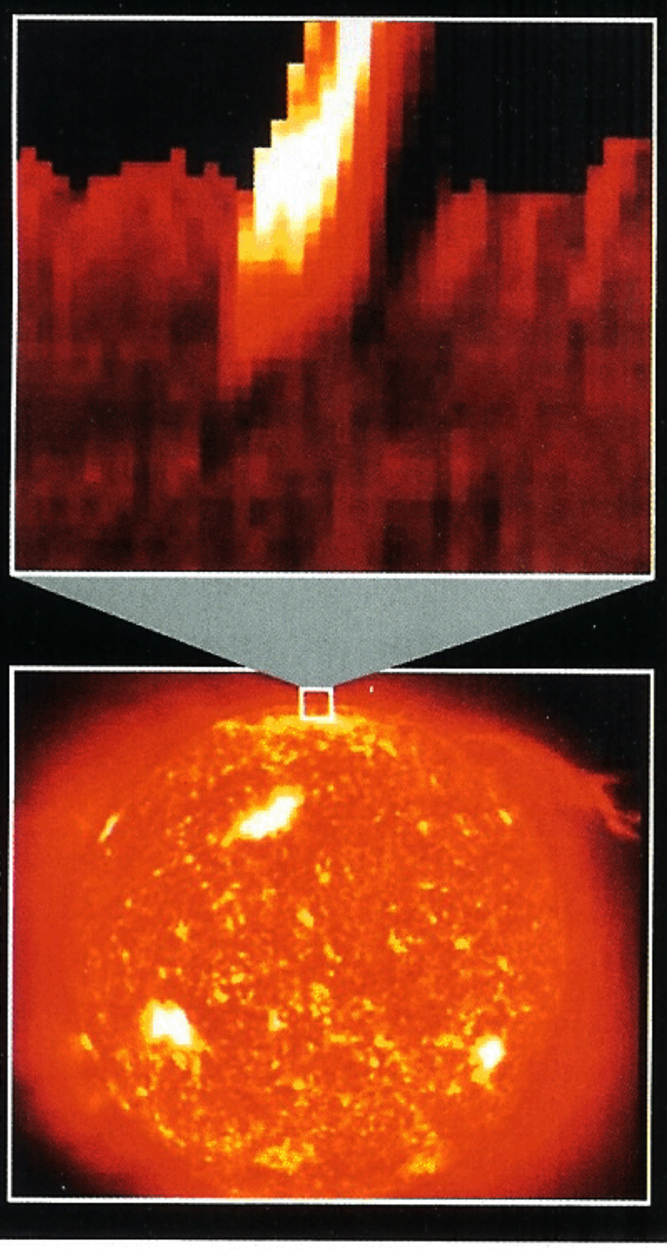
Las manchas solares son muy fáciles de reconocer, tanto es así que se observan desde hace siglos. El primero en descubrirlas fue el famoso astrónomo **Galileo Galilei**, quien se percató de ellas con la ayuda de un telescopio en 1610. Casi dos siglos más tarde, entre 1826 y 1843, un farmacéutico alemán aficionado a la astronomía, Heinrich Schwabe se pasó más de una década anotando la aparición, evolución y desaparación de estas manchas en la superficie solar. Y un siglo después, otro astrónomo aficionado, Richard Carrington, señaló que su posición no era arbitraria, sino que avanzaban desde los polos del Sol cuando su número era mínimo, hasta el ecuador cuando

VER LO INVISIBLE

LAS ÚLTIMAS TECNOLOGÍAS CONTROLAN EL MEDIO AMBIENTE ESPACIAL

Los satélites artificiales están equipados con telescopios, cámaras de última tecnología y sensores químicos y físicos muy sofisticados que permiten estudiar el interior del Sol, su superficie visible, su atmósfera, el viento solar y el espacio magnético alrededor de la Tierra. Orbitan a más de un millón y medio de kilómetros de la Tierra y realizan observaciones que permiten conocer cada vez mejor cómo funciona el sistema Sol-Tierra.

