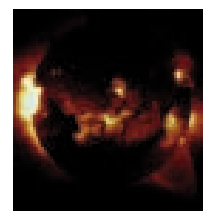


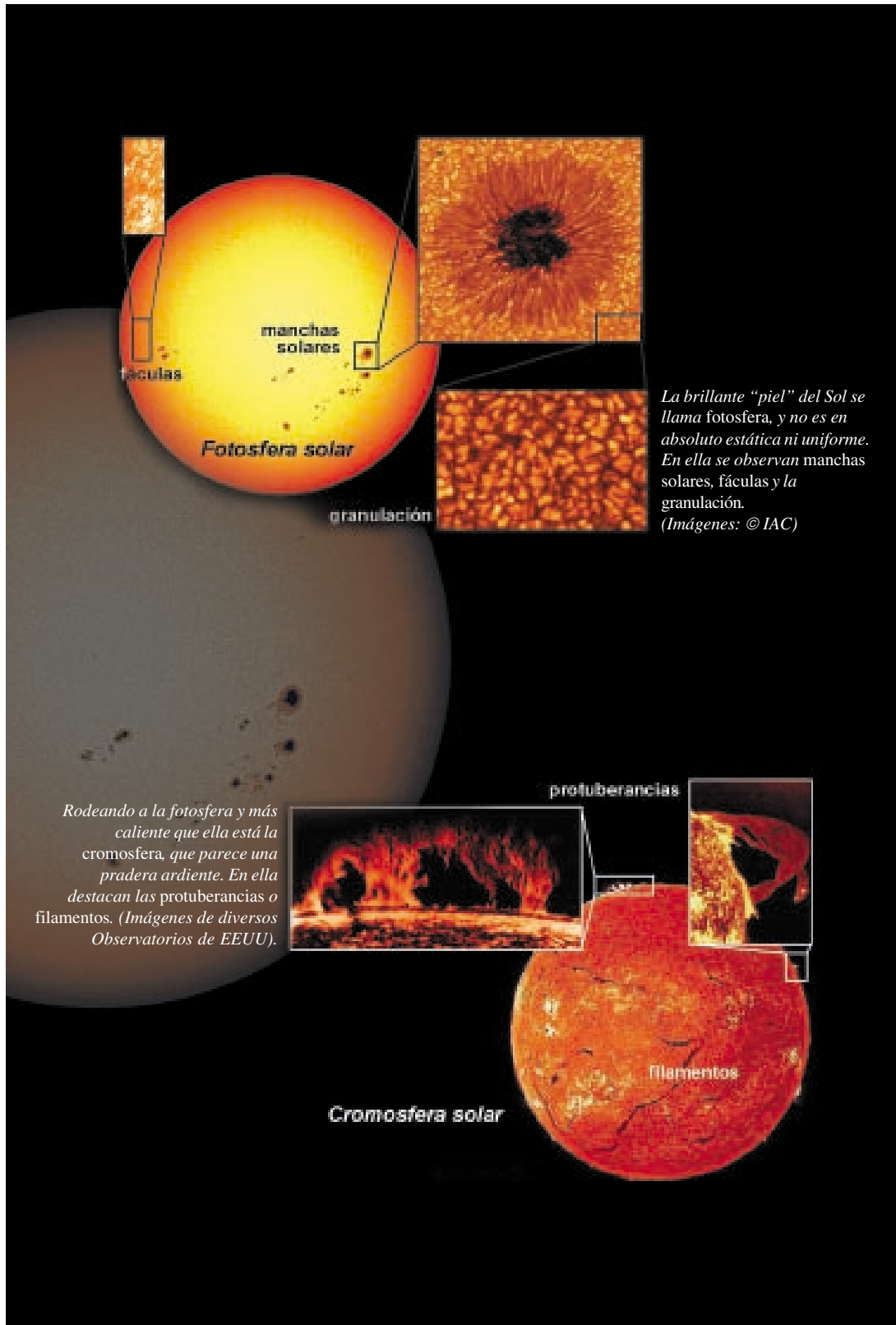
## **La estrella de nuestra vida**

Cuanto más avanzamos en el estudio del Sol, más misterios nos desafían. La nuestra es una estrella fascinante, dinámica y turbulenta. Y necesitamos conocerla muy bien porque el Sol es, sin duda alguna, la estrella de nuestra vida. Por esta razón y con motivo del V aniversario de la puesta en marcha del satélite solar SOHO, las agencias espaciales europea y americana (ESA y NASA) dedicaron el año pasado un esfuerzo especial a la divulgación de la investigación del Sol y de sus efectos en el planeta Tierra. El IAC, el Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna y el Museo de la la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, entre otros, se sumaron a la celebración del Día Internacional Sol-Tierra. Hoy, los observatorios de Canarias albergan el más completo conjunto de telescopios y otros instrumentos para la investigación solar, que seguirá aumentando en el futuro.



