

El Sistema Solar - IV El Sol

ALBERT MORRAL

El Sol es una gran esfera de gas. Para hacerse una idea de su inmensidad, pensemos que para llenar su volumen necesitaríamos 1.300.000 tierras. Esta gran esfera evolucionó a partir de la condensación de una gran masa de gas. El nacimiento del Sol se produjo hace unos 4.600 millones de años y desde entonces se ha mantenido más o menos estable. Realmente su poder de radiación ha ido aumentando de forma muy gradual. Dentro de unos 5.000 millones de años la vida del Sol acabará expulsando sus capas más exteriores que serán dispersadas en forma de nebulosa planetaria. Quedará un residuo del núcleo en forma de estrella enana blanca.

La composición actual del Sol se parece mucho a la que tuvo durante su nacimiento: casi un 75% de hidrógeno, el elemento más común y más ligero del Universo, y un 25% de helio, el segundo elemento en complejidad. Solo un 2% corresponde a elementos más pesados: oxígeno, carbono, nitrógeno, silicio, etc.

El Sol ocupa el centro del Sistema Solar, en torno al cual giran los planetas y otros astros menores. La radiación electromagnética, sobre todo la correspondiente a la luz visible, el infrarrojo y el ultravioleta, influyen directamente sobre los planetas y sus eventuales atmósferas. Las partículas cargadas eléctricamente que emanan del Sol conforman las magnetosferas de los planetas. En la Tierra tan fundamental ha sido el Sol para la aparición y la evolución de la vida como lo será para su aniquilación, dentro de unos mil millones de años, cuando la creciente radiación solar haya evaporado hasta la última gota de agua.

Estructura interna

El estudio del interior del Sol no se puede efectuar de una forma directa. Se pueden realizar suposiciones razonables sobre su estructura interna si se admite la hipótesis de que el Sol

es una estrella estable, es decir, que sus propiedades no cambian de una manera apreciable a lo largo del tiempo. La hipótesis se apoya en los registros geológicos y paleontológicos que demuestran que en los últimos dos o tres millones de años el Sol ha brillado como en la actualidad.

Por otra parte, tras la comparación de modelos teóricos y experimentales, y desde mediados del siglo XX, se sabe que en el interior del Sol la energía se genera a partir de reacciones termonucleares. En estas reacciones, que se producen cuando chocan muy violentamente núcleos atómicos, parte de la masa (materia) se transforma en energía. Esta energía, generada en forma de radiación γ , se abre paso hacia el exterior donde aparece mayoritariamente transformada en luz, calor, radiación ultravioleta, etc.

En el Sol se da principalmente la reacción de fusión termonuclear protón-protón y mucho más secundariamente, la CNO. Estas reacciones generan también unas determinadas cantidades de neutrinos (ν). Los neutrinos son partículas subatómicas pequeñísimas que prácticamente no interaccionan con la materia ordinaria formada por protones, neutrones y electrones. Son capaces de atravesar diametralmente la Tierra sin chocar contra ningún átomo. Pues bien, gracias a esta sorprendente propiedad, los neutrinos son unos testigos excepcionales que nos informan sobre las condiciones que hay en las profundidades del Sol. Se planteó, pues, la necesidad de construir grandes detectores de neutrinos para sondear el interior del Sol.

Pero una vez superadas las dificultades técnicas para captar neutrinos, los investigadores comprobaron una y otra vez que solo se recogía 1/3 de los neutrinos esperados al aplicar el modelo solar más aceptado. Al final se pudo saber que hay tres tipos diferentes de neutri-

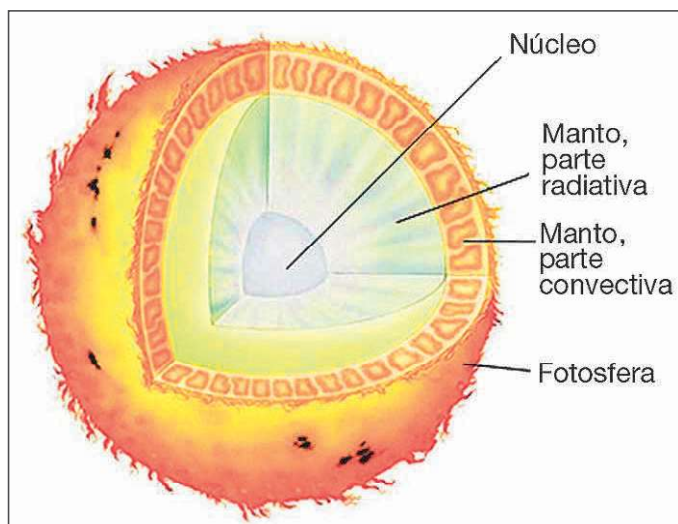


Fig. 1. Estructura interna del Sol.

nos que se transmutan continuamente entre sí. En resumen, resultaba que se estaba detectando solo 1/3 del número total de neutrinos que realmente nos estaban llegando del Sol. Este resultado apoyó sólidamente el modelo de un Sol con un núcleo donde se producen las reacciones termonucleares mencionadas.