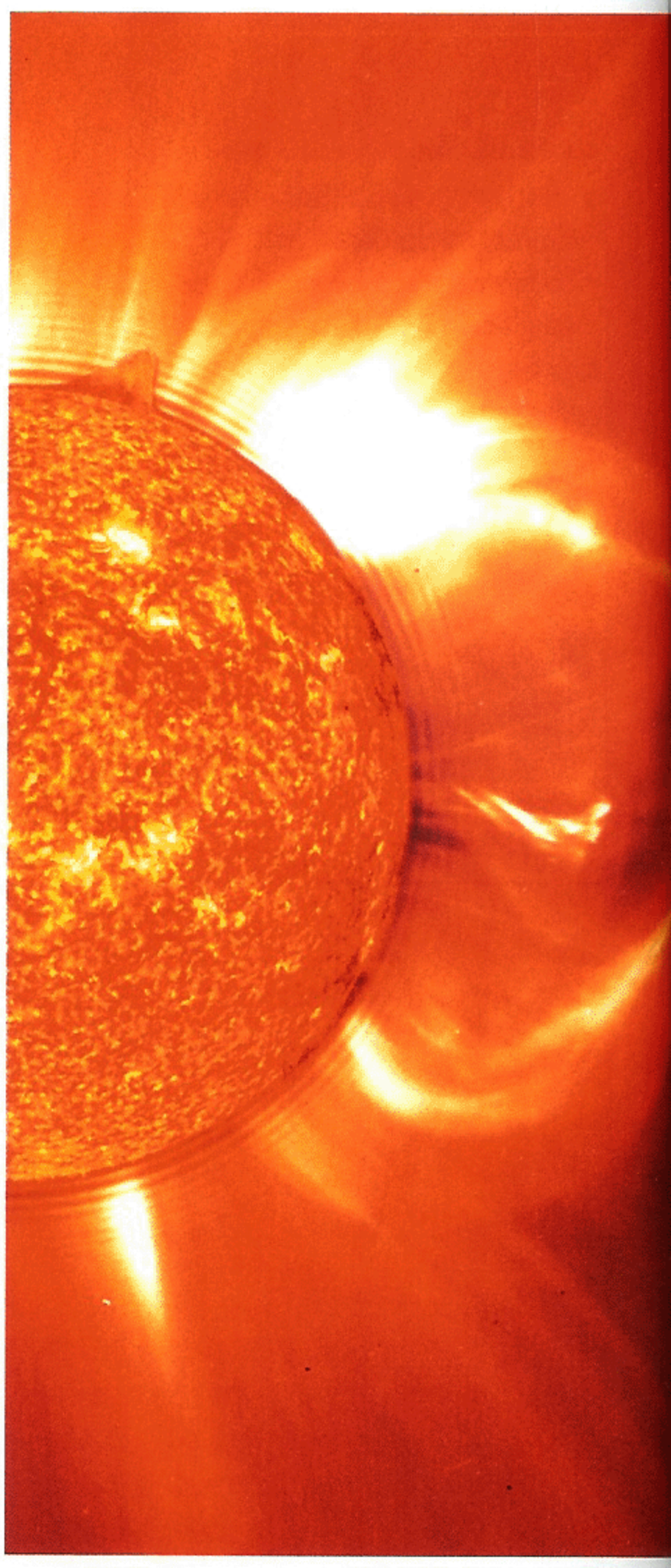
El uso de esas sofisticadas tecnologías permite detectar y monitorizar los fenómenos que se producen en el medio ambiente espacial, así como estudiar el Sol y buscar señales de fulguraciones y de CME, medir el viento solar y la energía que circula en la alta atmósfera de la tierra para ver si se está fraguando una tormenta magnética. Sus investigaciones ayudan a comprender mejor a nuestra estrella vecina y cómo la radiación procedente de ella puede afectar a la salud humana. En la foto de abajo, un tornado solar captado por el observatorio solar espacial SOHO, en abril de 1998.



ESA-NASA-CDS-RAL-PIKE & MASON

alcanzaban su número máximo. Este registro continuo de manchas solares desde el siglo XVII permitió descubrir muchas cosas sobre ellas: que son una **manifestación del campo magnético solar**, que es cambiante, y que, en función de la aparición de éstas, se sabe que la actividad solar se desarrolla por ciclos.

En los momentos de máxima actividad, cuando el número de manchas es elevado, la superficie del Sol se vuelve turbulenta y aumenta la cantidad de materia y energía emitida al espacio en forma de fulguraciones y de eyecciones. Cuando la energía magnética fabricada y almacenada en la atmósfera solar cercana a la mancha se libera repentinamente, se produce una **fulguración**, un estallido brusco y muy brillante que equivale a 10.000 erupciones volcánicas. A pesar de que sólo duran unos minutos, pueden expulsar rayos X intensos, rayos gamma y ondas de radio a la Tierra, que causan problemas a las señales de radio de origen humano. Esas ráfagas también pueden acelerar partículas hacia nuestro planeta, dañar naves espaciales y poner en peligro a los astronautas. Si esas liberaciones de energía se producen a escala global, se denominan **eyecciones coronales de masa**, aunque en el ámbito científico se conocen más por sus siglas en inglés, CME (*Coronal mass ejection*), ya que se trata de gigantescas erupciones de miles de millones de toneladas de materia que el Sol arroja al espacio a millones de kilómetros por hora.



