

# INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

<http://www.iaa.csic.es/revista.html>

FEBRERO 2007, NÚMERO: 21

## 2007: EL AÑO DEL SOL

EL SOL, POR PARTES  
MANCHAS SOLARES  
EL CAMPO MAGNÉTICO SOLAR



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
IAA-CSIC

<http://www.iaa.csic.es>



# 2007

## Año Internacional Heliofísico

En enero de 1875, Carl Weyprecht sugirió a la Academia de Ciencias de Viena la necesidad de realizar un estudio del Polo Norte, coordinado entre científicos de todo el mundo. Las observaciones comenzaron en agosto de 1882 y terminaron en 1883. Fue el Primer Año Internacional Polar, al que siguió un segundo entre 1932 y 1933.

En 1957, más de 60.000 científicos de 66 naciones fundaron el Año Internacional Geofísico, centrado en el estudio global de nuestro planeta. El siguiente paso lógico consistía en extender este estudio global para abarcar la conexión entre la Tierra y el Sol a través de la heliosfera, la zona de influencia del Sol. Por este motivo el año 2007 ha sido declarado Año Internacional Heliofísico. Era lógico que dedicáramos este número de Información y Actualidad Astronómica al astro rey.

### SUMARIO

#### REPORTAJES

- La estrella imprescindible ...3
- Pero, ¿cómo medimos el campo magnético? ...5
- El interior de las manchas solares ...8

#### CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES ...11

#### DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS

- El satélite que indagará en el campo magnético solar ...12

#### ACTUALIDAD ...14

#### ENTRE BASTIDORES ...16

#### HISTORIAS DE ASTRONOMÍA

- Una predicción, un cristal, un derrumbe y un incendio ...17

#### HOMENAJE A LUCAS LARA ...18

#### ACTIVIDADES IAA ...20

- El increíble y asombroso viaje de Fotón ...23

**Director:** Carlos Barceló. **Jefa de ediciones:** Silbia López de Lacalle. **Comité editorial:** Antxon Alberdi, Emilio J. García, Rafael Garrido, Javier Gorosabel, Rafael Morales, Olga Muñoz, Miguel Ángel Pérez-Torres, Julio Rodríguez, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Imprime:** ELOPRINT S.L.

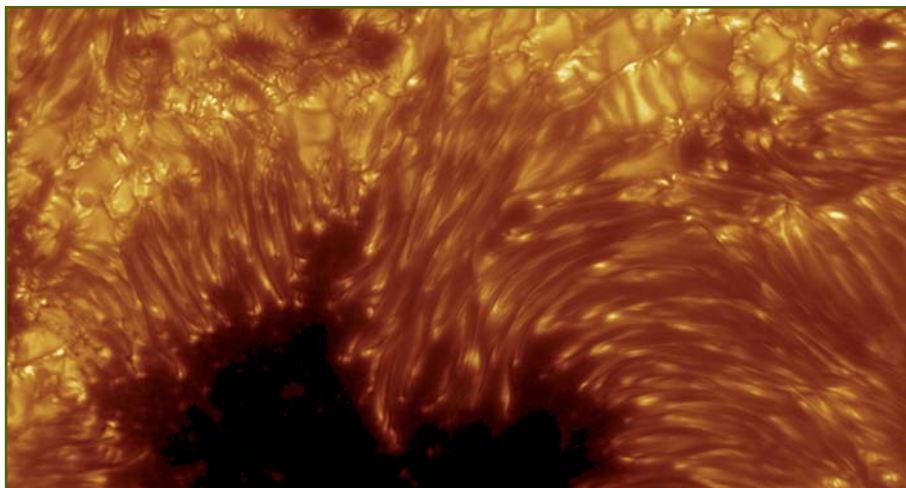
Esta revista se publica con la ayuda de la Acción Complementaria CCT005-06-00178 del Programa Nacional de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

# La estrella imprescindible

EL SOL: UNA ESTRELLA MEDIANA QUE GIRA ALREDEDOR DEL CENTRO DE LA VÍA LÁCTEA JUNTO CON OTROS CIENTO MIL MILLONES DE ESTRELLAS. PERO ES LA ÚNICA IMPRESCINDIBLE PARA NOSOTROS, Y TAMBIÉN LA ÚNICA QUE PODEMOS ESTUDIAR DE CERCA.

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)



AL IGUAL QUE EL RESTO DE LAS ESTRELLAS, el Sol es una esfera de gas incandescente que debe su energía a las reacciones termonucleares de su núcleo: la fusión de átomos de hidrógeno da lugar al helio, proceso en el que se libera la energía que viaja hacia la superficie y que se manifiesta en forma de luz y calor. Pero en ese viaje hasta la superficie la energía se transporta de distintos modos y a través de las diversas capas del Sol, en un recorrido que puede durar un millón de años.

## El interior del Sol

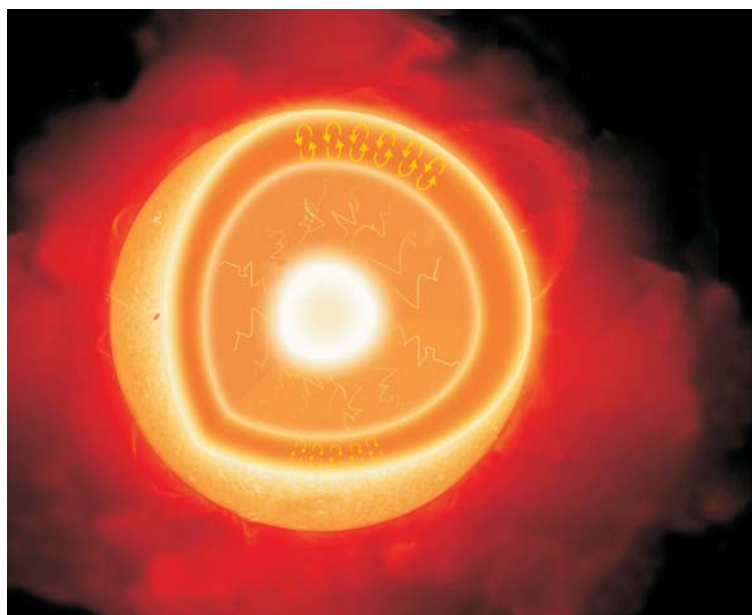
El núcleo solar, que comprende un 25% del

radio del Sol y alberga unas condiciones de temperatura y densidad que permiten la fusión del hidrógeno (hasta 15 millones de grados y 150 kg/l, diez veces la densidad del plomo), limita con la zona radiativa, que abarca el siguiente 45% del radio solar y se caracteriza por el modo en que se transporta la energía: los fotones, o partículas de luz, tras chocarse insistentemente con los apretadísimos átomos que constituyen el material estelar, consiguen acarrear su contenido energético hasta la zona convectiva, que se extiende casi hasta la superficie. Aquí el movimiento de los gases toma el relevo en el transporte de energía: el gas,

al igual que en una cazuela con agua hirviendo, se mezcla y burbujea. Al ascender transporta la energía hacia la superficie, donde se manifiesta en forma de lo que se conoce como granulación.

## Las regiones externas

La imagen del Sol que estamos acostumbrados a ver, la de un disco amarillo con algunas manchas oscuras, corresponde a la fotosfera o "esfera de luz", una capa muy fina que presenta estructuras muy características, como gránulos y manchas. En tanto que los primeros se deben a la "ebullición" del gas ya mencionada, las man-



## EL SOL: datos básicos

**Diámetro:** 1.391.980 km (109 veces el terrestre).

**Masa:**  $2 \times 10^{30}$  kg (2000 billones de billones de toneladas, o 332.946 veces la terrestre)

**Temperatura en la superficie:** 6.000° C

**Temperatura en el centro:** 15.000.000° C

### Composición:

- Hidrógeno (93,9%)
  - Helio (5,9% de su masa)
  - Elementos pesados (0,2% de trazas de carbono, nitrógeno, oxígeno, neón, magnesio, silicio y hierro).
- Estado:** ni sólido ni gaseoso, la masa solar se denomina plasma. Este plasma es tenue y gaseoso en las zonas cercanas a la superficie y va haciéndose más denso hacia el núcleo.

**Rotación:** el Sol no rota de forma rígida como los planetas sólidos, sino que las regiones ecuatoriales rotan más rápido, con un periodo de unos 24 días, que los polos, que completan una vuelta en unos 30 días.

chas son zonas más frías que vemos oscuras en comparación con sus alrededores.

Casi totalmente transparente, la cromosfera se encuentra justo por encima de la fotosfera. Las imágenes que se han obtenido de esta región han sido tomadas durante el principio y el final los eclipses del Sol totales, en los que aparece como un anillo rojizo, o con filtros muy especí-

ficos. Dichas imágenes revelan una serie de fenómenos, como los filamentos, protuberancias y espículas.

Finalmente, la corona es la capa más externa de la atmósfera solar, formada por gas de muy baja densidad y con una extensión que supera los millones de kilómetros. Podemos observarla durante los eclipses totales de Sol como un halo blanquecino y, por su fuerte emisión en

rayos X debido a su elevada temperatura -cercana al millón de grados-, también con telescopios diseñados para esta longitud de onda. Con ellos se han obtenido imágenes que muestran "agujeros" en los polos de la corona, de donde se cree que procede el viento solar, un chorro de partículas eléctricamente cargadas que, con velocidades de unos 400 km/s, invade el espacio interplanetario.



**FOTOSFERA. LA "PIEL" DEL SOL**

Casi toda la energía que recibimos del Sol procede de la fotosfera, una capa muy delgada, de unos 600 kilómetros; se trata de una de las zonas más frías del Sol y la más densa de la superficie solar. Es lo que vemos cuando miramos el Sol: un enorme disco amarillo con algunas manchas oscuras.

**CROMOSFERA: FILAMENTEOS Y PROTUBERANCIAS**

Son densas nubes de material más frío que quedan suspendidas sobre la superficie siguiendo los bucles del campo magnético. Como consecuencia de su menor temperatura, se muestran oscuras en el disco (filamentos) y brillantes en el limbo (protuberancias). En la cromosfera también se distinguen las espículas, pequeñas erupciones que ascienden y descienden a una velocidad del orden de 20km/s, y cuyo aspecto puede compararse con el de una pradera en llamas.

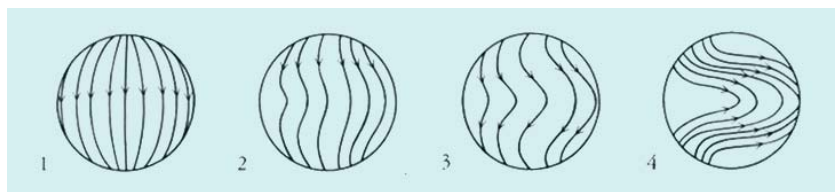
**CORONA**

Se trata de una capa formada por gas de muy baja densidad situada sobre la superficie del Sol. Su extensión supera los millones de kilómetros, pero es tan tenue que sólo puede observarse durante los eclipses totales, cuando la sombra de la luna tapa completamente el luminoso disco solar. La temperatura de la corona es altísima, cercana al millón de grados, por lo que emite mayormente en rayos X. Se desconoce la causa de la elevada temperatura de esta región, aunque parece tener relación con los complejos campos magnéticos solares.

## LA CARA VIOLENTA DEL SOL

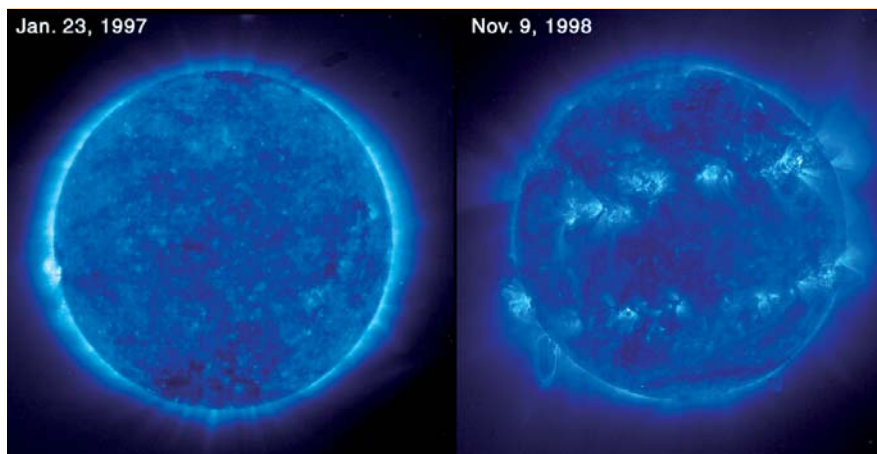
EL SOL NO ROTA DE FORMA RÍGIDA, sino que su región ecuatorial gira más rápido que los polos; debido a esta "rotación diferencial", las líneas del campo magnético que, en condiciones normales, deberían dirigirse directamente de norte a sur, se van torciendo y formando densos haces en dirección este-oeste (ver imagen). Dichos haces se manifiestan en la superficie en forma de manchas, regiones en las que el campo magnético bloquea el transporte de energía hacia la superficie y ocasiona un descenso de temperatura. Estas manchas, conocidas desde hace más de dos mil años, se forman por grupos y constituyen las regiones donde se localiza la actividad solar y la mayoría de los fenómenos asociados a ella. Las manchas solares, cuyo tamaño medio se ha establecido en unos 10.000 km, pueden desarrollarse en unos pocos días y durar entre unos días y unos meses. Entre 1645 y 1715, el Sol atravesó una etapa de inactividad, hoy denominada Mínimo de Maunder, en la que la ausen-

cia de manchas en la superficie solar vino acompañada de una "pequeña edad de hielo" en la Tierra. Cuando la actividad solar se reanudó, los astrónomos, convencidos de la relación entre las manchas solares y el clima terrestre, comenzaron a guardar registros de las primeras. En 1843, el astrónomo aficionado Heinrich Schwabe estudió estos registros y descubrió que el número de manchas experimentaba un máximo cada once años, con lo que se estableció el ciclo de actividad solar. Los ciclos solares se empezaron a enumerar a partir del mínimo acaecido alrededor del 1755, y en la actualidad el Sol se halla en el final número 23.

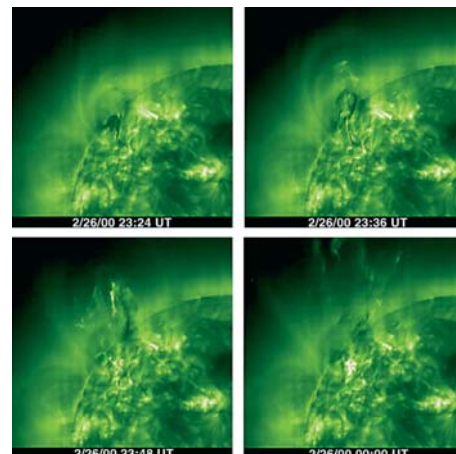


**El Sol en acción**

Las manchas solares son una prueba de que el Sol no emite energía de forma uniforme en toda su superficie, pero existen otros fenómenos que lo corroboran. Entre ellos destacan las fulguraciones solares, fenómenos explosivos que pueden liberar, en sus escasos minutos de duración, cantidades de energía equivalentes a millones de bombas de hidrógeno. Hoy día se cree que las fulguraciones se deben a la liberación de energía acumulada en líneas de campo magnético que han experimentado una fuerte torsión; si comparamos las líneas de campo magnético con las gomas de un tira-chinas, entenderemos mejor esta acumula-



El Sol en dos momentos diferentes del ciclo. Fuente: NASA.



Fotogramas de una fulguración solar. Fuente: TRACE.

ción de energía: en un momento dado las líneas alcanzan el límite de torsión y liberan toda la energía repentinamente, una energía que, en el caso del tirachinas, se transmite a la piedra que lanzamos. Las fulguraciones causan tormentas magnéticas en la Tierra y generan efectos adversos en los sistemas técnicos terrestres, por lo que se han buscado métodos para predecirlos. Dada su correlación con las manchas solares, se ha establecido una clasificación de manchas dependiendo de sus probabilidades para producir

fulguraciones, lo que ha permitido mejorar la capacidad para predecir, sobre todo, dónde tendrán lugar estos eventos.

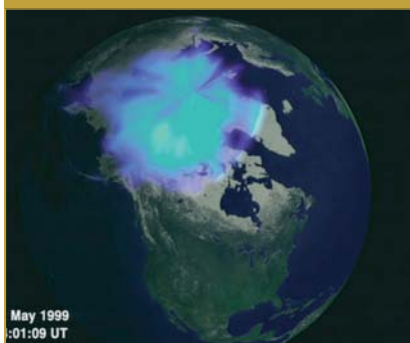
Otro interesante fenómeno asociado a la actividad solar son las eyecciones de masa coronal, enormes burbujas de gas que, también motivadas por el campo magnético, son expulsadas del Sol en el curso de varias horas. Aunque en muchas ocasiones aparecen asociadas a fulguraciones o protuberancias, también se dan de forma independiente, con una frecuencia dependiente del ciclo

solar: durante el mínimo se observa una por semana, en tanto que cerca del máximo se dan dos o tres por día.

Las eyecciones de masa coronal pueden alterar el flujo del viento solar y, al igual que las fulguraciones, pueden generar desde cambios climáticos a interferencias en las comunicaciones, así como las hermosas auroras boreales, producidas cuando las partículas cargadas expulsadas por el Sol son conducidas por el campo magnético terrestre e interactúan con los gases de la atmósfera.