**Inés Rodríguez  
Hidalgo**  
(ULL/IAC)





Los antiguos griegos pensaban que el Sol era eterno e inmutable, una esfera perfecta. Pero hace ya casi cuatro siglos Galileo observó por primera vez su superficie a través de un telescopio, descubriendo en ella regiones oscuras llamadas *manchas solares*, que emergen, cambian y desaparecen. Hoy sabemos que las manchas son uno de los fenómenos magnéticos que ocurren en el Sol. Su número e intensidad aumenta y disminuye aproximadamente cada 11 años a lo largo del llamado *ciclo de actividad solar* (en Astrofísica, «actividad» designa lo relacionado con el magnetismo), y a este ciclo se superponen variaciones temporales más lentas. La cantidad de energía emitida por el Sol es mayor en épocas de máxima actividad, como la de los últimos años, lo que hace a nuestra estrella parcialmente responsable del cambio climático en la Tierra. Además, a escalas de tiempo mucho más cortas, el espacio interplanetario en que domina el campo magnético solar es afectado por fenómenos transitorios, principalmente emisiones de partículas cargadas -a veces tan violentas que producen *tormentas magnéticas*- que constituyen el *clima o medioambiente espacial*. A pesar de la protección de la *magnetosfera* o escudo magnético terrestre, el clima espacial influye notablemente sobre nuestro entorno: causa las espectaculares *auroras boreales y australes*, normalmente en latitudes próximas a los polos, afecta a los satélites y naves espaciales, sus instrumentos y tripulantes, y perturba las comunicaciones y hasta las redes de tuberías y fluido eléctrico y los aparatos magnéticos en Tierra. Aunque a simple vista el Sol no parece cambiar, una observación más atenta y cuidadosa, como la que realizan los físicos solares con potentes telescopios e instrumentos en Tierra y en el espacio, revela que *convivimos con una estrella fascinante, dinámica y turbulenta*.

El Sol es una más de los doscientos mil millones de estrellas que componen nuestra galaxia, la Vía Láctea. La Tierra y los otros planetas del Sistema Solar describen órbitas elípticas alrededor del Sol. La distancia promedio de nuestro planeta a él es de unos 149 millones de km, por lo que siempre vemos el Sol como era hace 8 minutos, el tiempo que su luz tarda en alcanzarnos. Veamos ahora algunos de sus "datos de

«La cantidad de energía emitida por el Sol es mayor en épocas de máxima actividad, como la de los últimos años, lo que hace a nuestra estrella parcialmente responsable del cambio climático en la Tierra.»

identidad": es una estrella ordinaria, con una masa un tercio de millón de veces mayor que la de la Tierra y un radio de 696.000 km; emite *radiación electromagnética* de la que forman parte la *luz* que percibimos con los ojos, y otros "colores" que no podemos ver, como la radiación infrarroja, las ondas de radio, los rayos ultravioleta, rayos X y gamma; su potencia total es 386 trillones de megawatios, de la que recibimos el equivalente a la de unas 14 bombillas de 100 w por cada metro cuadrado. Un kilogramo de materia de la superficie solar está formado por unos 730 gramos de hidrógeno, 250 de helio y 20 de elementos químicos más pesados, casi todos los que encontramos en la Tierra (hierro, carbono, calcio, potasio, sodio, etc).

Pero el material del Sol no es sólido, ni líquido, ni gaseoso, sino un *plasma*, similar a un fluido caliente en el que gran parte de las cargas positivas y negativas de los átomos están separadas. En el plasma solar, un excelente conductor de la electricidad y en continuo movimiento, se originan corrientes eléctricas de hasta billones de amperios y campos magnéticos unas mil veces mayores que el terrestre. La edad actual del Sol, según los *modelos de estructura y evolución estelar* (complejas "maquetas" físico-matemáticas expresadas en forma de ecuaciones) se estima en unos 4.600 millones de años, y le queda otro tanto en una situación similar... así que no hay motivo de alarma inmediata a este respecto.