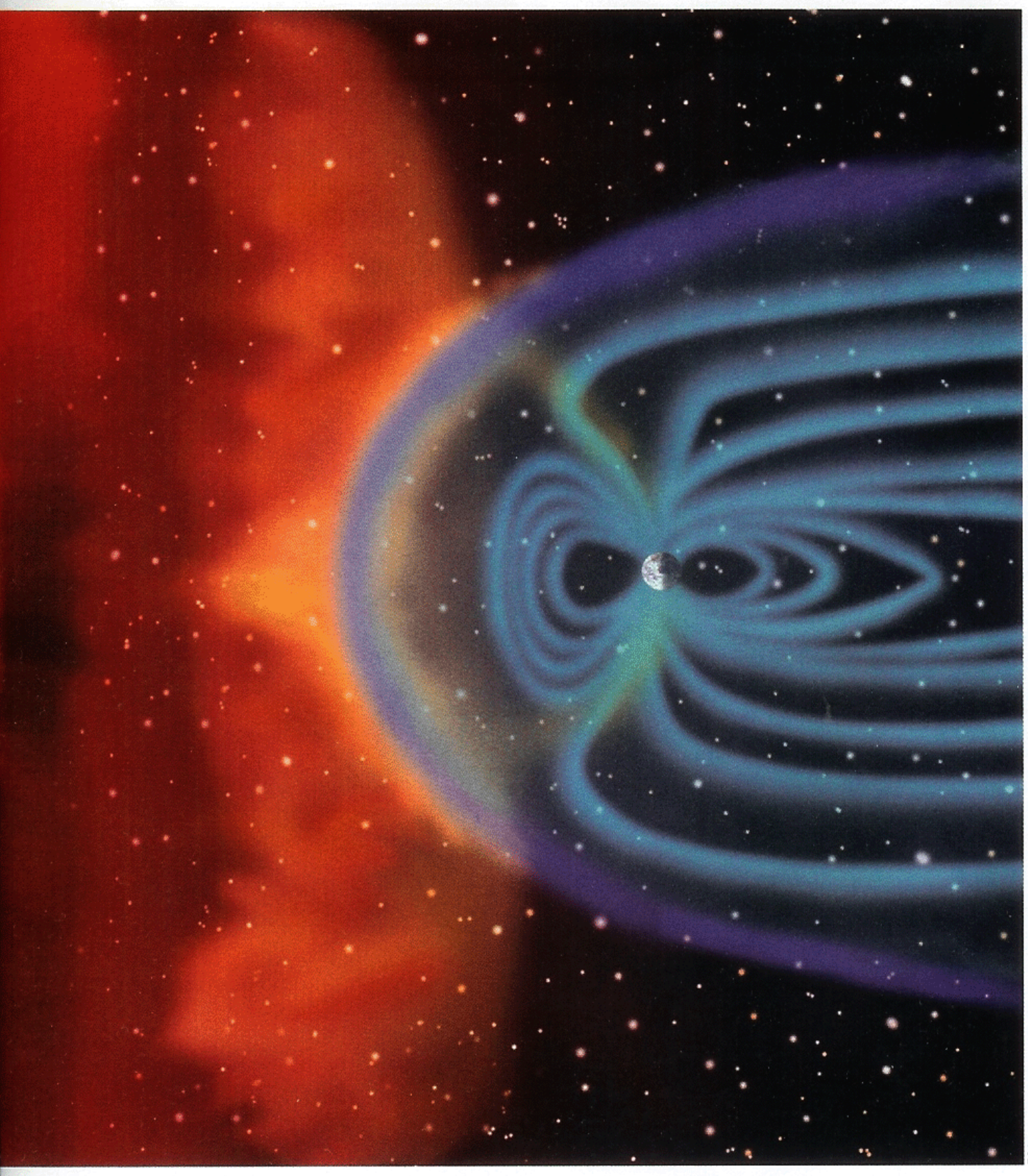
UN ESCUDO PROTECTOR

A lo largo de la historia de nuestro sistema solar, el viento solar ha arrasado la atmósfera de Mercurio y los científicos creen que muy probablemente haya sido también el causante de la pérdida de la mayor parte de la atmósfera de Marte. Pero, ¿y qué ocurre con la Tierra? ¿Cómo logra nuestro planeta zafarse de esas agresiones? Pues bien, afortunadamente, gracias a la **magnetosfera**, un enorme y potente escudo protector, capaz de repeler ese bombardeo de millones de partículas cargadas que intentan alcanzarnos. Debido a este flujo de electrones y protones, el campo magnético terrestre está muy deformado, explica el doctor Sanahuja, de la Universitat de Barcelona, comprimido por la parte que mira al Sol y expandido en su zona nocturna en forma de cola. Para visualizar esta imagen, basta con imaginar un pequeño riachuelo, que sería el flujo de partículas, en cuyo curso colocamos una piedra, en este caso la Tierra.