## CONEXIÓN TIERRA-SOL

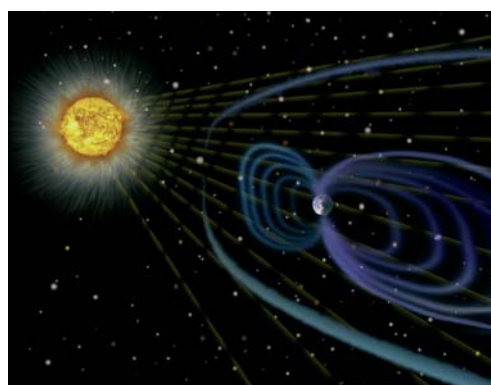
LA TIERRA, EL MAYOR DE LOS PLANETAS ROCOSOS DEL SISTEMA SOLAR, ESCOGIÓ EL LUGAR IDÓNEO PARA ESTABLECER SU ÓRBITA ALREDEDOR DEL SOL Y SE SITUÓ DENTRO DE LA "FRANJA DE HABITABILIDAD", O REGIÓN ALREDEDOR DE UNA ESTRELLA EN LA QUE LAS CONDICIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA LE PERMITEN ALBERGAR AGUA LÍQUIDA. PERO LAS RELACIONES TIERRA-SOL NO SIEMPRE SON AMIGABLES: EN UN MUNDO DEPENDIENTE DE LOS SATÉLITES, LA CORRIENTE ELÉCTRICA Y LAS COMUNICACIONES POR RADIO, LAS TORMENTAS MAGNÉTICAS GENERADAS POR LA ACTIVIDAD SOLAR CONSTITUYEN UN RIESGO CONSTANTE.



**ESCUDO PROTECTOR.** El viento solar, un flujo constante de partículas que emite el Sol, va erosionando las atmósferas de los planetas vecinos, Marte y Venus, algo que no sucede en la Tierra gracias a un "caparazón" magnético invisible denominado magnetosfera. Generada por el campo magnético interno, la magnetosfera desvía el 99% de las partículas provenientes del Sol. De hecho, la magnetosfera está en parte moldeada por el Sol: debido al viento solar, se halla comprimida en el lado diurno y estirada en el nocturno. Y durante una tormenta magnética, la magnetosfera se comprime, el campo magnético terrestre es perturbado y aparecen auroras boreales porque parte del viento solar se cuela por los polos, donde el escudo es más débil.

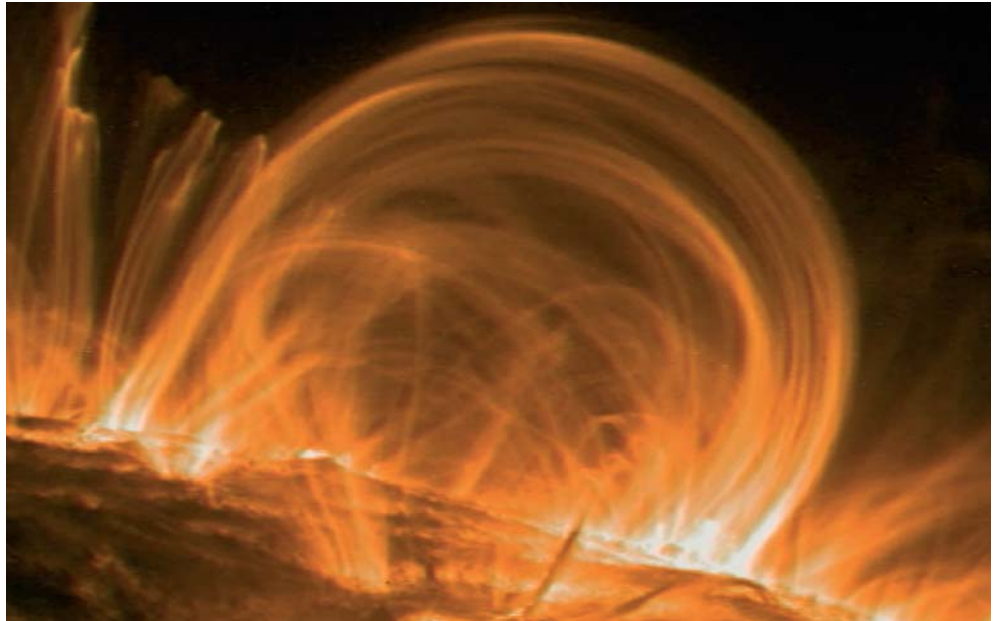
**EL CAMBIO CLIMÁTICO.** Lo que llamamos "clima" constituye una compleja interacción entre el calor que emite el Sol y los procesos que lo distribuyen en la Tierra; así, además de la energía solar, los climatólogos deben tener en cuenta la atmósfera terrestre, sus océanos, ríos y lagos, las masas de agua helada, la tierra y la vida animal y vegetal. Por esto resulta tan difícil determinar en qué proporción afecta la variabilidad solar al cambio climático, aunque sí parece seguro que a partir de la Revolución Industrial el Sol dejó de ser el factor más influyente en el clima terrestre. El calentamiento global se relaciona directamente con las emisiones de dióxido de carbono, y se estima que en el 2050 la temperatura habrá aumentado entre tres y cinco grados; no parece mucho, pero todo cambia si consideramos que la temperatura global en el cenit de la última edad de hielo era "sólo" cuatro grados menos que la actual. A nivel global, un par de grados generan cambios drásticos.

Un aumento de temperatura global supondrá un aumento de la evaporación y de las precipitaciones, y el calentamiento de los océanos provocará tormentas cada vez más devastadoras. Además, el vapor de agua es, al igual que el dióxido de carbono, un gas que produce efecto invernadero, y las consecuencias de un efecto invernadero descontrolado serían catastróficas.



LA LUZ SE COMPORTA DE FORMA DISTINTA EN PRESENCIA DE UN CAMPO MAGNÉTICO, Y ÉSTE CONSTITUYE UNA DE LAS CLAVES PARA CONOCER A FONDO NUESTRO SOL

Por Jose Carlos del Toro (IAA-CSIC)



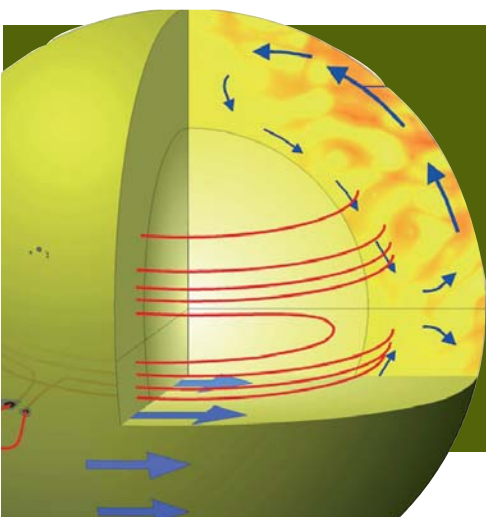
# Pero, ¿cómo medimos el campo magnético?

**EN NUESTRA VIDA DIARIA, QUIEN MÁS Y QUIEN MENOS TIENE CLARO QUÉ ES UN CAMPO MAGNÉTICO O, MEJOR, CUÁLES SON SUS EFECTOS, ES DECIR, CÓMO NOTAMOS SU PRESENCIA:** las virutas de hierro se adhieren a los imanes a la menor proximidad, y una brújula "enloquece" ante un imán porque se orienta de manera natural con el campo magnético terrestre marcando los polos (magnéticos) Norte y Sur de nuestro planeta. Algunos también sabemos que el mismo campo magnético terrestre desvía las partículas cargadas provenientes del Sol con

gran energía hacia los polos y produce las espectaculares auroras. Hasta nuestro lenguaje común está salpicado de magnetismo con frases como "los polos opuestos se atraen y los similares se repelen", por relación directa a lo que ocurre entre dos imanes. Como somos capaces de conocer los efectos del magnetismo, nos resulta fácil entender que los físicos midan dicho campo magnético.

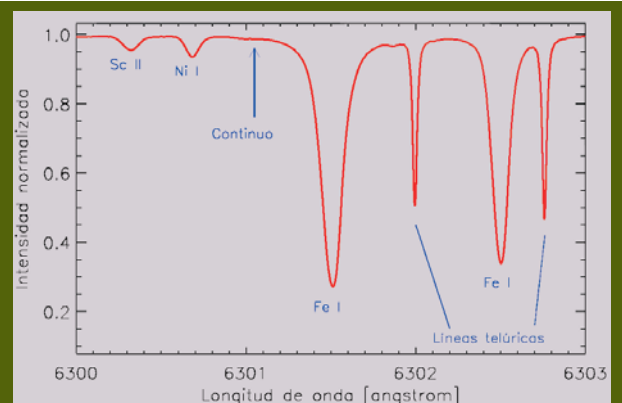
Sin embargo, cuando pensamos en el Sol o en otro objeto astrofísico, la pregunta deviene más compleja. ¿Tiene efectos observables el campo magnético como para

que los astrofísicos sean capaces de determinarlo? La respuesta es, obviamente, afirmativa; pero, como también debe resultar evidente, no se puede recurrir ni a brújulas ni a imanes, ni a instrumentos más sofisticados conocidos como magnetómetros, porque simplemente es imposible acercarse al objeto de medida. Resulta preciso, pues, descubrir la huella que deja el campo magnético solar en lo que casi únicamente saben medir los astrónomos: la luz proveniente de los objetos celestes. En el caso del Sol, esa huella queda "impresa" en las líneas espectrales, esas marcas que distin-



◀ La acción combinada de la convección -"ebullición" del gas- y la rotación diferencial -más rápida en el ecuador que en los polos- genera el campo magnético (líneas rojas).

▶ Porción del espectro del Sol en calma (en ausencia de campo magnético intenso). Se ven dos líneas de absorción del hierro neutro (las más anchas) acompañadas por otras dos telúricas (más estrechas y formadas en la atmósfera de la Tierra).



guimos en el espectro y que nos indican la existencia y el estado físico de los diferentes átomos presentes en la atmósfera solar. En el rango de longitudes de onda visibles, las líneas espectrales del Sol y estrellas de su tipo son fundamentalmente en absorción (ver gráfico pág.6), es decir, muestran un déficit de radiación como consecuencia de la absorción de la misma por un átomo: uno de sus electrones cambia de nivel energético tras absorber un cuanto de luz o fotón, de una longitud de onda (o energía) bien precisa y no otra.

Pues bien, cuando ese proceso de absorción se produce en presencia de un campo magnético, las circunstancias cambian y las consecuencias también.

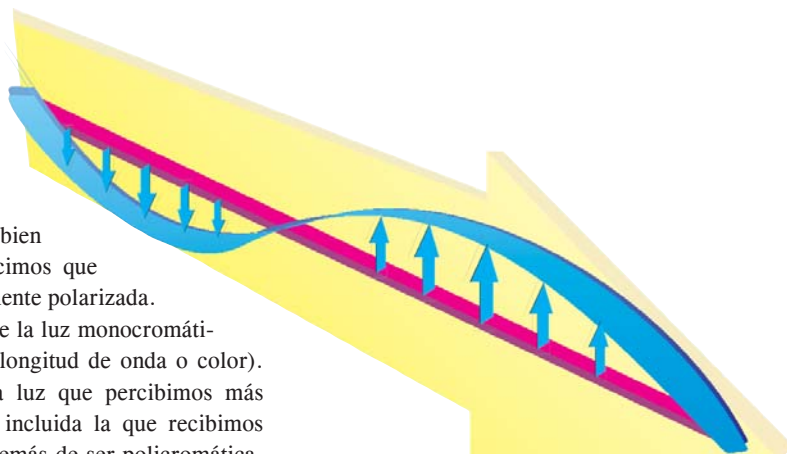
Esas consecuencias se manifiestan mediante dos efectos fundamentales: el efecto Zeeman y el efecto Hanle, llamados así en honor a sus descubridores respectivos en el laboratorio. Con mucho, el primero ha sido y es la principal fuente de información sobre campos magnéticos en la fotosfera; el segundo, por su parte, está incrementando su importancia a medida que, en los últimos diez años, vamos conociendo más y con mayor sensibilidad el espectro del limbo solar y el de líneas cromosféricas y coronales. A pesar de ser distintos, ambos efectos tienen que ver con modificaciones de lo que conocemos como estado de polarización de la luz. Ésta, como cualquier onda electromagnética, viene definida por dos campos vectoriales, uno eléctrico y otro magnético que oscilan en el espacio y con el tiempo. Como conocido el uno, tenemos unívocamente determinado el otro, nos basta con considerar uno de dichos campos; tradicionalmente nos quedamos con el eléctrico. La mejor representación gráfica que podemos tener del vector campo eléctrico es la de una flecha que oscila en amplitud o dirección; la propagación de esas flechas oscilantes es nuestro modelo de luz (imagen superior). Cuando las oscilaciones se producen en un plano único o cuando el cam-

bio de plano de oscilación se produce de ciertas maneras bien organizadas, decimos que la luz está totalmente polarizada.

Éste es el caso de la luz monocromática (de una sola longitud de onda o color). Sin embargo, la luz que percibimos más frecuentemente, incluida la que recibimos de los astros, además de ser policromática, presenta con igual probabilidad componentes que oscilan en todos los planos posibles. En tal caso decimos que la luz es natural o totalmente no polarizada. Entre ambos casos extremos, como el lector habrá intuido rápidamente, existe toda la gama de estados en los que decimos que la luz está parcialmente polarizada. Así pues, a modo de resumen, cuando hablamos de polarización de la luz nos referimos a una dirección o forma preferente de oscilación, la cual sólo se mantiene si la luz es estrictamente monocromática o si existe algún mecanismo físico por el que predomine tal estado de oscilación. Justamente, el mecanismo físico que nos ocupa en este artículo, el campo magnético, es el responsable de incrementar la polarización parcial de la luz en el caso del efecto Zeeman y de modificarla en el caso del efecto Hanle.

### Efecto Zeeman

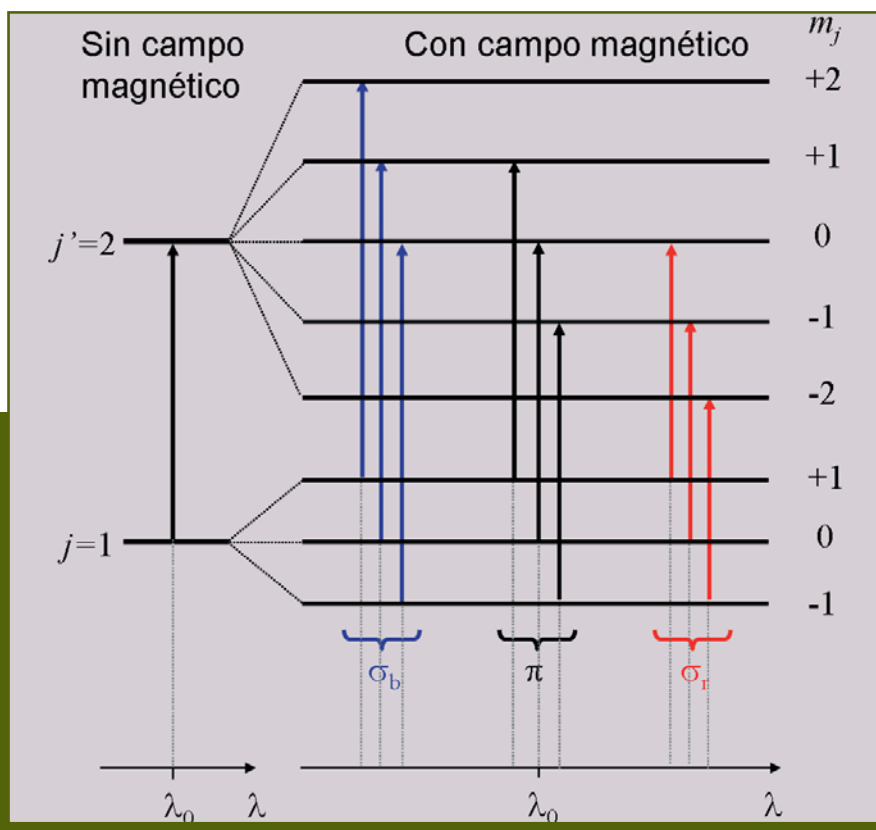
En presencia de un campo magnético, los niveles energéticos del átomo se desdobl

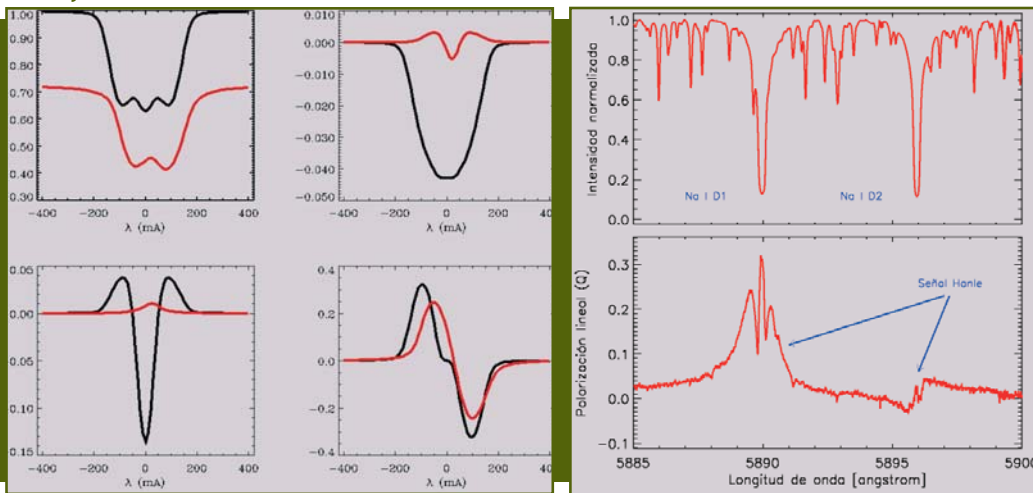


Modelo geométrico de la radiación electromagnética, la luz. Las flechas azules representan la amplitud del campo eléctrico que se propaga oscilante en la dirección de la flecha amarilla. En el caso de la figura la luz está totalmente polarizada puesto que la oscilación del campo eléctrico tiene lugar en un único plano..

en subniveles y las posibilidades de salto electrónico por absorción de fotones se multiplican (imagen inferior): donde había una sola línea espectral, ahora puede haber varias que están separadas en longitud de onda, con una separación que es proporcional al campo magnético. Pero además de estar separadas en longitud de onda, cada una de las nuevas componentes tiene un estado de polarización bien definido. Gracias al desdoblamiento y a la polarización somos capaces de medir el campo magnético y otras magnitudes importantes que definen el estado físico de la atmósfera

Esquema de generación de una línea de absorción en ausencia (izquierda) y en presencia de un campo magnético. Las líneas horizontales gruesas representan los niveles atómicos de energía entre los que se producen saltos electrónicos representados por las flechas. Cuando no existe campo magnético, el electrón sólo tiene una posibilidad de salto y ello se traduce en una única línea espectral en la longitud de onda  $\lambda_0$ . El campo magnético desdobra los niveles en subniveles y, ahora, los electrones tienen más posibilidades de salto lo cual conduce a que se produzcan más líneas espectrales (componentes) separadas en longitud de onda y con un estado de polarización bien definido.