Para entender el "funcionamiento" del Sol hay que saber cómo es por dentro, pero la materia bajo su superficie es opaca a la luz, así que no es posible observar directamente el interior solar. Nuestro conocimiento del mismo proviene de los modelos mencionados y es confirmado en gran medida por técnicas indirectas: la *Heliosismología*, que investiga el "pulso" del Sol, que vibra como si fuese un instrumento musical, desde su interior a su superficie; y el estudio de los *neutrinos* solares, partículas elementales producidas en el "corazón" del Sol que aportan información de primera mano sobre éste ya que apenas interaccionan con la materia que encuentran. Ésta es la estructura interna del Sol: en su *núcleo*, un gran horno a 15 millones de grados y 160 veces más denso que el agua, se



El 2 de abril de 2001 una intensa fulguración y una expulsión de masa coronal, asociadas al mayor grupo de manchas de los últimos 10 años, produjeron auroras incluso en Niza. (Imágenes cortesía de SOHO).

unen núcleos de hidrógeno (el elemento químico más ligero y más abundante en el Universo) para formar núcleos de helio en las *reacciones termo-nucleares de fusión* que liberan neutrinos y generan la energía solar en forma de radiación electromagnética. Rodea al núcleo la *zona radiativa* (como un material "al rojo vivo") en la que ondas electro-magnéticas transportan la energía, igual que hacen viajar por el aire hasta nosotros el calor de una resistencia eléctrica. Hacia el último tercio del radio solar este mecanismo de transporte de energía es sustituido por enormes burbujas de material que llevan el calor desde la base de esta *zona convectiva* hasta la superficie, como sucede en un caldero de potaje hirviendo.

De poco serviría que la energía fabricada en el núcleo solar viajase hacia fuera a través de un material opaco a la luz... si no fuera porque los últimos 500 km son transparentes a la radiación, que escapa por fin desde la superficie visible del Sol o *fotosfera*. A unos 5.800 grados, emite

fundamentalmente luz visible. El aspecto de la fotosfera es el de una "paella" con granos brillantes de unos 1.500 km, que corresponden a la parte superior de las más pequeñas burbujas convectivas: la *granulación*. De forma transitoria y frecuentemente en grupos aparecen *manchas*, intensas concentraciones de campo magnético unos 2.000 grados más frías que sus alrededores, rodeadas de *fáculas*, extensas áreas brillantes. A veces se producen *fulguraciones*, que son enormes explosiones que liberan una energía equivalente a 10 millones de bombas de hidrógeno almacenada en el campo magnético. Pero nuestra

estrella no termina en su superficie habitualmente visible: durante unos segundos al comienzo y final de la totalidad en un eclipse de Sol se observa un resplandor rojizo que corresponde a la  *cromosfera*, una capa de espesor irregular, más caliente que la fotosfera a la que rodea. En ella destacan las *protuberancias*, grandes formaciones de plasma, más denso y frío que sus alrededores, suspendidas sobre la superficie del Sol, a menudo siguiendo la forma de las líneas de campo magnético. Se llaman *filamentos* cuando se observan como cintas oscuras proyectadas sobre el disco solar. Tampoco en la  *cromosfera* termina

el Sol: a medida que el eclipse continúa resulta visible una majestuosa "diadema" blanquecina llamada la  *corona*. Emite rayos ultravioleta y X, exhibe *chorros* y *penachos* de tamaño hasta varias veces el radio solar, y puede alcanzar los 2 millones de grados: la causa de este calentamiento es todavía uno de los misterios que el Sol guarda. Desde la corona se emite un flujo continuo de partículas cargadas, a gran velocidad y en todas direcciones, denominado *viento solar*. Frecuentemente se producen gigantescas erupciones llamadas *expulsiones de masa coronal* (o *CMEs*, por sus siglas en inglés), los fenómenos más violentos y espectaculares del Sol. Es como si la corona se desgarrase para liberar, en oca-

siones, hasta 20.000 millones de toneladas de materia solar en forma de enormes burbujas de plasma que viajan a millones de kilómetros por hora a través del espacio, a veces hacia la Tierra. Ni siquiera la corona es el límite exterior de la tenue "atmósfera" del Sol (sus capas observables): el amplio espacio de nuestro sistema planetario en el que la densidad del viento solar es mayor que la del medio interplanetario es la *heliosfera*, y realmente vivimos dentro de ella, ya que su límite exterior queda más allá de la órbita de Plutón.