El viento solar es un sustrato que se mueve radialmente hacia el espacio exterior, a una velocidad relativamente constante. En ocasiones, se ve perturbado por violentas erupciones de masa de la corona solar, que lo alteran y dan lugar a las **tormentas geomagnéticas** que, pese a ser invisibles para los seres humanos, pueden tener efectos importantes sobre nuestro planeta. La magnetosfera es un potente escudo protector pero no es infalible y a veces se le cuelan algunas partículas del viento solar, que logran penetrar en la atmósfera y generan las bellas auroras. Ionizan las capas altas de la atmósfera y pueden provocar cambios en las órbitas de los satélites artificiales.

VÍCTIMAS TECNOLÓGICAS

Por sorprendente que pueda parecer, las últimas tecnologías son las principales víctimas de estas tormentas solares. Cuando



ESA

se producen estos fenómenos, centenares de **satélites en órbita**, que proporcionan servicios de navegación por GPS, de televisión, de móvil, de seguridad, de pronósticos meteorológicos, se ven afectados, se desorientan e incluso pueden llegar a estropearse por completo. Resulta chocante pensar que un puñado de minúsculas partículas, como son los electrones, pueden llegar a dañar satélites geoestacionarios de comunicaciones de gran envergadura y fabricados con las últimas tecnologías. Pero sucede, son capaces de perforar la piel de estos aparatos y provocarles **cortocircuitos**, alterando su funcionamiento, desviando su trayectoria e incluso provocando un fallo general. Según el Departamento de Defensa Estadounidense, cada año se producen alrededor de **200 averías** en satélites por este motivo. Por eso, explica Valentín Martínez, los científicos al prever que se va a producir una de estas descargas, aletargan a los satélites para que no se dañen sus sistemas. Eso si la misión del satélite no es la de estudiar esa emisión de partículas.

Las tormentas solares pueden dañar los satélites de comunicaciones

En la Tierra, las tormentas geomagnéticas pueden llegar a causar verdaderos estragos en las **redes de distribución eléctrica**, puesto que generan fluctuaciones en el campo geomagnético que pueden inducir **sobrecargas** en el tendido eléctrico. Así ocurrió en 1989, una tormenta gigante ocasionó un gran apagón en Québec (Canadá), que afectó a seis millones de personas durante nueve horas. Estas tormentas pueden dañar, además de las redes de electricidad, los **cables** transatlánticos que se usan para las comunicaciones, los cables de **fibra óptica**, e incluso las tuberías largas y los conductos de petróleo y gas subterráneos, en estos casos por erosión, e interfieren en la propagación de las ondas de radio UHF y VHF.

La tecnología no es la única afectada por estas rabietas solares. Durante una tormenta geomagnética, hay especies **animales** que pierden su capacidad de orientación, como las aves migratorias y algunos mamíferos marinos (delfines y ballenas). También repercuten sobre la **salud humana**. No hay que olvidar que estas partículas cargadas que nos escupe el Sol ejercen efectos de **radiación**. Un astronauta, por ejemplo, está expuesto a dosis de radiación mil veces más potentes que las que recibimos habitualmente, lo que pueden conllevar un **deterioro de cromosomas**, debilitamiento del sistema inmune, daños en el globo ocular y la retina, e incluso cáncer. En el año 1972, recuerda el doctor Sanahuja, se envió al espacio la **misión Apolo** y hubo un vuelo en dos momentos del año distintos. En esa fecha se produjo una tormenta solar muy potente, la segunda más importante de la que se tiene constancia. Si aquella tormenta llega a coger a los astronautas en el espacio, hubieran muerto por los efectos de la dosis de radiación que hubieran recibido, concluye este físico catalán.

CORAZA MAGNÉTICA

Miles de millones de toneladas de materia solar chocan contra la magnetosfera terrestre

EL ESPACIO TIENE SU CLIMA

Los daños graves e irreversibles sobre la salud humana y las astronómicas pérdidas económicas provocadas por las tormentas solares propician que en los últimos años se potencie la inversión en la investigación en **meteorología espacial**, una rama de la física aplicada que estudia los efectos de la actividad solar sobre la Tierra y otros planetas, y también sobre los hombres y su actividad a corto y largo plazo.

El gran reto de la física solar es desarrollar métodos de predicción que permitan explicar cuándo van a ocurrir estos fenómenos, lo que abriría la puerta a importantes avances científicos, como misiones tripuladas a Marte.

PARA SABER +

ENSAYO

WHITEHOUSE, David. *El Sol. Una biografía.* Madrid: Kailas Editorial, 2006.

INTERNET

Web del satélite Soho de la Nasa. (En inglés.)
http://sohowww.nascom.nasa.gov
Web del satélite Soho de la ESA (En inglés.)
http://www.esa.int/science/soho
El Sol en acción (En inglés.)
http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/sunactv.htm