El estado de polarización de una línea espectral ficticia se mide con los cuatro parámetros de Stokes, I, Q, U y V. Los perfiles negros y rojos simulan dos atmósferas solares diferentes: una más caliente y con un campo magnético más intenso e inclinado (la negra) que la otra (la roja).

Porción del espectro del Sol cercano al limbo que incluye las dos líneas D del sodio. El perfil de polarización lineal Q, sólo se puede interpretar en términos del efecto Hanle y del campo magnético subyacente.

solar. En la imagen superior derecha tenemos una simulación de los parámetros de Stokes correspondientes a una línea espectral en dos condiciones atmosféricas distintas. El distinto aspecto de los perfiles que se representan en ambos casos ya es una identificación de la diferencia. De izquierda a derecha y de arriba a abajo tenemos por orden, I, la intensidad total de la luz, Q y U, que nos hablan de la polarización lineal, y V, que da cuenta del grado de polarización circular. Sin entrar en detalles sobre esos dos nuevos términos que, a fin de cuentas, reflejan distintos "modos de oscilación" de nuestra radiación electromagnética, puedo afirmar que cualquier físico solar mínimamente avezado en estos asuntos podría decir con un simple vistazo de la figura que los perfiles negros corresponden a una zona del Sol más caliente, porque I es mayor, y con un campo magnético más intenso, porque V es mayor, y más inclinado con respecto a la vertical, porque Q y U son mayores que en el caso de los perfiles

rojos. Esta interpretación cualitativa se basa en que el campo magnético es suficientemente intenso en estas simulaciones para que lo que distingamos sea el efecto Zeeman.

### Efecto Hanle

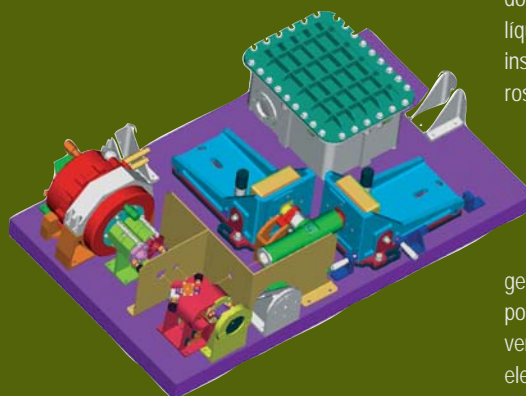
La dispersión de la luz por pequeñas partículas materiales también polariza la luz. Si nos imaginamos un fotón que emerge vertical de la superficie del Sol y es desviado a  $90^\circ$  por una partícula de las capas altas de la atmósfera hacia el observador, la luz, que inicialmente era natural, deviene linealmente polarizada. Ese proceso ocurre de forma natural en las proximidades del limbo solar. Pero si ese proceso de dispersión se produce en presencia de un pequeño campo magnético orientado en la dirección hacia o desde el observador, el resultado es que el grado de polarización de la luz desviada disminuye y, además, el plano de polarización rota. Este es uno de los casos del mencionado efecto Hanle. Si el proceso de dispersión

de luz en cambio se realiza a  $0^\circ$ , es decir, si la luz dispersada continúa en la misma dirección en que incidió en la partícula, la luz es natural. Sin embargo, un campo magnético perpendicular a la dirección de propagación produce en este caso una polarización lineal neta de la luz dispersada. En resumen, el efecto Hanle puede modificar (disminuir o aumentar) el grado de polarización de la luz y con estas modificaciones, medibles, somos capaces de inferir los valores del campo magnético. Quizá el ejemplo más característico de efecto Hanle lo tenemos en la imagen superior izquierda, donde se muestran las dos componentes del doblete D del sodio. Las características de los perfiles de polarización lineal sólo pueden explicarse con un nuevo mecanismo intrínseco al efecto Hanle.

En definitiva, la respuesta a la pregunta del título puede ser bastante sencilla si la resumimos: somos capaces de medir el campo magnético interpretando las señales de polarización en las líneas espectrales.

El IAA es uno de los cuatro institutos españoles\* implicados en el diseño, desarrollo y construcción del magnetógrafo solar IMAx (siglas inglesas de Imaging Magnetograph eXperiment; magnetógrafo experimental con imagen). Éste es uno de los tres instrumentos posfocales del telescopio de un metro embarcado en el globo estratosférico ártico Sunrise, una colaboración entre la agencia espacial alemana, DLR, la estadounidense NASA y el Programa Nacional de Espacio, español. Como su propio nombre indica, IMAx pretende producir mapas del campo magnético de regiones extensas de la superficie solar. Ello será posible, como podrán comprender los lectores del artículo, porque

## MAGNETISMO EN EL IAA



el instrumento medirá la polarización de la luz en líneas espectrales. El análisis de polarización lo hace con unos dispositivos denominados ROCLI (retardadores ópticos de cristal líquido) que se encuentran a la entrada del instrumento (parte inferior izquierda en color rosa fucsia) y el análisis espectral lo lleva a cabo con un interferómetro Fabry-Perot (parte superior izquierda en color rojo). Tras un doble paso por este último, la luz se dirige hacia las cámaras (hacia el centro de la imagen en color amarillo) tras ser desdobladas por un divisor de haz polarizante (en color verde). La caja superior corresponde a la electrónica de proximidad.

\*Los otros son el Instituto de Astrofísica de Canarias, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial y el Grupo de Astronomía y Ciencias del Espacio de la Universidad de Valencia.



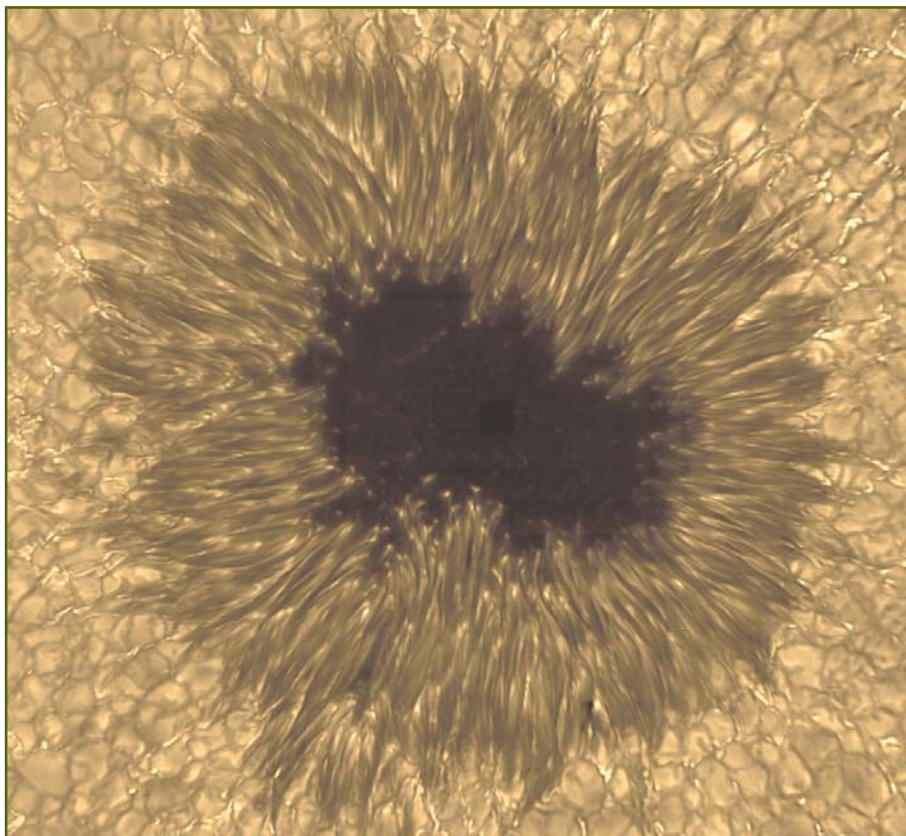
# El interior de las manchas solares

LAS MANCHAS SON RESPONSABLES DE GRAN PARTE DE LOS FENÓMENOS VIOLENTOS QUE OCURREN EN LAS CAPAS MÁS EXTERNAS DEL SOL. SIN EMBARGO, AÚN QUEDAN INCÓGNITAS CON RESPECTO A SU ESTRUCTURA  
 Por Luis Bellot (IAA-CSIC)

LAS MANCHAS CONSTITUYEN LA MANIFESTACIÓN MÁS OBVIA DEL CICLO DE ACTIVIDAD SOLAR. Están formadas por una zona central muy oscura (la umbra) rodeada por un anillo más brillante (la penumbra). La penumbra es un conglomerado de pequeños filamentos que se extienden desde la umbra hasta el sol en calma. Los chinos ya conocían las manchas hace miles de años, pues algunas son tan grandes que pueden ser observadas a simple vista. Sin embargo, su estudio sistemático no comenzó hasta la invención del telescopio en 1610. Desde entonces hemos aprendido mucho sobre su naturaleza, origen, y evolución.

Sabemos, por ejemplo, que las manchas son regiones de la atmósfera solar donde existen campos magnéticos intensos. Los campos magnéticos impiden al plasma moverse libremente, reduciendo la eficacia del transporte de energía por convección. Ello hace que las manchas sean más frías que sus alrededores. Sobre el fondo brillante del Sol en calma las manchas aparecen oscuras, pero es sólo una impresión, ya que la temperatura en su interior alcanza valores de hasta 5000 grados centígrados.

También sabemos que las manchas son responsables de gran parte de los fenómenos violentos que ocurren en la cromosfera y la corona solar, las capas más externas de nuestra estrella. Las observaciones ultravioletas



Mancha observada en el Telescopio Solar Richard B. Dunn de Sacramento Peak, Nuevo Mexico (EEUU). La imagen, tomada en la banda G de la molécula de CH alrededor de 430.5 nm, ha sido reconstruida con técnicas speckle y alcanza una resolución de 0.13 segundos de arco. Cortesía G. Cauzzi (Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Italia) y F. Wöger (KIS, Alemania).

letas y de rayos X obtenidas por los satélites Yohkoh, SOHO y TRACE nos muestran bucles coronales cuyos pies están anclados en las manchas. Los bucles representan líneas de campo magnético, como si fueran limaduras de hierro esparcidas alrededor de

*Para predecir las expulsiones de masa coronal con fiabilidad es necesario entender los procesos en los pies de los bucles, es decir, en las manchas*

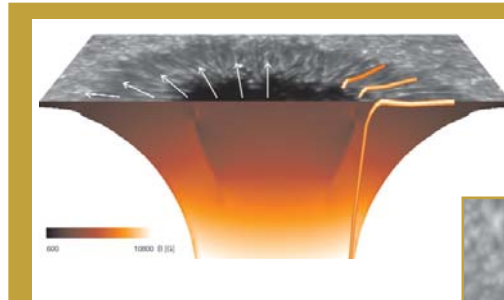
un imán. Cuando estos bucles interactúan entre sí se producen reconexiones de campo magnético que liberan grandes cantidades de energía en muy poco tiempo y dan lugar a fulguraciones en la cromosfera y expulsiones de masa coronal.

Las partículas energéticas lanzadas al espacio durante una expulsión de masa coronal pueden llegar a la Tierra, donde dificultan las comunicaciones por radio y amenazan la integridad de los satélites en órbita. Además, producen las famosas auroras boreales. Actualmente se están dedicando grandes esfuerzos en predecir las expulsiones de masa coronal por los efectos que tienen sobre la Tierra, pero para poder hacerlo con fiabilidad es necesario entender bien la estructura y procesos físicos que ocurren en los pies de los bucles, es decir, en las manchas. Todavía nos encontramos muy lejos de esta situación ideal: por el momento, ni siquiera hemos identificado los bloques básicos que forman las manchas solares.

## Una compleja estructura

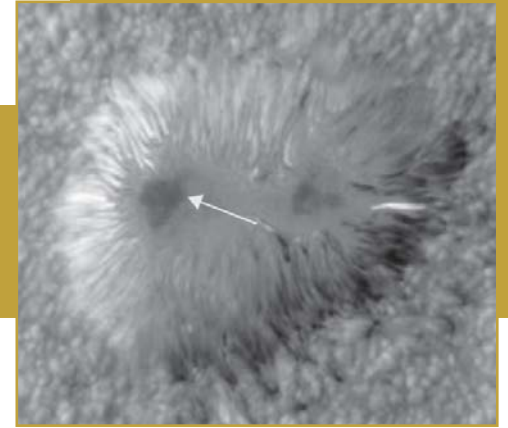
La penumbra, con su estructura filamentosa a muy pequeña escala, es la región más

compleja de las manchas. El desdoblamiento Zeeman de las líneas espectrales nos indica que el campo magnético es vertical en el centro de la umbra y se va inclinando cada vez más en la penumbra, hasta que se hace prácticamente horizontal en el borde externo de la mancha (imagen derecha). Sin embargo, hay grandes variaciones a una misma distancia de la umbra: Tittle y colaboradores descubrieron en 1993 que los filamentos brillantes y oscuros pueden mostrar diferencias de hasta 20 grados en la inclinación del campo. Estas variaciones ocurren a muy pequeña escala, del orden de unos cientos de kilómetros. Los campos magnéticos más horizontales de la penumbra están asociados con un flujo continuo de materia descubierto en 1908 por Evershed y que lleva su mismo nombre. Se trata de un movimiento radial del gas desde la umbra hasta el borde externo de la penumbra. El flujo Evershed desplaza las líneas espectrales hacia el rojo en la cara de la mancha más próxima al limbo solar y hacia el azul en la cara que mira al centro del Sol (imagen derecha, abajo). Los campos magnéticos más verticales de la penumbra no parecen estar



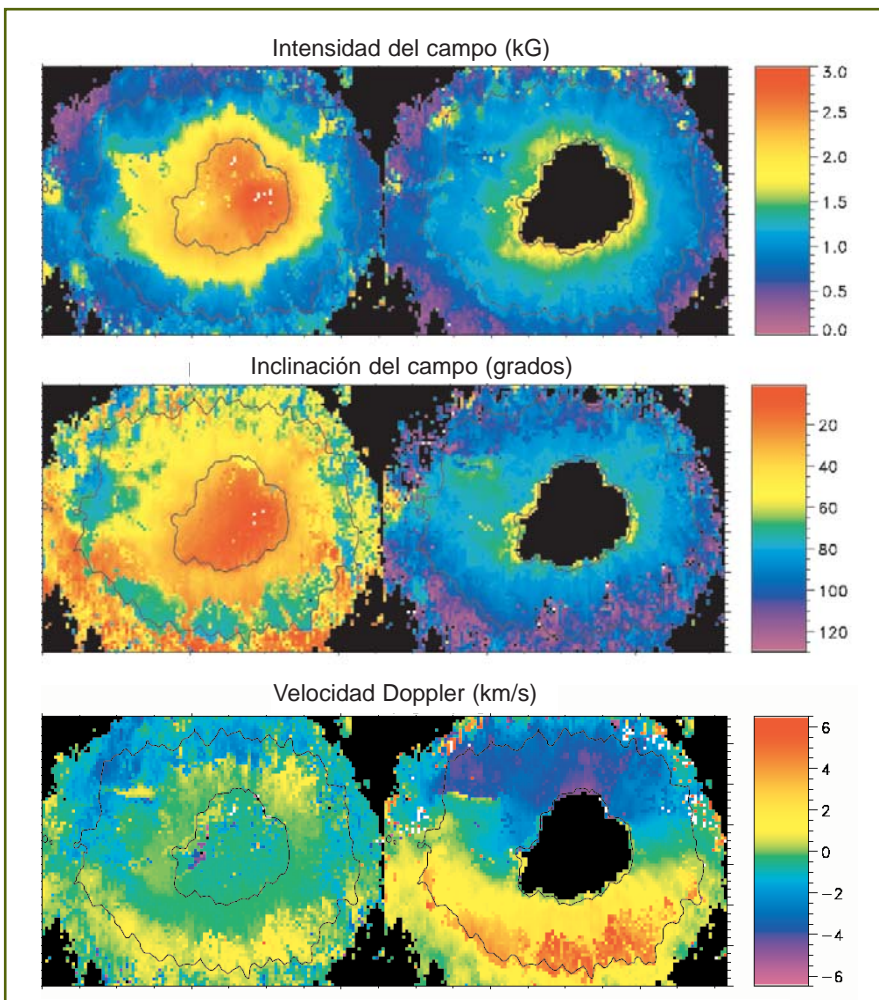
Estructura magnética global una mancha solar. Las flechas blancas representan el vector campo magnético desde la umbra hasta el borde externo de la penumbra. Los pequeños cilindros anaranjados representan tubos de flujo penumbrales. Cortesía D. Müller (KIS, Alemania).