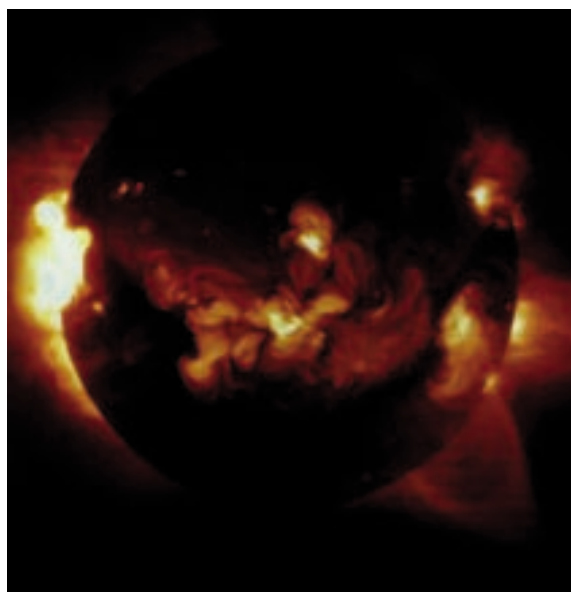


La corona solar durante el eclipse del 11 de agosto de 1999. (Imagen cortesía de SheliOS).

El gran desafío para la Física Solar del siglo XXI es conocer en detalle el magnetismo solar, que origina las manchas, protuberancias y fulguraciones, determina la estructura y dinámica de la corona y conduce el viento solar y las CMEs. Gracias a los avances de la alta tecnología espacial, los telescopios y ordenadores en tierra y los incansables estudios sobre el Sol (desde los antiguos dibujos a mano de su superficie), los científicos van desvelando los secretos del sistema Sol - Tierra: además de realizar investigación básica sobre la estructura, "funcionamiento" y variabilidad de nuestra estrella, buscan señales de CMEs y fulguraciones, registran continuamente 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. Sus descubrimientos permitirán algún día predecir el medioambiente espacial y entender mejor el impacto sobre la Tierra de *la estrella de nuestra vida*.

«El gran desafío para la Física Solar del siglo XXI es conocer en detalle el magnetismo solar, que origina las manchas, protuberancias y fulguraciones, determina la estructura y dinámica de la corona y conduce el viento solar y las llamadas *expulsiones de masa coronal*.»

La corona solar está tan caliente que emite rayos X. (Imagen del satélite Yohkoh).





## **TELESCOPIOS E INSTRUMENTACIÓN DE TIPO SOLAR EN LOS OBSERVATORIOS DEL IAC**

Observatorio del Teide



**- Telescopio Newton al Vacío (VNT)**

Instalado en 1972 por el Instituto Kiepenheuer de Física Solar de Friburgo (Alemania), fue, después del Heliógrafo Razdow, el primer telescopio solar del Observatorio. Su diámetro y su capacidad de tomar imágenes del Sol con diferentes filtros ha permitido realizar multitud de trabajos de investigación y confirmar la excepcional calidad del cielo del Observatorio. Actualmente se dedica a tomar imágenes CCD y a realizar trabajos de fotometría. Hoy es propiedad del Instituto de Astrofísica de Canarias. Datos técnicos: torre con tubo al vacío, montura ecuatorial, espejo primario de 40 cm de diámetro, cámara CCD y fotómetro.



**- Telescopio Gregory Coudé (GCT)**

**(En fase de desmantelamiento para ser sustituido por GREGOR, de 1,5 m de diámetro).**

Instalado en 1985 tras dos décadas en Locarno (Suiza), pertenece a la Universidad alemana de Gotinga. En un principio, destinado principalmente a analizar el estado físico de la atmósfera del Sol utilizando diferentes detectores y filtros, y a medir los campos magnéticos en las manchas solares. Datos técnicos: torre de 20 m con tubo al vacío de 18 m, montura ecuatorial, espejo primario de 45 cm de diámetro, sistema óptico Coudé, distancia focal efectiva 25 m, espectrógrafo de alta resolución.