Desplazamientos Doppler observados en una mancha solar en la línea de hierro neutro a 709.0 nm. La flecha apunta al centro del disco solar. Blanco indica desplazamientos al azul y negro al rojo. Nótese la estructura filamentososa del flujo Evershed. Cortesía A. Tritschler y H. Uitenbroek (NSO, EEUU).



asociados a ningún movimiento de gas. Estos resultados se han obtenido a través del análisis de observaciones polarimétricas de líneas espectrales visibles e infrarrojas con resoluciones espaciales del orden del segundo de arco (725 km sobre la superficie del Sol). La pobre resolución espacial se debe a que se necesitan tiempos de exposición de varios segundos para alcanzar bajos niveles

de ruido, pero impide distinguir los filamentos individuales que se observan en imágenes monocromáticas de alta resolución. Es necesario, por tanto, hacer algunas aproximaciones para explicar la estructura fina de la penumbra. Lo normal es suponer que en cada píxel coexisten dos atmósferas magnéticas no resueltas, que darían cuenta de las propiedades de los filamentos brillantes y oscuros. Cuando se analizan los datos de esta manera se encuentran dos atmósferas con propiedades magnéticas y cinemáticas muy diferentes (imagen izquierda). Una de ellas tiene campos intensos y verticales, mientras que la otra posee campos más débiles y horizontales. La segunda atmósfera es la única que muestra desplazamientos Doppler (la huella del flujo Evershed). Las simulaciones numéricas realizadas por Schlichenmaier y colaboradores modelan el comportamiento de un tubo de flujo magnético inicialmente en equilibrio en la frontera que separa la mancha de sus alrededores no magnéticos. El tubo es calentado por la radiación que viene del exterior, se expande y asciende a la superficie por flotabilidad. Al emerger se observa como una estructura brillante con menor campo que



Estructura magnética y cinemática de una mancha obtenida a partir de la inversión de datos espectropolarimétricos suponiendo dos atmósferas en cada elemento de resolución. Los mapas muestran, de arriba a abajo, la intensidad del campo magnético, la inclinación del campo con respecto a la vertical, y la velocidad Doppler para las dos componentes. Los mapas de la izquierda representan la atmósfera ambiente y los de la derecha la atmósfera de los tubos de flujo.

sus alrededores, ya que el campo disminuye durante la expansión para conservar el flujo magnético. Además, la presión gaseosa crece dentro del tubo para mantener el equilibrio horizontal de fuerzas. El gradiente de presión resultante mueve el plasma a lo largo del tubo y produce un flujo Evershed de varios kilómetros por segundo. Este modelo es capaz de reproducir muchas de las propiedades de los filamentos penumbrales. Además, explica sorprendentemente bien los resultados obtenidos a partir del análisis de las observaciones polarimétricas: la atmósfera con campos débiles y horizontales representaría los tubos de flujo penumbrales, mientras que la otra atmósfera parece describir el campo ambiente que rodea a los tubos.

## Teorías alternativas

Hasta hace poco, el concepto de penumbra formada por pequeños tubos de flujo (con radios de 100-200 km) embebidos en un campo ambiente más vertical era aceptado por la mayor parte de los físicos solares. En el año 2002, las primeras imágenes tomadas con el nuevo Telescopio Solar Sueco de un metro de diámetro produjeron una gran sorpresa al revelar que los filamentos penumbrales están formados realmente por un núcleo oscuro y dos bordes laterales brillantes (imagen inferior). Los bordes brillantes se mueven siguiendo las mismas trayectorias, como si fueran un mismo objeto, y están separados por sólo 100-200 km.

Muchos investigadores pensaron que por fin se estaban viendo los bloques básicos de la penumbra, es decir, tubos de flujo individuales. Sin embargo, Spruit y Scharmer propusieron un modelo alternativo de penumbra. En dicho modelo, los filamentos con núcleos oscuros serían la manifestación de intrusiones de gas no magnético situadas por debajo

de la superficie visible de la mancha. La idea ha levantado grandes expectativas en parte de la comunidad, pero todavía hay que demostrar que es capaz de explicar los aspectos observacionales de la penumbra al menos tan bien como lo hace el modelo de tubo de flujo. Uno de los problemas más serios a los

*De nuevo, los resultados son compatibles con la idea de que los filamentos representan pequeños tubos embebidos en un campo magnético más intenso y vertical*

*Parece, pues, que estamos a punto de resolver una cuestión básica que ha intrigado a los astrónomos durante siglos: la estructura de la penumbra*

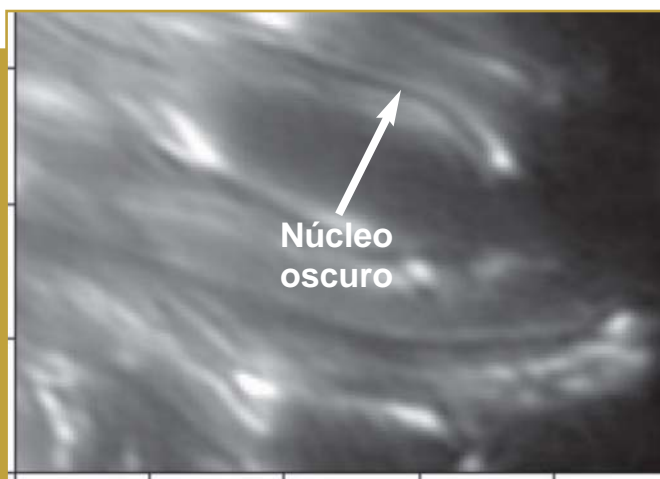
que se enfrenta el modelo de Spruit y Scharmer es la falta de un lugar en la atmósfera que pueda albergar el flujo Evershed. Como mencionamos antes, las simulaciones de tubos de flujo explican de forma natural la existencia de movimientos de gas en la penumbra, lo que supone un éxito nada despreciable.

La controversia no está cerrada y las discusiones continúan. Para poder decidir entre un modelo u otro se necesitan nuevas observaciones que resuelvan los núcleos oscuros. En el año 2005 dimos los primeros pasos en esta dirección realizando espectroscopía de filamentos penumbrales en el Telescopio Solar Sueco con 0,2 segundos de arco de resolución. Los datos demostraron que el flujo Evershed es mucho más intenso en los núcleos oscuros que en los bordes brillantes.

Además, el campo magnético parece ser menor en los núcleos oscuros. Pero las observaciones espectroscópicas no permiten caracterizar completamente las propiedades de los filamentos: necesitamos medidas de polarización. En la actualidad no existe ningún telescopio terrestre capaz de proporcionarlas. Por este motivo hemos comenzado una colaboración con el Observatorio Astronómico Nacional de Japón para analizar los datos del satélite HINODE. Lanzado en septiembre de 2006, este satélite lleva a bordo un espectropolarímetro que alcanza una resolución de 0,3 segundos de arco. Las primeras observaciones de HINODE sugieren que los núcleos oscuros tienen campos más débiles e inclinados que los bordes brillantes de los filamentos penumbrales. De nuevo, los resultados son compatibles con la idea de que los filamentos representan pequeños tubos embebidos en un campo magnético más intenso y vertical.

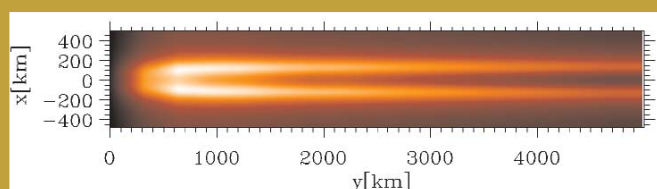
Pero, ¿es posible reproducir las imágenes de alta resolución utilizando tubos de flujo? Para comprobarlo hemos resuelto la ecuación de transporte de calor en una atmósfera estratificada formada por un tubo de flujo y un campo ambiente que lo rodea. Las simulaciones, realizadas junto a investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias, demuestran que los tubos de flujo se observan en la superficie como filamentos con núcleos oscuros (imagen inferior).

Parece, pues, que estamos a punto de resolver una cuestión básica que ha intrigado a los astrónomos durante siglos: la estructura de la penumbra. El modelo de tubo de flujo explica la mayor parte de las propiedades de los filamentos penumbrales. Ahora queda la importante tarea de caracterizar y entender la evolución de la penumbra y el papel que desempeña el flujo Evershed en la física de las manchas solares.



Filamentos penumbrales con núcleos oscuros. La imagen fue tomada con el Telescopio Solar Sueco de 1 m por Scharmer y colaboradores el 15 de julio de 2002. Las marcas de los ejes representan intervalos de 1000 km. Cortesía Real Academia de Ciencias de Suecia.

Abajo: Filamento con núcleo oscuro producido por un tubo de flujo embebido en un campo ambiente más intenso. Cortesía B. Ruiz Cobo (IAC, España) y L. Bellot (IAA, España)



# EL SATÉLITE QUE INDI MAGNÉTICO

[1] La temperatura en el núcleo solar es de unos 15 millones de grados, y la de su superficie visible, la fotosfera, de unos 6.000 grados. A partir de ahí la temperatura debería disminuir, pero no es así: la corona puede superar el millón de grados, lo que requiere un mecanismo de calentamiento permanente. Se calcula que se requiere 1/40.000 de la cantidad de energía que emana del Sol para calentar la corona, pero se desconoce el mecanismo que "transporta" esa energía. De todas las posibilidades que se han planteado, existen dos favoritas: la "teoría del calentamiento por ondas" y la de la "reconexión magnética".

La primera, propuesta en 1949, postula que ondas similares a las acústicas, producidas por las turbulencias generadas por la granulación en la fotosfera, transportan la energía hasta la corona; después se convertirán en ondas de choque y disiparán su energía en forma de calor.

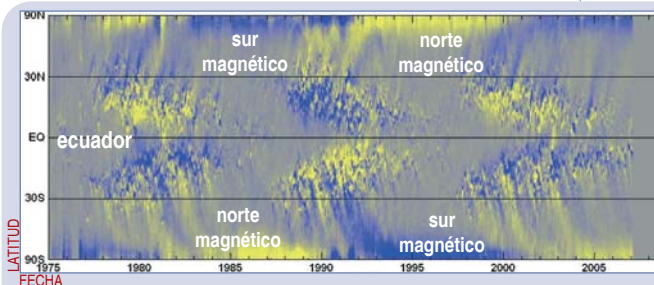
La segunda teoría se basa en el hallazgo, por el satélite SOHO (NASA), de pequeñas regiones donde se concentra el campo magnético solar y que aparecen y desaparecen en intervalos de unas 40 horas. Toda la superficie solar se hallaría cubierta por ellas, por lo que se ha acuñado el término de "alfombra magnética". La interacción de las líneas de campo magnético procedentes de esas pequeñas áreas produciría el calentamiento coronal: como las líneas no pueden cruzarse, se cree que cada vez que dos de ellas se aproximan tiene lugar una "reorganización", y esta reconexión magnética calentaría la corona.

Sin embargo, ambos mecanismos plantean aún serias dudas, de modo que parece que el problema seguirá vigente por algún tiempo.

¿Cómo es posible que la capa más externa del Sol, la corona, esté tan caliente?, ¿cuál es la conexión existente entre las capas más bajas, fotosfera y cromosfera, con ésta?. Éstas son algunas de las preguntas claves a las que, a día de hoy, la física solar no ha sido capaz de dar respuesta completa. Entender cómo se produce el calentamiento coronal [1] es un problema que se han planteado los físicos solares desde los años 50.

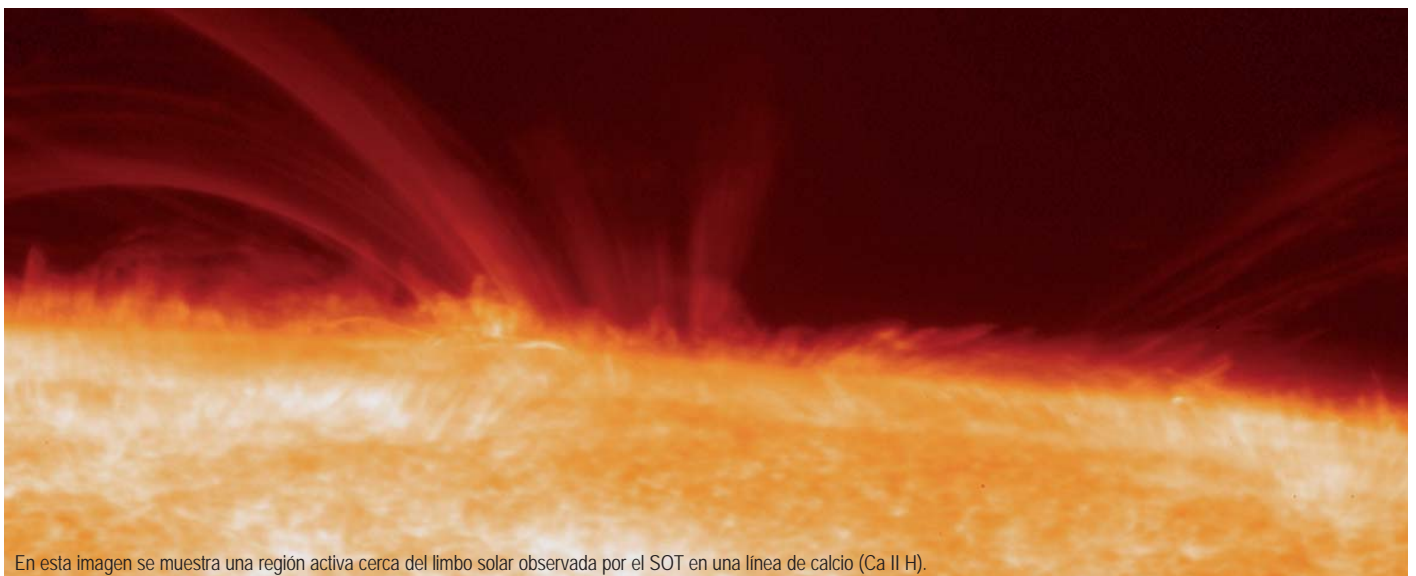
El Sol, al ser una estrella activa, encierra una gran cantidad de energía en forma de campo magnético [2]. Éste se manifiesta de muy variadas formas, como por ejemplo, en las manchas solares. Pero no solo eso, sino que está presente en todas las capas del Sol, estableciendo así un vínculo entre ellas. Con el propósito de estudiar los campos magnéticos existentes en el Sol, desde su fotosfera hasta la extensa corona, la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA), la NASA y la PPARC británica, han desarrollado y

lanzado con éxito el satélite espacial Solar-B, bautizado con el nombre de HINODE (amanecer). Este satélite de última generación está equipado con tres instrumentos revolucionarios en el espacio: un telescopio en luz visible [3] (SOT), capaz de registrar campos magnéticos en la superficie solar con una resolución espacial que alcanza los 200 km y dos instrumentos destinados a observar la corona y la zona de transición [4] en rayos-X (XRT) y en luz ultravioleta (EIS), longitudes de onda típicas en las que la corona emite la mayor cantidad de radiación. Mediante el uso simultáneo de estos tres instrumentos y las observaciones adicionales de observatorios en tierra se pretende entender cómo se generan, evolucionan y finalmente se disipan los campos magnéticos en el Sol, estableciendo una conexión entre la estructura magnética fina de la fotosfera y los procesos dinámicos que ocurren en la corona. HINODE ya está operativo, por esta razón mostramos dos resultados recientes de la



[2] El campo magnético se produce por el movimiento del plasma dentro del Sol. Pero para conocer en profundidad el campo magnético solar hay que tener en cuenta varios factores: el ciclo de manchas y su periodicidad de once años, la deriva de las manchas hacia las regiones ecuatoriales a medida que el ciclo avanza, el hecho de que la polaridad de las manchas en un hemisferio sea opuesta a la de las manchas del otro hemisferio (y que esta polaridad cambie de un ciclo a otro), y la inversión de los polos magnéticos del Sol durante el máximo de cada ciclo solar (la última tuvo lugar en 2001: el polo norte magnético, que se hallaba en el hemisferio norte, pasó a apuntar hacia el sur). El diagrama muestra la compleja actividad magnética solar.

En este diagrama, el amarillo corresponde a campos magnéticos con polaridad norte y el azul a la polaridad sur. En latitudes próximas al ecuador, destaca el intenso campo magnético de las manchas que, según avanza el ciclo, tienden a moverse hacia el ecuador. Las regiones uniformes de color amarillo y azul muestran la orientación del campo magnético global.



En esta imagen se muestra una región activa cerca del limbo solar observada por el SOT en una línea de calcio (Ca II H).

# JAGARÁ EN EL CAMPO CO SOLAR

misión. Abajo a la izquierda se muestra una región activa cerca del borde del disco solar visto por SOT en la línea espectral de Ca II H (397 nm) [3], que muestrea la baja cromosfera del Sol. En la imagen se ven claramente las espículas [5] sobre la superficie, y las líneas de campo magnético suspendidas sobre la superficie solar que, formando arcos, alcanzan la baja corona. Estas líneas están asociadas a la erupción magnética de una región activa (mancha solar). Imágenes como ésta han sido registradas por primera vez y alcanzan una resolución espacial sin precedentes. El estudio de regiones activas en las diversas capas del Sol proporciona una información valiosísima para entender el origen y evolución de las fulguraciones solares y las eyecciones de masa coronales. El estudio de los campos magnéticos en zonas no activas también es de vital importancia para entender la corona, ya que se cree que gran parte de la energía necesaria para su calentamiento proviene de estas

regiones a través del campo magnético. La imagen inferior izquierda muestra, a modo de ejemplo, una región del Sol en calma en la que se aprecia claramente la granulación solar [6]. Entre los gránulos se pueden apreciar también puntos brillantes. Ya se conocía la existencia de estos puntos brillantes pero la falta de resolución espacial y de observaciones espectropolarimétricas no permitía un estudio en profundidad de estos. El espectropolarímetro de SOT arrojará interesantes resultados al respecto. En los próximos meses se espera que los datos de HINODE aporten respuesta parcial a multitud de fenómenos físicos, entre los que cabe destacar los procesos físicos que están detrás del calentamiento de la cromosfera y la corona, por lo que la comunidad científica está expectante.

DAVID OROZCO (IAA)  
deconstrucción:  
SILBIA LÓPEZ DE LACALLE (IAA)

[6] Los gránulos son regiones más o menos circulares, cuyo centro brillante indica la existencia de gas subiendo hacia la superficie (los bordes oscuros indican la existencia de gas más frío descendiendo hacia el interior del Sol). Los gránulos aparecen y desaparecen en escalas de tiempo de unos cinco minutos y su tamaño medio es de unos 1.000 kilómetros.

[5] Las espículas son pequeños chorros de gas que suelen verse en el limbo solar y cuyo aspecto se asemeja a una pradera en llamas (ascienden y descienden a una velocidad de unos 20 km/s). Forman parte de la estructura de la cromosfera, junto con los filamentos y las protuberancias (nubes de material más frío que quedan suspendidas sobre la superficie siguiendo los bucles del campo magnético; como consecuencia de su menor temperatura, se muestran oscuras en el disco -filamentos- y brillantes en el limbo -protuberancias-).

[4] La región de transición es una capa fina e irregular de la atmósfera solar que separa la corona de la cromosfera -mucho más fría-. El calor fluye de la primera a la segunda y en el proceso se genera la región de transición, donde la temperatura cambia rápidamente de un millón de grados centígrados a unos 20.000 grados. La región de transición emite en la región ultravioleta del espectro y sólo es posible observarla desde el espacio.

[3] Las imágenes del Sol dependen del instrumento que se emplee o de la longitud de onda a la que se observe. Por ejemplo, en luz visible vemos la fotosfera (un enorme disco amarillo con algunas manchas), en rayos X se observa la corona y en el ultravioleta extremo se ve la parte exterior de la cromosfera y la más interior de la corona. También se puede "afinar" más y limitar la observación a una línea determinada del espectro; en el caso del Sol es muy útil la línea H-Alfa (señalada en la imagen), situada en la porción roja del espectro visible -656.3 nm-, que desvela buena parte de los rasgos de la cromosfera.

La imagen inferior de la página contigua está tomada en la línea del calcio -Ca II H (397 nm)-, situada en la región violeta del espectro visible, y muestra la baja cromosfera.

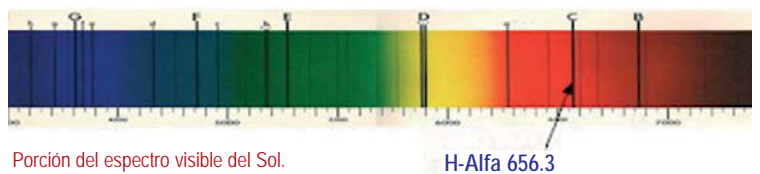
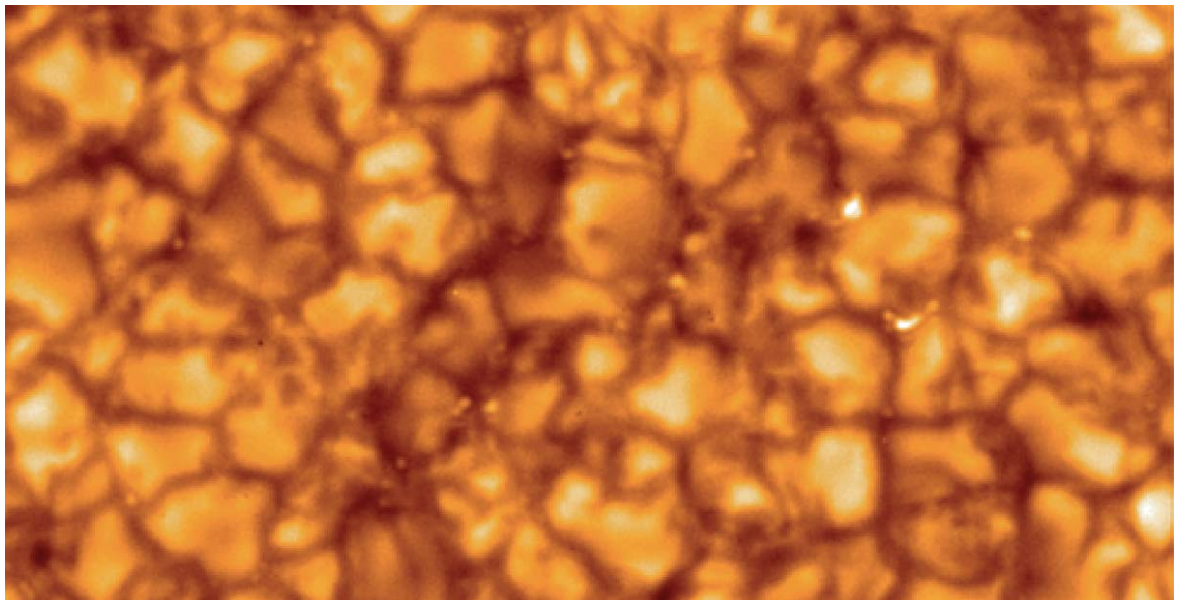


Imagen de la granulación solar tomada con SOT en la banda G (430 nm). La resolución espacial de la imagen alcanza el límite de difracción del telescopio que a la longitud de onda dada equivale a ~145 km sobre la superficie de la fotosfera. En la imagen se distinguen claramente (puntos brillantes) (cursiva), zonas donde encontramos altas concentraciones de campo magnético.



## ALHAMBRA: la historia del Universo a la vista

Un equipo internacional de investigadores, liderados por Mariano Moles (IAA-CSIC), está llevando a cabo en Calar Alto un cartografiado cósmico a gran escala (llamado ALHAMBRA survey) que, cuando se complete, constituirá la referencia sobre la historia del universo.

► En astronomía, los objetos débiles y lejanos se contemplan tal y como eran en el pasado remoto, cuando emitieron la luz que observamos. Así, es posible obtener imágenes de la infancia del Universo si se dirige la mirada a los objetos más lejanos. Pero para lograr una buena representación de cada etapa de la historia del Universo es necesario contar con una cantidad de objetos considerable en cada intervalo de distancia (o sea, en cada intervalo de antigüedad). Por eso no basta tomar una imagen muy profunda, sino que además hay que cubrir una porción de cielo lo mayor posible. En los últimos años se han emprendido varios sondeos (o *surveys*) cosmológicos que han llegado extremadamente lejos cubriendo áreas celestes reducidas. Otros estudios han abarcado porciones del cielo muy amplias pero sin alcanzar distancias demasiado

grandes. ALHAMBRA se diseñó para llenar el hueco existente entre los estudios que abarcan una pequeñísima porción del cielo, como los "Campos Profundos" del telescopio espacial Hubble, y los que recogen una gran área pero que son poco profundos, y por tanto sólo permiten describir el universo local, relativamente brillante. ALHAMBRA cubre una fracción del cielo que equivale a 20 veces el área de la Luna llena. Debemos tener en cuenta que todos los campos profundos tomados por el telescopio espacial Hubble cubren un área 500 veces menor. Al mismo tiempo, la profundidad de ALHAMBRA (o sea, la distancia alcanzada) permite reconstruir el 90% de la historia del Universo. Con una muestra de este tamaño y de esta profundidad se podrán observar y medir los fenómenos asociados al origen y la evolución de diferentes cuerpos



Las imágenes del proyecto ALHAMBRA obtenidas con el telescopio de 3.5 m. de Calar Alto revelan la potencia espectacular de este sondeo para estudiar la evolución cósmica. Esta imagen corresponde a una región de 1/3 del área de la Luna llena, y presenta alrededor de 10.000 objetos. La mayoría de ellos son galaxias remotas, pero también hay cúasares, galaxias activas, estrellas de nuestra propia Galaxia situadas en primer plano, e incluso objetos del Sistema Solar (asteroides y quizá objetos transneptunianos). Fuente: M.Moles, equipo ALHAMBRA, V.Peris.

celestes, así como la aparición y desarrollo de los diferentes tipos de galaxias que observamos hoy en día. Además se han elegido para el estudio ocho áreas separadas del

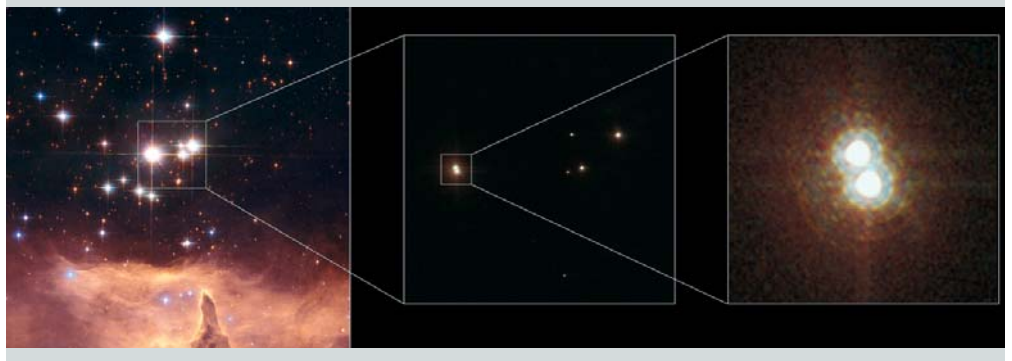
cielo, para tener en cuenta las posible heterogeneidades locales, la llamada varianza cósmica, y dar validez general al resultado.

**David Galadí (IAA).**

► Durante décadas, los astrónomos han discutido sobre cómo de grandes pueden ser las estrellas. Pero medirlo no resulta sencillo: las estrellas gigantes, además de escasear, tienden a formarse en sistemas múltiples, de modo que un sistema estelar doble puede parecer, con la distancia, una estrella desmesuradamente grande. Este es el caso de Pismis 24-1, una candidata a "peso pesado" de la Vía Láctea que parecía establecer un límite máximo de masa en más de 200 soles, pero que ha resultado ser un sistema formado por tres estrellas: Pismis 24-1SW y la estrella doble Pismis 24-1NE. El equipo investigador, liderado por Jesús Maíz (Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC), ha emplea-

## La estrella que nos engañó

La estrella Pismis 24-1, con una masa estimada de más de 200 soles, es en realidad un sistema estelar triple



do el instrumento de mayor resolución en el óptico a bordo del

Telescopio Espacial Hubble (NASA/ESA), el Canal de Alta

Resolución de la Cámara Avanzada para Sondeos.

Se calcula que, en la Vía Láctea, existe una estrella de más de 65 masas solares por cada 15.000 estrellas como el Sol. Pero Pismis 24, el cúmulo donde se halla Pismis 24-1, muestra una inusual densidad de estrellas gigantes: el grupo de Maíz y colaboradores ha estudiado también la estrella Pismis 24-17, con una masa de unos cien soles, que constituye la cuarta estrella gigante del cúmulo.

Ahora, los investigadores pretenden, por un lado, estudiar en detalle el cúmulo para establecer un límite de masa para las estrellas y, por otro, "separar" las dos estrellas que se esconden en Pismis 24-1NE (se hallan tan cerca que no pueden tomarse imágenes de las componentes, pero se conoce su existencia por las variaciones de velocidad).

Estas estrellas tan masivas son las

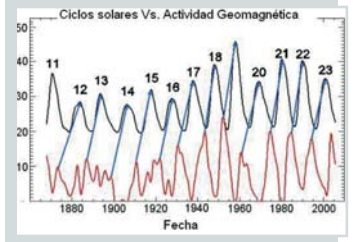
que, una vez terminado su combustible, explotarán como supernovas y darán lugar a agujeros negros o estrellas de neutrones, además de expulsar gran cantidad de elementos pesados al medio interestelar. Su estudio permite profundizar en el conocimiento de los agujeros negros, las supernovas o incluso la composición química de nuestro Sistema Solar.

Silbia López de Lacalle (IAA).

## EN BREVE

### Científicos predicen el próximo ciclo solar

► El ciclo solar 24, cuyo máximo se alcanzará en 2010 o 2011, promete ser uno de los más intensos desde que se comenzaron a documentar hace casi 400 años. Dos astrónomos americanos han observado los registros de la actividad del campo magnético terrestre y hallaron que "la cantidad de actividad geomagnética que registramos ahora nos dice cómo va a ser el ciclo solar dentro de 6 a 8 años". De acuerdo con sus análisis, durante el próximo máximo solar el número de manchas puede ascender a 160, lo que lo convierte en el ciclo más fuerte de los últimos 50 años. Estos resultados coinciden con un estudio previo basado en modelos computacionales.



### Planetas extrasolares

La "T" de COROT hace referencia al método de los Tránsitos, utilizado en la detección de planetas extrasolares. Los tránsitos son "mini eclipses" producidos cuando un planeta que gira en torno a una estrella atraviesa nuestro campo de visión (cada cierto tiempo podemos observar los tránsitos de los planetas más internos del Sistema Solar, Mercurio y Venus). Resulta imposible ver esa trayectoria en planetas extrasolares, pero sí se puede medir la pequeña disminución en el brillo de la estrella que los tránsitos ocasionan.

El método de detección empleado hasta ahora sólo permitía el hallazgo de planetas gigantes gaseosos pero se espera que, aunque la búsqueda de planetas no constituye el objetivo primero de la misión, las observaciones fotométricas de COROT prueben la existencia de planetas terrestres fuera del Sistema Solar.

Silbia López de Lacalle (IAA)

# COROT despega con éxito

El pasado 27 de diciembre despegó COROT, una misión única con un doble objetivo: descubrir planetas similares a la Tierra en torno a otras estrellas y estudiar el interior de éstas a través de sus oscilaciones

► COROT es un telescopio que medirá la variación del brillo de decenas de miles de estrellas con una precisión nunca alcanzada y cumplirá un doble objetivo: estudiar el interior de las estrellas y detectar planetas de tipo terrestre a su alrededor. La misión, desarrollada por el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés (CNES) cuenta con un 20% de participación de otros países, entre los que se encuentra España. Un grupo del Instituto de Astrofísica de Andalucía, liderado por Rafael Garrido, ha trabajado en el proyecto desde sus orígenes y coordina la participación española.

### La astrosismología

Hace unos treinta años se descubrió que, al igual que el movimiento de las placas tectónicas provoca terremotos en la Tierra, el movimiento del gas dentro del Sol produce ondas sísmicas que alteran su superficie y producen oscilaciones (algunas zonas se elevan mientras otras se hunden). La astrosismología, el estudio de los temblores estelares, ya ha permitido, en el caso del Sol -la única estrella lo suficientemente cercana para mediciones directas-, realizar impresionantes descubrimientos sobre su temperatura, densidad o composición. La búsqueda de esas pulsaciones en otras estrellas ha resultado más compleja debido a la distancia, pero los astrónomos han hallado una alternativa: se trata de medir las variaciones en luminosidad que se



producen cuando la estrella oscila, método que aplicará COROT, la primera misión dedicada a la astrosismología en su programa central.

### COROT: mirando de cerca

La astrosismología desde tierra presentaba dos inconvenientes graves: las interferencias provocadas por la atmósfera, que hacen que las estrellas parpadeen, y la imposibilidad de realizar observaciones de muy larga duración debido a las lagunas que la salida del Sol y la "puesta" de las estrellas dejarían. La misión COROT, constituida por un telescopio pequeño dedicado a la fotometría -medición de la luz- con una precisión extrema para observaciones de

larga duración, no sólo evitará los dos inconvenientes mencionados, sino que también incorpora entre sus objetivos la detección de planetas fuera del Sistema Solar.

Las primeras cuatro letras del nombre (COncvección y ROTación) responden al objetivo principal, la astrosismología, que se ha desglosado en dos programas: el exploratorio, que consiste en detectar y clasificar oscilaciones estelares en una gran variedad de estrellas y el programa central, que observará de forma continua durante cinco meses un grupo de estrellas seleccionadas por su poder de diagnóstico (para cuya selección se emplearán los datos del programa exploratorio).

# Fenómenos desconocidos

En 2006 se observaron dos explosiones de rayos gamma que apuntan a la existencia de un nuevo tipo de muerte estelar.