**- Torre Solar al Vacío (VTT)**

Instalado en 1989, pertenece al Instituto Kiepenheuer de Física Solar de Friburgo (Alemania). Estudia la dinámica, estructura y composición química de la atmósfera solar, además de la evolución de la granulación solar utilizando un «correlador solar», instrumento único en su género desarrollado por el IAC. Datos técnicos: torre de 38 m con tubo al vacío de 25 m, espejo primario de 70 cm de diámetro, espectrógrafo vertical de 15 metros de longitud, montura ecuatorial, distancia focal efectiva de 46 m ( $f/77$ ), laboratorio óptico con interferómetro Fabry Perot y correlador solar. También cuenta con un polarímetro infrarrojo (TIP) de última generación desarrollado en el IAC.



**- THEMIS (Telescopio Heliográfico para el Estudio del Magnetismo y de las Inestabilidades Solares)**

Instalado en 1998, es resultado de una colaboración entre Francia e Italia. Con sus 90 cm de diámetro, es el mayor telescopio solar del Observatorio del Teide y está diseñado para medir la intensidad y la dirección del campo magnético solar antes de su contaminación por polarización instrumental. Destaca su capacidad para operar simultáneamente en diversas bandas. Datos técnicos: torre de 27 m de altura con cúpula de 9 m, montura altacimutal, espejo primario de 0,90 m de diámetro, 2 espectrógrafos en serie, 20 cámaras CCD, espejo activo, analizador de polarización e interferómetro (monocromador panorámico).



**- Laboratorio Solar**

Su nacimiento coincidió prácticamente con el inicio de la heliosismología. En 1975 la Universidad de Birmingham (UK) instaló el instrumento «Mark-I», un espectrofotómetro solar para medir velocidades en la superficie del Sol con el que se demostró que el Sol vibra con sus modos propios de oscilación. A partir de ahí se impulsaron los estudios de sismología solar. A mediados de los años 80 se empezaron a instalar en el observatorio redes internacionales de sismología solar como GONG (*Global Oscillations Network Group*), SLOT, BiSON, IRIS, TON, ECHO, etc. En la actualidad, el laboratorio solar acoge 7 instrumentos/experimentos en los que participan, junto al IAC, instituciones del Reino Unido, Estados Unidos, Francia y Taiwan, además de la ESA.

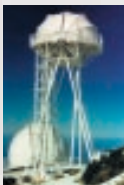
Observatorio del Roque de los Muchachos



**- Telescopio Solar Sueco (SVST)**

**(En fase de desmantelamiento para ser sustituido por el NSST, de 97 cm de diámetro).**

Pertenece a la Real Academia de Ciencias de Suecia. Instalado en 1982, vio su «primera luz» en diciembre de 1985. Ha realizado excelentes observaciones de granulación y manchas solares y de campo magnético en la atmósfera solar. Se ha destinado en diversas ocasiones a realizar observaciones planetarias, como la observación de Júpiter con motivo de la entrada de la sonda Galileo en su órbita, en 1995. También ha permitido obtener medidas de polarización como apoyo a la misión espacial SOHO para la observación del Sol. Datos técnicos: torre al vacío de 16 m de altura, montura altacimutal, lentes acromáticas de 48 cm, distancia focal efectiva de 22,4 m, espectrógrafo Littrow, sensor de frente de onda, sensores de diversidad de fase, polarímetro, magnetógrafo vectorial, óptica activa, sistema de imagen simultánea en múltiples longitudes de onda. También cuenta con un polarímetro para el visible (LPSP) de última generación desarrollado en el IAC.



**- Telescopio Abierto Holandés (DOT)**

Pertenece a la Fundación de Tecnología de los Países Bajos, fue instalado en 1997. Su original diseño permite obtener imágenes de excelente calidad reduciendo al mínimo las perturbaciones atmosféricas y las fluctuaciones de temperatura. Combina observaciones de alta resolución de estructuras magnéticas en la superficie solar con las observaciones de los satélites solares SOHO y TRACE. Datos técnicos: telescopio abierto solar/nocturno, torre de estructura abierta de 15 m de altura sin cúpula, espejo primario de 45 cm de diámetro.