► Un equipo internacional de astrónomos, del que forma parte el investigador del IAA (CSIC) Javier Gorosabel, ha observado dos tipos de explosiones cósmicas diferentes a los tres modelos de muerte estelar hasta ahora conocidos. Estos dos fenómenos estelares, registrados por el satélite Swift de la NASA, se produjeron el 5 de mayo y el 14 de junio de este año, en dos galaxias situadas a una distancia aproximada de 1.290 y 1.850 millones de años luz de la Tierra, respectivamente. Las dos explosiones, denominadas GRB 060505 y GRB 060614, tienen mucha similitud con las explosiones de rayos gamma (GRB, en su acrónimo inglés) de larga duración. La diferencia está en que hasta el

momento, cuando se producía una explosión de este tipo, siempre se observaba luego una hipernova, fenómeno que no se ha producido en ninguno de los dos nuevos casos observados. Durante los pocos segundos que duró cada explosión, se liberó cientos de veces la energía que ha radiado el Sol en sus cerca de 5.000 millones de años de vida. Gorosabel detalla: "Creemos que este fenómeno se produjo por un proceso de implosión, pero sin una explosión asociada; es decir, el proceso de explosión fue inhibido por alguna razón". Y añade: "El proceso de colapso del núcleo estelar pudo originar un agujero negro que, a través de un mecanismo desconocido, engulló toda la



estrella, incluyendo la mayoría o todas las capas exteriores que dan origen a la hipernova". "El proyecto ha puesto en evidencia

la complejidad de los fenómenos de muerte estelar en estrellas masivas, y demuestra que los modelos de colapso estelar necesitan una revisión", concluye Gorosabel.

## Tres tipos de muerte estelar

El primero de estos fenómenos se produce cuando las estrellas poco masivas (menos de 10 masas solares, aproximadamente) agotan su combustible nuclear y se apagan lentamente, produciendo un cadáver estelar llamado enana blanca. El segundo de los modelos, el de supernova, se observa en las estrellas masivas una vez agotan la energía de su núcleo, por lo que se contraen y se colapsan. La explosión se produce porque las capas de la estrella caen de forma radial hacia el núcleo colapsado y luego rebotan hacia el exterior.

Un tercer tipo de muerte son las hipernovas, una variante energética de las supernovas. Se diferencian en que las hipernovas emiten rayos gamma en los primeros instantes del colapso.

## ENTRE BASTIDORES

CAMBIO CLIMÁTICO: DOS PREGUNTAS ABIERTAS

POR MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ VALVERDE

En la prensa vienen apareciendo, desde hace al menos dos décadas, artículos diversos sobre el cambio climático. Se suele comentar, por ejemplo, el enfrentamiento entre las dos partes con posiciones más claras y opuestas. Por un lado las empresas y gobiernos que se resisten a admitir la gravedad del problema y a tomar medidas. Por otro, las organizaciones ecologistas y afines, además de la mayoría de los científicos, que no descansan alertando del problema y pidiendo acciones, o acciones más energéticas. Entre ambas posturas parecía andar la prensa y el público no científico, probablemente crítico con ambos grupos, y quizás algo distante de la naturaleza detallada del problema y de sus posibles soluciones.

Pues bien, algo nuevo se observa en el último año. Diría que una atmósfera cambiante se respira alrededor del cambio climático. Todos los medios, al unísono, parecen de pronto convencidos de la magnitud del problema, y casi todos los gobiernos occidentales empiezan a dar algunos pasos, al menos más serios y decididos de los que venían dando hasta ahora.

¿Qué ha cambiado en estos últimos meses para que se dé este cambio brusco de postura y de concienciación?

La respuesta quizás es la peor de todas:

la enfermedad del planeta se agrava. Es decir, se acumulan las evidencias de sucesos naturales "inesperados", todos ellos en la misma dirección. Por recordar unos pocos: desaparecen las nieves del Kilimanjaro y las cataratas Iguazú andan casi secas; los osos dejan de invernar y las ranas de las selvas de Costa Rica de croar; se reduce notablemente la masa de hielos polares y aumentan los grandes icebergs; crecen la erosión y la desertificación, escasean las cosechas y se acentúan las sequías en países limítrofes con regiones desérticas (como España); y se batan récords estadísticos, como que la última década ha sido la más cálida en todo el planeta desde que se tienen registros.

Parece que el calentamiento global es irreversible, dada la inercia de los océanos y la atmósfera. Y a algunos se nos ocurre preguntarnos si los científicos hemos informado tarde y/o mal a la opinión pública. Esto parte de la hipótesis de que a los científicos se nos escucha, supuesto cuestionable que requeriría su propio debate. Aceptaré alegremente, por ahora, semejante posibilidad. Propongo aquí un ejercicio interesante: comparar la evolución, durante las últimas dos décadas, en la comunidad científica y en la sociedad, de la opinión general imperante en ambas.

Para este entretenimiento, tenemos que

olvidarnos del diferente valor del concepto "opinión dominante" en la comunidad científica y en la sociedad -otro tema quisquilloso, también digno de ser discutido en otro momento. La razón es que en ciencia no debe importar tanto el "consenso": en principio basta que un hecho aislado contradiga una teoría para echarla por tierra, por muy aceptada que dicha teoría esté hasta dicho momento.

Así que lanzo al aire las dos siguientes preguntas:

1) ¿Ha cambiando mucho la visión de los científicos sobre el calentamiento global durante las últimas dos décadas? ¿Ha aumentado el "consenso" entre ellos porque las dificultades científicas asociadas a este problema se han venido resolviendo? ¿O también los científicos andan impresionados, y ya más convencidos, tras la creciente avalancha de evidencias de cambio climático?

2) ¿Ha ido cambiado la opinión del ciudadano medio de la misma manera? Y si la respuesta es NO, ¿por qué?

A ver si alguien me resuelve estas preguntas pronto...

Si no, quizás vuelva con ustedes para seguir charlando sobre ellas otro día, en esta sección.

continuará...



# Una predicción, un cristal, un derrumbe y un incendio

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

## La predicción

Mediados del siglo XIX. Surge en Europa una importante corriente filosófica llamada positivismo que, entre otras cosas, defiende como único conocimiento científico válido aquel que proviene de la experiencia directa. En 1835, el padre del positivismo, Auguste Comte, en su Curso de la filosofía positivista sintetiza esta máxima en una predicción lapidaria: "...todo aquello que no sea observable visualmente nos será negado. Nunca conoceremos la composición química del interior de las estrellas..." Apenas una década después ya se conocían los principales elementos químicos que constituyen el Sol y, a la postre, el resto del Universo. Y todo gracias a un trozo de cristal, un derrumbe y un incendio.

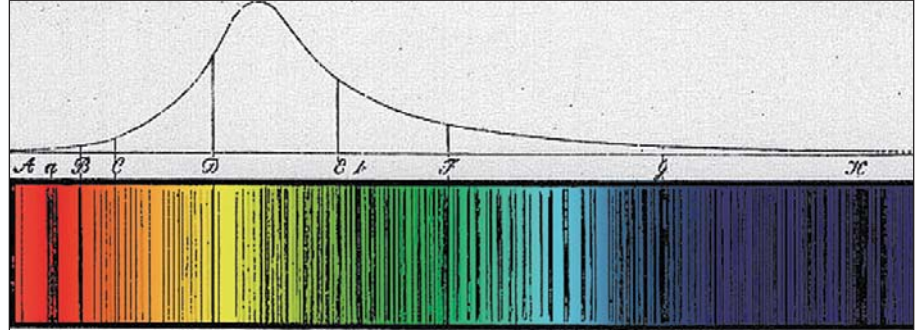
## El cristal

Retrocedemos hasta 1669, feria del cristal de Stourbridge, un pequeño pueblo al Oeste de Inglaterra. Un joven compra un cristal pulido en forma de prisma. El joven observa que cuando la luz blanca del Sol incide sobre el cristal surgen los colores del arco iris proyectados en varias direcciones. Intrigado por este hecho, experimenta y llega a la conclusión de que la luz del Sol se compone en realidad de luz de diversos colores que, al incidir sobre el prisma, y gracias al fenómeno de refracción, se separan en lo que bautiza con el nombre de "espectro". Aquel joven se llamaba Isaac Newton y esta fue la base de su posterior tratado sobre Óptica y de toda la futura espectroscopía.

## El derrumbe

Regresamos al 21 de Julio de 1801, Munich. La fábrica de cristal de Philipp Anton Weichelsberger acaba de derrumbarse. En la tragedia muere su mujer. Tras cuatro horas de angustiosa espera logran rescatar ileso al aprendiz más aventajado del viejo cristalero, un niño llamado Joseph von Fraunhofer. Entre los testigos del rescate se encuentran el príncipe Maximiliano José, futuro rey Maximiliano I, y Joseph von Utzschneider, que hacía poco había abandonado su carrera política para centrarse en su negocio: la construcción de complementos ópticos de calidad.

Príncipe y empresario se apiadan de aquel joven que había vuelto a nacer bajo las ruinas. El futuro rey lo toma bajo su protección, costea sus



estudios y, un año después, comienza a trabajar en la fábrica de Utzschneider. Fraunhofer no decepciona a sus mecenas. Con tan solo 22 años desarrolla nuevas técnicas de fundido de vidrio y diseña, prueba, documenta y supervisa la construcción de instrumentos ópticos que se utilizan en toda Europa.

“LA LUZ DEL SOL SE COMPONE DE LUZ DE DIVERSOS COLORES QUE, AL INCIDIR SOBRE EL PRISMA, SE SEPARAN EN LO QUE BAUTIZA CON EL NOMBRE DE ESPECTRO”

Pero Fraunhofer no es sólo un ingeniero. Su curiosidad lo empuja a emplear sus instrumentos en investigaciones científicas y en 1814 repite la experiencia de Newton, pero hace pasar la luz del Sol por una fina hendidura antes de que incida sobre el prisma. El resultado es el habitual espectro de colores, pero superpuestas aparecen numerosas líneas oscuras, concretamente 574. En realidad algunas de estas líneas ya habían sido observadas por William Wollaston

“Y UNA VEZ MÁS SE HARÁ TRIZAS LA PREDICCIÓN QUE UN FILÓSOFO HIZO NO HACE MUCHO MÁS DE UN SIGLO”

en 1802, pero fue Fraunhofer quien las estudia sistemáticamente y cataloga: emplea las letras del abecedario, en una notación que aún hoy se utiliza. Además descubre que el mismo espectro es generado por la Luna y los planetas, pero no así por el resto de las estrellas. El 7 de junio de 1826 Fraunhofer muere de tuberculosis, acentuada tras años de inhalar gases tóxicos en la preparación del vidrio.

## El incendio

Una tarde de 1857, Mannheim, a la orilla del

Rin (futura cuna automovilística gracias a un tal Carl Benz). Se produce un tremendo incendio cuyas llamas se divisan a gran distancia.

Heidelberg, a unos 15 kilómetros de Mannheim. Dos físicos, Gustav Robert Kirchhoff y Wilhelm Bunsen, se afanan en la azotea de su laboratorio por analizar la luz del resplandor del incendio con un aparato de su invención: el espectroscopio.

Kirchhoff y Bunsen habían demostrado que, cuando un compuesto químico era calentado en el mechero invención de este último, emite un espectro formado por líneas brillantes, con un patrón que es único y propio de cada elemento o compuesto, lo que les permite detectar bario y estroncio en las llamas de Mannheim. Además, Kirchhoff descubre que en muchos casos estas líneas coinciden con las líneas oscuras del espectro solar de Fraunhofer.

En 1859 publica que las líneas de Fraunhofer se deben a que los elementos químicos presentes en la atmósfera solar absorben, selectivamente, parte del espectro continuo generado en el interior caliente del Sol.

Kirchhoff logra identificar hasta 16 de estos elementos, entre ellos el hidrógeno, el calcio y el potasio. Los elementos de los que está hecho el Sol. Pocos años después Norman Lockyer identifica en el espectro del Sol un nuevo elemento no detectado aún en la Tierra. Lo llama Helio, en honor del Dios Griego, Helios.

## Una mala predicción

Año 2007. Un observatorio cualquiera. La luz de una galaxia a miles de años-luz penetra a través del telescopio en un espectrógrafo. Las líneas de un espectro aparecen en la pantalla del ordenador. Su análisis revelará la composición del gas, del polvo y de las estrellas que la forman, su distancia, velocidad, edad..., y una vez más se hará trizas la predicción que un filósofo realizó no hace mucho más de un siglo.

Pilares científicos

# LOS PULSOS DEL SOL Y SU INTERIOR

EL SOL NO SE COMPORTA COMO UN CUERPO RÍGIDO SINO QUE MUESTRA MÚLTIPLES MODOS DE VIBRACIÓN. EL ESTUDIO DE LAS OSCILACIONES SOLARES NOS HA PERMITIDO CONOCER INTERIOR DE NUESTRA ESTRELLA.

Las oscilaciones del Sol se excitan en la zona convectiva y causan ondas sonoras que rebotan y resuenan en toda la estructura solar. El efecto visible es una perturbación del plasma de la fotosfera que produce movimientos verticales que se observan como desplazamientos minúsculos de ciertas líneas espectrales o pequeñísimas variaciones -del orden de unas pocas millonésimas- del brillo del Sol.

Mediante la heliosismología, es decir, el estudio de las vibraciones del Sol, tenemos un sorprendente conocimiento de su estructura interna. La comparación de las pequeñas diferencias entre la velocidad del sonido observada a

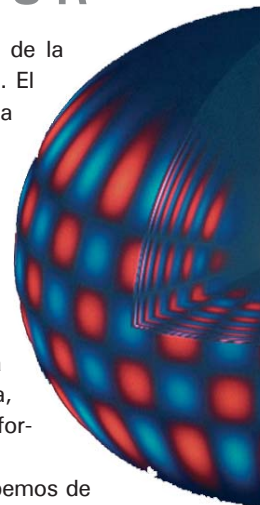
través de estas técnicas y la calculada en modelos numéricos ha permitido trazar con una gran precisión los perfiles de densidad, temperatura y composición solares. Sabemos también que a una distancia del centro de 0,713 radios solares se sitúa la parte más baja de la zona convectiva; por debajo de ese radio, el transporte de energía desde el núcleo es radiativo.

Las medidas de la velocidad del sonido permiten saber cuál es la temperatura del centro del Sol, puesto que actúan como una especie de 'termómetro interno'. Un buen símil sería el de un instrumento de cuerda perfectamente afinado en una habitación y que se expusiera a un frío o calor intensos: en ambos casos sonaría desafinado en sentidos opuestos. Cálculos detallados nos dicen que la temperatura del núcleo del Sol es de 15,6 millones de grados Kelvin.

Los heliosismólogos nos han proporcio-

nado también un perfil de la rotación interna del Sol. El patrón que se observa en la superficie, con las zonas ecuatoriales rotando más rápido que las zonas a latitudes más altas en valor absoluto, persiste a través de la zona convectiva hasta llegar a la zona radiativa, donde una rotación uniforme parece dominar.

Y aun más cosas... sabemos de la existencia de flujos de materia muy lentos por debajo de la superficie del Sol y hemos podido observar el efecto de las fulguraciones solares sobre la fotosfera producidos por el choque de electrones muy energéticos en las capas densas de la atmósfera. Impresionantes logros tan sólo tomando el pulso a nuestra estrella.



Incertidumbres

# CICLOS DE ACTIVIDAD MAGNÉTICA

EL SOL ES LA ESTRELLA MÁS CERCANA Y MEJOR OBSERVADA. SIN EMBARGO, UNA DE SUS CARACTERÍSTICAS MÁS PROMINENTES, EL CICLO SOLAR, SU ORIGEN Y SUS PATRONES DE VARIACIÓN, NO ESTÁN AÚN EXPLICADOS EN SU TOTALIDAD.

Samuel Heinrich Schwabe, un farmacéutico y astrónomo aficionado alemán, sugirió, alrededor de 1840, que el número de manchas en la superficie del Sol tenía un comportamiento cíclico, con un periodo medio de unos 11 años. A comienzos del siglo XX, las observaciones espectroscópicas de las manchas mostraron, a través del efecto Zeeman, que su estructura está íntimamente ligada al magnetismo solar. Hoy día, desde el punto de vista observacional, tenemos un registro histórico con conteos directos de manchas que se remontan hasta principios del siglo XVII, e indicadores del comportamiento del Sol desde aproximadamente el año 1.000 a partir de medidas del carbono

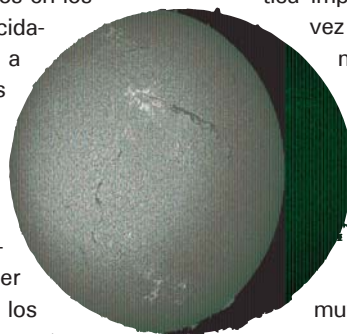
14 en los anillos de los árboles y del número de auroras boreales.

En los últimos 290 años, desde 1715, el Sol ha mostrado ciclos con números de manchas muy distintos en los máximos y con periodicidades que van desde los 9 a los 13 años. Sabemos que en el pasado milenio hubo dos periodos con ausencia casi total de manchas, los mínimos de Spörer (1420-1500) y de Maunder (1645-1715), aunque los registros de berilio 10 muestran que incluso en estos intervalos el Sol mantuvo su comportamiento cíclico internamente.

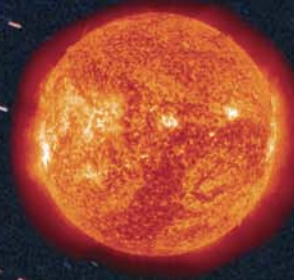
La explicación de las características del ciclo solar se buscan dentro de los modelos de acción dinamo, que estudian la interacción entre la convección, que ocurre en el último tercio de la estructura del Sol y la rotación diferen-

cial en una zona estrecha, la taoclina, que separa las zonas convectiva y radiativa. La complejidad de los fenómenos que ahí ocurren, unida a la práctica imposibilidad de modelar a la

vez todos ellos y al desconocimiento de muchos de los parámetros del plasma solar en esa región hace que los modelos hayan colocado correctamente muchas de las piezas del rompecabezas, pero no todas ellas. Problemas muy importantes a resolver son, por ejemplo, qué sucede con el flujo magnético en una mancha cuando ésta desaparece, y a nivel más interno, cómo pueden cohabitar en un mismo hemisferio, en los finales de los ciclos, tubos de flujo con campos magnéticos opuestos, que dan lugar a las últimas manchas de un ciclo, a latitudes bajas, y a las primeras del siguiente, a latitudes más altas.



# EL INCREIBLE Y ASOMBROSO VIAJE DE FOTÓN

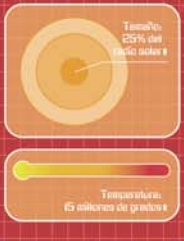


EL SOL, UNA ESTRELLA MEDIANA SITUADA EN EL BRAZO DE ORIÓN DE LA VÍA LÁCTEA, SE ENCUENTRA A MÁS DE 150.000 MILLONES DE KILÓMETROS DE LA TIERRA Y PRODUCE ENERGÍA EN CANTIDADES INMENSURABLES: EN UN SEGUNDO GENERA LA QUE CONSUMIRÍA ESTADOS UNIDOS EN UN MILLÓN DE AÑOS.

Peso: 1.991.983 km  
Masa: 2000 billones de billones de toneladas

## NÚCLEO:

EN EL NÚCLEO SE GENERA TODA LA ENERGÍA DEL SOL, GRACIAS A LA FUSIÓN DE ÁTOMOS DE HIDRÓGENO (PROTONES) QUE COLISIONAN A GRAN VELOCIDAD.

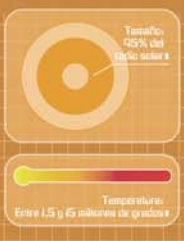


UN PROTON CHOCA CON OTROS UNAS 20 MILLONES DE VECES CADA SEGUNDO, PERO TARDA UNOS 10.000 MILLONES DE AÑOS EN ENCONTRAR UNA PAREJA CON LA QUE FUSIONARSE (Y LA COLISIÓN TIENE QUE SER DE FRENTE Y A MUCHA VELOCIDAD).



LA ENERGÍA PRODUCIDA EN LA FUSIÓN SE TRANSMITE EN FORMA DE "PAQUETES" (LOS FOTONES), QUE NACEN LLENOS DE ENERGÍA (RAYOS GAMMA).

## CAPA RADIATIVA:



LOS FOTONES TRANSPORTAN SU ENERGÍA A TRAVÉS DE ESTA REGIÓN, AUNQUE CHOCHAN TODO EL TIEMPO CON LOS NÚCLEOS QUE FORMAN EL MATERIAL ESTELAR.

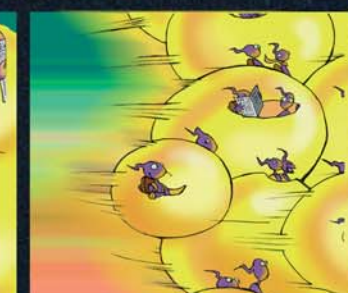


## CAPA CONVECTIVA



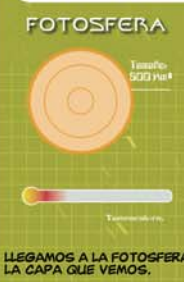
AL FINAL DE LA CAPA RADIATIVA LA TEMPERATURA HA DISMINUIDO LO SUFICIENTE PARA QUE EXISTAN PARTICULAS MÁS PESADAS QUE BLOQUEAN EL CAMINO DEL FOTÓN. EL MEDIO DE TRANSPORTE DEBE CAMBIAR...

EL FOTÓN TARDA UNOS DIEZ DÍAS EN ATRAVESAR LA CAPA CONVECTIVA. AL LLEGAR A LA SUPERFICIE, LAS CÉLULAS LIBERAN LA ENERGÍA, SE ENFRÍAN Y VUELVEN A DESCENDER.



## SUPERFICIE

EL FOTÓN HA PERDIDO TANTA ENERGÍA EN EL CAMINO QUE SE HA CONVERTIDO EN LUZ VISIBLE.



¿Qué le ocurrirá a Fotón al salir del Sol y alcanzar la Tierra? Lo averiguarás en el número siguiente...



CONSEJO SUPERIOR DE  
INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS  
INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA

Y por último, gracias a todos los amigos que andan desperdigados por aquí y por allí, porque tuvieron fe en el catetillo de Andújar.

ESTUDIO DE CUÁSARES Y NÚCLEOS DE RADIOGALAXIAS  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE RADIO INTERFEROMETRÍA  
DE MUY LARGA BASE: 3C395 Y 3C382

Memoria presentada en la Universidad de Granada (Departamento de Física Teórica y del Cosmos) para optar al título de Doctor en Ciencias Físicas por LUCAS J. LARA GARRIDO, Licenciado en Ciencias Físicas.

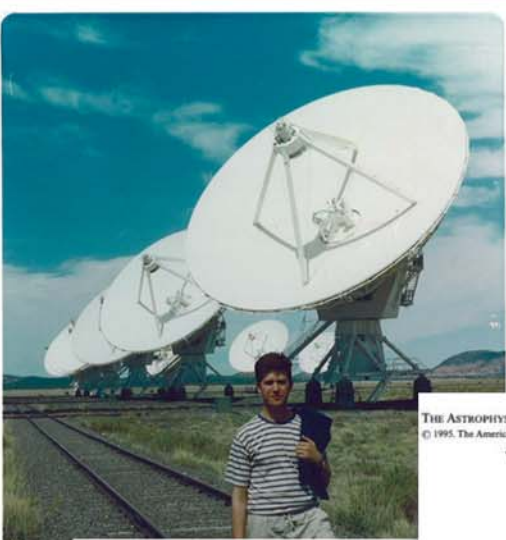
Director de la Tesis: Dr. JUAN MARÍA MARCAIDE OSORO  
Catedrático del Departamento de  
Matemática Aplicada y Astronomía  
Universidad de Valencia

9.1 Un símil

Aunque la situación real es mucho más compleja, el problema de astrometría diferencial entre un par de radiotelescopios para recoger una frecuencia de observación ( $\equiv$  radio de la ru-  
vamente las dos radiofuentes con un intervalo de tiempo  $\Delta t$  a la frecuencia, que nos permita hacer un seguimiento de la interferometría ( $\equiv$  conectar la fase de la rueda); *iii*) eliminar el medio en el que se propaga la radiación ( $\equiv$  eliminar la ionosfera y la troposfera; y *iv*) eliminar la estructura de las radiofuentes ( $\equiv$  deformaciones de la

# HOMENAJE

Con este *collage*, la redacción de esta revista quiere ofrecer un pequeño homenaje a Lucas Lara Garrido en nombre de todos sus compañeros y amigos del Instituto de Astrofísica de Andalucía.  
*La impresión que nos dejaste en tu intensa vida será más duradera que nuestra propia visita al pequeño planeta Tierra.*



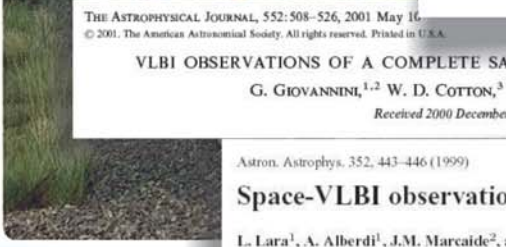
THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 452:605-612, 1995 October 20  
© 1995. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

VLBI OBSERVATIONS OF A COMPLETE SAMPLE OF RADIO GALAXIES V. 3C 346 AND 4C 31.04: TWO UNUSUAL COMPACT STEEP SPECTRUM SOURCES

W. D. COTTON,<sup>1</sup> L. FERETTI,<sup>2,3</sup> G. GIOVANNINI,<sup>2,3</sup> T. VENTURI,<sup>2</sup> L. LARA,<sup>4</sup> J. MARCAIDE,<sup>5</sup> AND A. E. WEHRLE<sup>6</sup>

Received 1994 September 15; accepted 1995 May 1

Tras licenciarse en Ciencias Físicas en la Universidad de Granada, se doctoró en el Instituto de Astrofísica de Andalucía en 1995. Desde entonces ha sido investigador en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, donde ha dirigido a varios futuros estudiantes de doctorado. Lucas hizo contribuciones en múltiples campos de la astronomía radio, incluyendo la observación de cuásares y galaxias de radio.



THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 552:508-526, 2001 May 16  
© 2001. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

VLBI OBSERVATIONS OF A COMPLETE SAMPLE OF RADIO GALAXIES: 10 YEARS LATER

G. GIOVANNINI,<sup>1,2</sup> W. D. COTTON,<sup>3</sup> L. FERETTI,<sup>2</sup> L. LARA,<sup>4</sup> AND T. VENTURI<sup>2</sup>

Received 2000 December 4; accepted 2000 December 22



A&A 399, 889-897 (2003)  
DOI: 10.1051/0004-6361/20021821  
© ESO 2003

Lobe advance velocities in the extragalactic compact source 4C 31.04

M. Giroletti<sup>1,2</sup>, G. Giovannini<sup>1,2</sup>, G. B. Taylor<sup>3</sup>, J. E. Conway<sup>4</sup>, L. Lara<sup>5,6</sup>, and T. Venturi<sup>2</sup>

Astron. Astrophys. 352, 443-446 (1999)

Space-VLBI observations of the twisted jet in 3C 395

L. Lara<sup>1</sup>, A. Alberdi<sup>1</sup>, J.M. Marcaide<sup>2</sup>, and T.W.B. Muxlow<sup>4</sup>

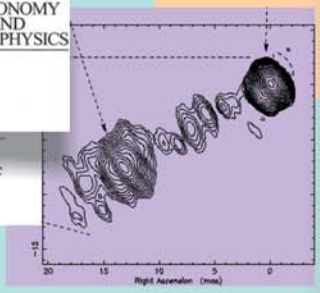
<sup>1</sup> Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC), Apdo. 3004, 18080 Granada, Spain  
<sup>2</sup> Departamento de Astronomía, Universitat de València, 46100 Burjassot, Spain  
<sup>3</sup> NRAO, Jodrell Bank, Macclesfield, Cheshire SK11 9DL, UK

Astron. Astrophys. 285, 393-403 (1994)

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

The quasar 3C395 revisited: new VLBI observations and numerical simulations

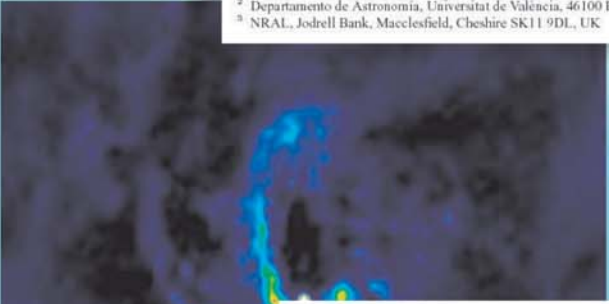
L. Lara<sup>1</sup>, A. Alberdi<sup>1</sup>, J.M. Marcaide<sup>1,2</sup>, and T.W.B. Muxlow<sup>3</sup>



Astron. Astrophys. 319, 405-417 (1997)

Radio observations of the quasar 3C395 from parsec to kiloparsec scales

L. Lara<sup>1,2</sup>, T.W.B. Muxlow<sup>3</sup>, A. Alberdi<sup>1,2</sup>, J.M. Marcaide<sup>1,2</sup>, W. Junor<sup>4</sup>, and D.J. Saikia<sup>2</sup>



Astron. Astrophys. 343, 891-905 (1999)

A decade of unchanged 1.3 cm VLBI structure of Sgr A\*

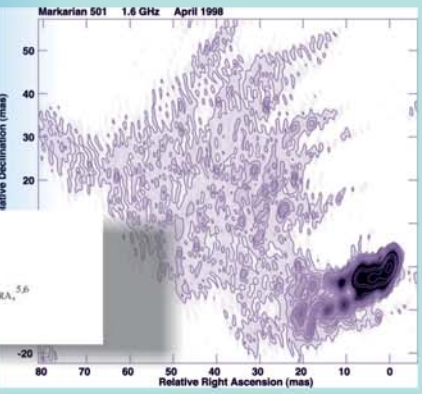
J.M. Marcaide<sup>1</sup>, A. Alberdi<sup>2</sup>, L. Lara<sup>2</sup>, M.A. Pérez-Torres<sup>1</sup>, and P.J. Diamond<sup>3</sup>

Astron. Astrophys. 277, L1-L4 (1993)

Letter to the Editor

VLBA image of Sgr A\* at  $\lambda = 1.35$  cm

A. Alberdi<sup>1</sup>, L. Lara<sup>1</sup>, J.M. Marcaide<sup>1,2</sup>, P. Elősegui<sup>1,2</sup>, L.I. Shapiro<sup>1</sup>, W.D. Cotton<sup>3</sup>, P.J. Diamond<sup>3</sup>, J.D. Romney<sup>4</sup>, and R.A. Preston<sup>5</sup>

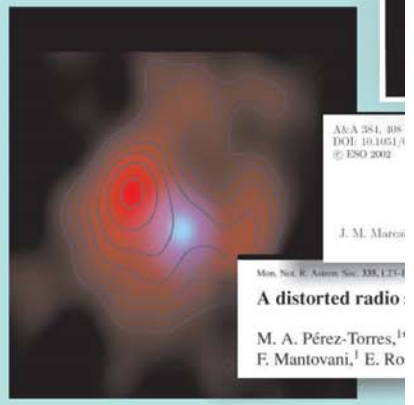


THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 600:127-140, 2004 January 1  
© 2004. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

PARSEC-SCALE PROPERTIES OF MARKARIAN 501

M. GIROLETTI,<sup>1,2</sup> G. GIOVANNINI,<sup>1,2</sup> L. FERETTI,<sup>1</sup> W. D. COTTON,<sup>3</sup> P. G. EDWARDS,<sup>4</sup> L. LARA,<sup>5,6</sup> A. P. MARSCHER,<sup>7</sup> J. R. MATTON,<sup>8</sup> B. G. PISER,<sup>9</sup> AND T. VENTURI<sup>1</sup>

Received 2003 April 23; accepted 2003 September 9



A&A 284, 408  
DOI: 10.1051/0004-6361/20021821  
© ESO 2002

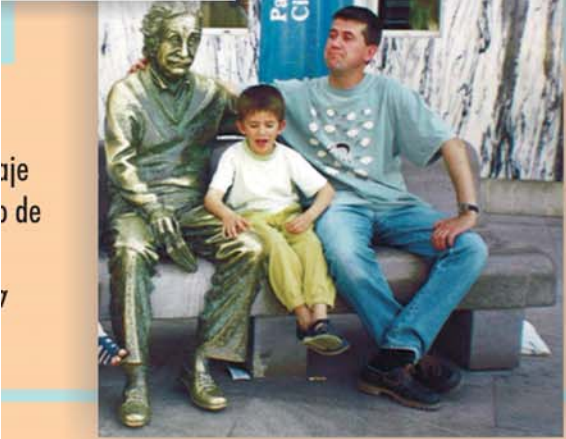
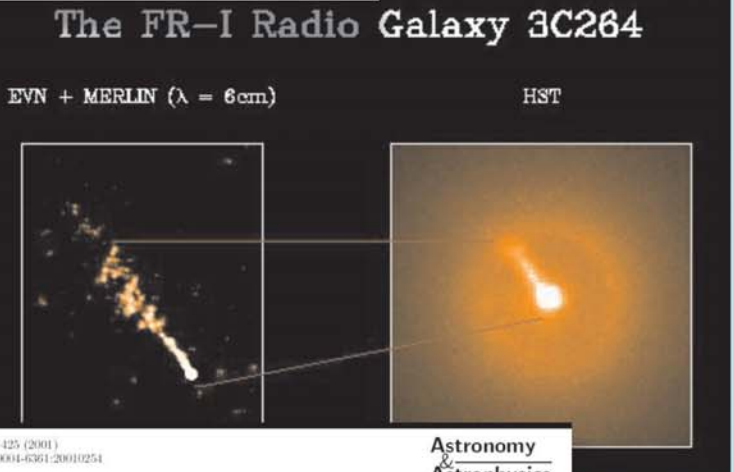
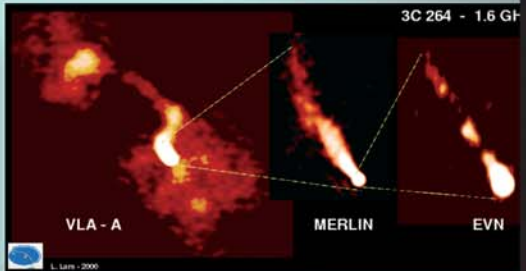
J. M. Marcaide

Mon. Not. R. Astron. Soc. 338, L27-L29 (2002)

A distorted radio image of the quasar 3C 395

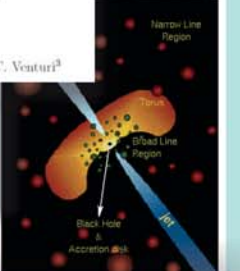
M. A. Pérez-Torres<sup>1</sup>, F. Mantovani<sup>1</sup>, E. Roselli<sup>1</sup>, and J. M. Marcaide<sup>2</sup>

cuando abordamos un profuente tenemos que i) eseda); ii) observar alternatiipo máximo, dependiente de no ambiguo de la fase interinar los efectos introducidos regularidades del terreno), la contribución debida a la rueda).



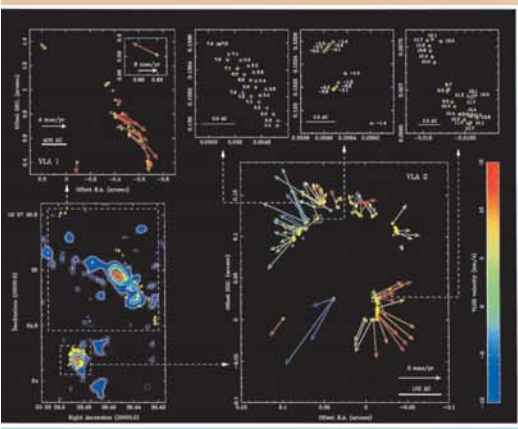
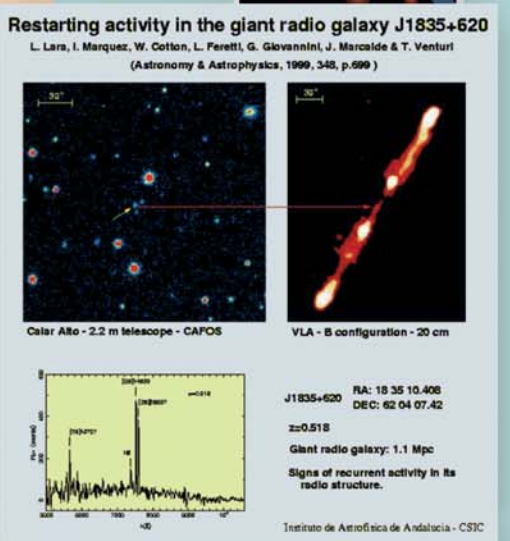
A new sample of large angular size radio galaxies  
I. The radio data\*  
L. Lara<sup>1</sup>, W. D. Cotton<sup>2</sup>, L. Feretti<sup>3</sup>, G. Giovannini<sup>3,4</sup>, J. M. Marcaide<sup>5</sup>, I. Miróquez<sup>1</sup>, and T. Venturi<sup>3</sup>

The giant radio galaxy 8C 0821+695 and its environment  
L. Lara<sup>1</sup>, K.-B. Mack<sup>2,3</sup>, M. Lacy<sup>4</sup>, U. Klein<sup>5</sup>, W.B. Cotton<sup>6</sup>, L. Feretti<sup>3</sup>, G. Giovannini<sup>7</sup>, and M. Murgia<sup>8,9</sup>



encias Físicas en la Universidad de Granada, Lucas comenzó su carrera científica en el IAA, donde realizó su tesis el 17 de mayo de 1994. Desarrolló su trabajo postdoctoral en el Istituto di Radioastronomia de Bologna (Italia), ia internacional en el campo de la radiointerferometría. Volvió a Granada como contratado postdoctoral en el IAA, ñ definitiva como Profesor Titular de la Universidad de Granada en febrero de 2002. "¡Qué suerte van a tener tus, le dijo Jon Marcaide, su antiguo director de tesis, consciente de sus dotes de docente y de su talento como

iones muy relevantes en el campo de la actividad de las regiones centrales de los Núcleos Activos de Galaxias. Entre sus trabajo podemos destacar: el estudio de la estructura interna del cuásar superluminal 3C 395 (con técnicas de VLBI); el estudio de fenómenos de recurrencia en la actividad nuclear en radiogalaxias como J1835+620, 3C236 y 3C338; la definición y estudio de una muestra de radiogalaxias de gran tamaño angular (GRGs), que ha supuesto el descubrimiento de 22 nuevas GRGs, radiogalaxias viejas en sus últimas fases de evolución que son excelentes candidatos a comenzar un nuevo proceso de reactivación; contribución al estudio de SgrA\* con alta resolución angular y al estudio de la expansión angular de supernovas jóvenes, y muchos más que no podemos detallar aquí. Además, Lucas tuvo también una capacidad natural para la divulgación de la ciencia. Muchos granadinos habrán leído sus artículos en las páginas de IDEAL y de Granada Hoy, habrán asistido a sus charlas de divulgación en el Instituto de Astrofísica y lo habrán tendido como guía magnífico en una de nuestras noches de observación astronómica.



Strongly decelerated expansion of SN 1979C  
de<sup>1</sup>, M. A. Pérez-Torres<sup>1,2</sup>, E. Ros<sup>3</sup>, A. Alberdi<sup>4</sup>, P. J. Diamond<sup>5</sup>, J. C. Guirado<sup>3</sup>, L. Lara<sup>3</sup>, S. D. Van Dyke<sup>6</sup>, and K. W. Weiler<sup>7</sup>

shell in the young supernova SN 1986J  
\* A. Alberdi,<sup>2</sup> J. M. Marcaide,<sup>3</sup> J. C. Guirado,<sup>3</sup> L. Lara,<sup>2</sup> s<sup>4</sup> and K. W. Weiler<sup>5</sup>

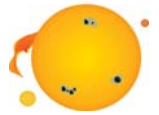


CUANDO LAS ESFERAS TOCAN HEAVY METAL  
Los antiguos griegos concebían al Universo formado por una serie de esferas concéntricas que giraban armoniosamente con la Tierra como centro, y en sus órbitas se producían los fenómenos que los habitantes de la Tierra percibían como eclipses, lluvias de meteoros, etc.

EL SOL ACAMPÓ EN EL PASEO DEL SALÓN DE GRANADA DURANTE LA SEMANA DE LA CIENCIA 2006. CON MOTIVO DEL AÑO INTERNACIONAL HELIOFÍSICO, EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE

ANDALUCÍA Y LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ZAIDÍN INSTALARON EN EL CENTRO DE LA CIUDAD EL PABELLÓN SOLAR, UNA INICIATIVA PARA LA DIVULGACIÓN SIN PRECEDENTES.

# PABELLÓN SOLAR



*"En este pabellón te proponemos un viaje: el Sol es una estrella, de modo que indagaremos en su naturaleza como objeto astronómico; pero también es, hasta donde sabemos, la única estrella capaz de hacer crecer plantas, de modo que estudiaremos su influencia sobre nuestro planeta y sobre la vida que éste acoge; el Sol es tan importante que se le han dedicado templos, mitos e incluso cuadros. Y además es capaz de fulminar a los vampiros. De todo esto, y mucho más, trata este pabellón".*

*(fragmento de presentación de la entrada)*

Unas 25.000 personas acudieron al Pabellón. Durante las mañanas se organizaron visitas guiadas para institutos de secundaria (un total de unos 20 grupos de 60 personas), aunque la entrada era libre de 9:30 a 21:30.

Los visitantes contaron con el apoyo de monitores excepcionales: científicos de ambos centros realizaron turnos para que ninguna duda quedara sin resolver. Además del Pabellón, con material gráfico,

audiovisual y de experimentación, los visitantes tuvieron a su disposición talleres de relojes y telescopios solares, sesiones de planetario e incluso actividades para los más pequeños, los "payasoles".



## ARQUEOASTRONOMÍA

En un atestado Salón de Plenos del Ayuntamiento de Granada (este improvisado corresponsal tuvo que seguir la conferencia de pie), Juan Antonio Belmonte, del Instituto de Astrofísica de Canarias, impartió la conferencia titulada: "A la luz de Ra: un ensayo sobre la astronomía del Egipto antiguo". Belmonte, astrónomo especializado en pulsación estelar, lleva varios años volcado en el estudio de la astronomía de las civilizaciones antiguas, la arqueoastronomía, donde es un referente a nivel mundial. Pero, Belmonte es ante todo, y como una vez más pudimos comprobar, un excelente divulgador con un fantástico sentido del humor.

En esta ocasión, Belmonte nos habló de uno de los temas que más le atrae y conoce: la astronomía en el antiguo Egipto, en este caso centrada en el culto al Sol. Tuvimos el privilegio de ser testigos de las conclusiones de su investi-

gación más reciente sobre la civilización del Nilo.

La charla comenzó con una descripción de la profunda influencia del astro rey en la civilización egipcia, a través del dios RA, encarnado en la tierra por la figura del faraón, cuya función principal era la de plasmar el orden cósmico en la Tierra. Parte de esto se lograba a través de la orientación de los templos, que se realizaba en una ceremonia llamada "el tensado de la cuerda" que contaba con la presencia del propio faraón. El exhaustivo trabajo de Belmonte demuestra que existen numerosos e importantes templos en Egipto, como el de Abu Simbel, Karnak, o Giza, con una orientación astronómica, determinada por las posiciones del Sol en los solsticios de invierno y verano. Estas orientaciones sustituyen o en algunos casos se superponen a las puramente topográficas, basadas principalmente en la orografía del Nilo. **Emilio J. García (IAA).**

## LAS CONFERENCIAS

### GEOLOGÍA PLANETARIA

La charla del profesor Francisco Anguita, de la Universidad Complutense de Madrid, versó sobre distintos aspectos de la estructura climato-geológica de diversos planetas, satélites y del Sol. La primera parte de la exposición mostró los mecanismos de algunos planetas para generar energía o motores en su interior. La Tierra, por ejemplo, crea parte de la energía interna mediante mecanismos de fisión nuclear. Otros planetas, como Venus, siguen ciclos de súbita actividad que aún no se han explicado. Por su parte, Marte, Encelado o Tritón, que hasta hace poco se consideraban geológicamente inactivos, muestran también signos de actividad. Satélites como Ío presentan actividad constante, pero generada por las fuerzas de marea de Júpiter. Los climas en el Sistema Solar también tuvieron su protagonismo en la conferencia: la Tierra sufre de periodos de glaciación que aún no se entienden, y se cree que Marte puede experimentar épocas húmedas debidas a



## LA CITA

Juan Manuel García Ruiz,  
aparecido en "Opinión", diario Ideal.

"Mención especial merece el IAA y la EEZ por el compromiso de sus mejores investigadores con esta tarea de divulgar lo que hacemos los científicos. [...] durante mi paseo por la Heliocarpa del Salón me fijé en una niña de pocos años, con el rostro serio, grave, ceñudo por instantes, los ojos abiertos como para captarlo todo mientras estaba concentrada en su conversación sobre los secretos del sol con un prestigioso investigador. Por esa cara, por lo que en su cerebro bullía en ese momento y por lo que ese cerebro nos deparará en el futuro, por eso -sólo por eso- merece la pena organizar la Semana de la Ciencia".

## EL "LLENAZO"

Organizar un Pabellón Solar resulta agotador, y nunca se sabe de antemano si interesará a la gente (por eso de que es ciencia...). De ahí la incredulidad, la satisfacción y el agradecimiento al ver que la gente no sólo entraba a raudales -durante el fin de semana unas 300 personas cada media hora-, sino que mostraba un interés que responde a la pregunta, si aún hay quien se la hace, de si merece la pena divulgar la ciencia. Indudablemente, sí.



una repentina actividad volcánica, lo que provocaría un efecto invernadero breve y un aumento de la temperatura superficial. Debido a la baja gravedad superficial, los gases volcánicos no podrían retenerse por mucho tiempo y se volvería a una época fría y seca. Ahora mismo Marte atraviesa una fase de deshielo por sublimación en los casquetes polares, parecido hasta cierto punto al que sufre la Tierra.

Durante la exposición también se mostraron satélites, como Europa y Titán, que podrían albergar océanos subterráneos y quizás actividad biológica. El conferenciante expuso varias analogías entre el Sol y los distintos planetas con el fin de demostrar que no son tan diferentes como parecen en un principio: las células convectivas del Sol se asemejan a la dinámica de placas tectónicas y las fulguraciones solares a las erupciones volcánicas. Además, la existencia de las enanas marrones como puente entre los planetas y las estrellas sugiere que la separación entre ambos no es tan drástica.

Javier Gorosabel (IAA).

## DUETO SOLAR

Cuando se le preguntó qué era el Sol para ella (durante los actos de la Semana de la Ciencia y la Tecnología), una pescadera del mercado de San Agustín en Granada dijo: "Es lo mejor que Dios podía haber inventado, porque cuando sale lo hace para todos, pobres y ricos sin distinción". Nosotros podríamos añadir aquí, para biólogos y astrofísicos por igual. Y es que el Sol es igualmente importante para unos que para otros. De aquí la idea de hacer una charla dueto entre un experto en física solar (Jose Carlos del Toro, IAA y otro en la luz en biología (Miguel Ángel de la Rosa, Centro de Investigaciones Isla Cartuja, CSIC-US). Así, la charla transcurrió con gran amenidad entre la alternancia de sus bien diferenciadas voces. Mientras el prof. Del Toro nos explicaba los complejos mecanismos termonucleares por los que la luz se genera en el Sol, el prof. de la Rosa nos relataba cómo esa luz es utilizada

por los seres vivos para recargar nuestras pilas moleculares o ATPs (adenosin tri-fosfato). La descripción del espectro de color del Sol se conectó con las distintas formas de fotoexcitación molecular debidas a los distintos colores. A la apabullante plétora de formas y estructuras de las capas exteriores del Sol (fotosfera, cromosfera y corona), se contrapuso la gran diversidad y versatilidad de la nano-biotecnología moderna (la manipulación directa a escala molecular).

La charla terminó con uno de los problemas más importantes de nuestros días, el cambio climático. Se discutió el papel del CO<sup>2</sup> en el calentamiento global y la interesante posibilidad de inyectar los residuos industriales de CO<sup>2</sup> en las capas profundas de los océanos. Así, el Sol, muy activo pero a la vez inmutable, seguirá siendo el testigo presencial de los cambios en nuestro querido planeta.

Carlos Barceló (IAA).

## VUELVE "A TRAVÉS DEL UNIVERSO"

EL PROGRAMA DE RADIO "A TRAVÉS DEL UNIVERSO", PRESENTADO POR EMILIO J. GARCÍA Y PABLO SANTOS (IAA), HA COMENZADO SU TERCERA TEMPORADA. YA TIENE HABILITADA UNA PÁGINA WEB EN LA QUE SE PUEDE CONSULTAR EL CONTENIDO DE CADA PROGRAMA, ADEMÁS DE DESCARGAR TODOS LOS EMITIDOS HASTA EL MOMENTO.

Más información, descarga de programas, etc...  
<http://universo.iaa.es>



## AGENDA

### CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

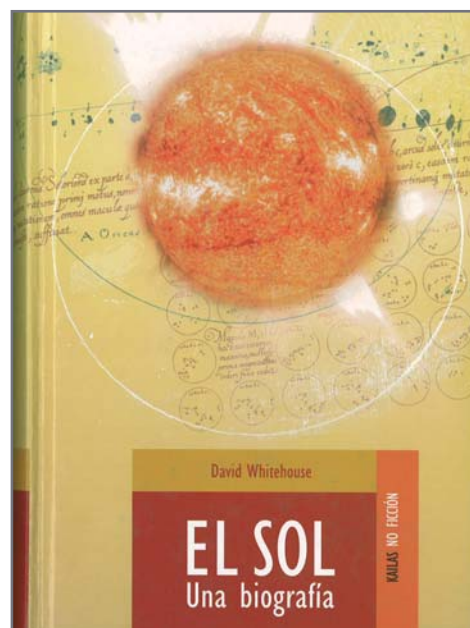
<http://www.iaa.es/conferencias/>

FECHA	CONFERENCIANTE	TEMA O TÍTULO TENTATIVO
22 de febrero	Belén Paredes (U. Gutenberg)	<i>Átomos atrapados en redes de luz: los objetos más fríos del Universo</i>
29 de marzo	Gonzalo Galapienso (INTA)	
26 de abril	Enrique Pérez (IAA-CSIC)	<i>La Tierra desde el cielo</i>

### LIBROS DE DIVULGACIÓN

*El Sol. Una biografía.* David Whitehouse. Editorial: Kalias no ficción, 2006.

**COMENTARIO DE EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC).** David Whitehouse, corresponsal de Ciencias para la BBC y anteriormente astrónomo del Mullard Space Science Laboratory, reconoce en el prólogo de su libro *El Sol. Una biografía*, que afrontar esta escritura iba a ser un reto "algo" más complejo que su anterior libro, *Biografía de la Luna*. Y bien que lo es. Intentar recoger en 500 páginas toda la complejidad física de nuestra estrella, su importancia cultural, la historia de sus descubrimientos, su influencia en el clima terrestre, en la psicología, en la salud, etc. se antoja una tarea titánica. Por ello, el autor opta por un libro cuyos capítulos picotean sin profundizar en exceso en los diferentes aspectos de nuestro astro rey, desde el dios egipcio Ra hasta el descubrimiento de las manchas solares, pasando por la descripción de la estructura interna del Sol. Y aquí es donde radica la principal virtud y defecto de este libro. Por un lado, su lectura es amena, entretenida y repleta de curiosidades que sorprenderán a más de un lector. Por otro lado, es algo deslabazado, incluso en ocasiones un poco caótico, y quizá no muy respetado por la traducción. En cualquier caso, un libro recomendable si queremos atisbar algo de la enorme influencia sobre nuestra existencia de esa bola de plasma que brilla a más de 150 millones de kilómetros.



### CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden obtener más información en la página Web del instituto o contactando con Cristina Torrededia (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: [ctr@iaa.es](mailto:ctr@iaa.es)).