Por otra parte gracias a refinadas técnicas de observación se pueden analizar los diferentes «modos de vibración» del Sol, la heliosismología, algo equivalente al estudio de los terremotos sobre la Tierra. De este modo se ha confirmado y refinado el modelo que a continuación se describe.

El Sol se encuentra en un doble equilibrio: hidrostático y térmico. Cada capa recibe el peso de las capas que se encuentran encima ejerciendo una presión que tiende a colapsarse hacia el interior, pero a la vez recibe la presión procedente del interior debida a la agitación térmica y a la radiación. Entre ambas presiones hacen que la capa esté en equilibrio. Cada capa del Sol pierde la misma cantidad de energía que la que recibe.

El núcleo

Es la parte más interna (figura 1), con un radio de alrededor del 25% del radio solar; es donde las altas temperaturas (14 millones de grados centígrados) y densidad (150 g/cm^3) dan lugar a reacciones termonucleares de fusión en las que el hidrógeno se consume para dar helio y producir energía en forma de rayos γ y X. El principal proceso de fusión es el llamado *pp* (protón-protón), que implica cuatro núcleos de

hidrógeno para dar lugar a uno de helio. El proceso CNO (carbono-nitrógeno-oxígeno) se da en mucha menor proporción. De esta manera, en cada segundo se transforman 4,3 millones de toneladas de masa en energía. En la reacción *pp* aparecen neutrinos que corroboran el modelo que actualmente tenemos del aparentemente inaccesible interior del Sol.

Zona radiativa

Es la zona que rodea al núcleo. Se extiende desde un radio del 25% del radio solar hasta, aproximadamente, el 70%. La temperatura baja de 7 a 2 millones de grados centígrados y la densidad de 20 a $0,2 \text{ g/cm}^3$. Dentro de esta capa la energía se transmite por radiación, es decir, los fotones son continuamente absorbidos y reemitidos al azar por la materia, siendo de un centímetro el recorrido libre medio del fotón. Dado que sus trayectorias son al azar, un determinado fotón puede tardar en cruzar esta región casi unos tres millones de años.

Zona convectiva

Es la zona que queda entre la zona radiativa y la superficie y es donde se produce el transporte de energía en forma de calor por los movimientos convectivos de la materia. La temperatura baja de los 2 millones a los 6 mil grados centígrados. Y la densidad baja de los $0,2 \text{ g/cm}^3$ a $0,0000002 \text{ g/cm}^3$, es decir una 6 milésima parte de la densidad de nuestra at-

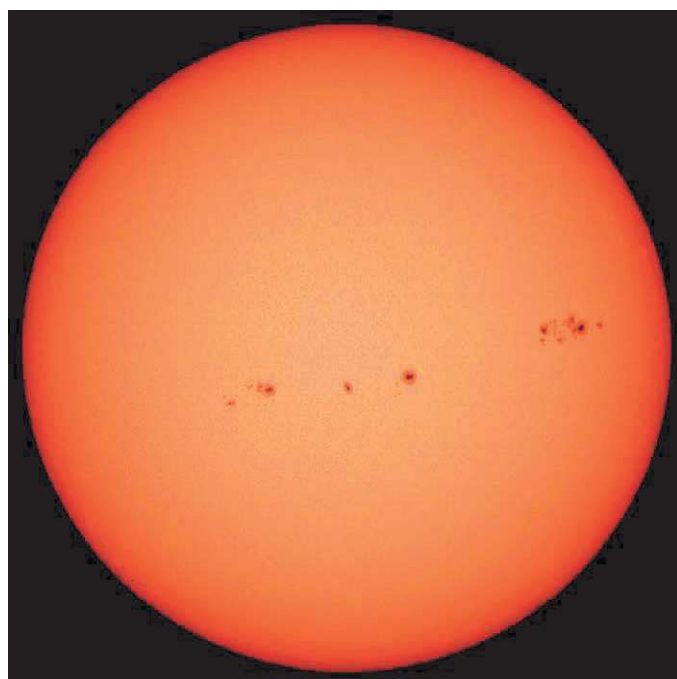


Fig. 2. Fotosfera solar.

mósfera a nivel del mar.

La atmósfera solar

Hay cuatro zonas que son accesibles a la observación directa y que, genéricamente, se las denomina «atmósfera» del Sol: la *fotosfera*, la *cromosfera*, la *corona* y el *viento solar*.

Fotosfera

(Del griego *photos* = luz). (Figura 2). Puede ser considerada como la superficie del Sol. Se trata de una capa de unos 100 km de espesor en la que disminuye de forma extremadamente rápida la densidad y la luminosidad del Sol. Como se trata de una capa muy delgada, desde la Tierra el borde solar aparece claro y bien definido. Es de esta capa de donde procede prácticamente la totalidad de la energía que recibimos del Sol, principalmente en forma de luz visible, llamada así porque la visión humana se ha adaptado a percibir este tipo de radiación.

Vemos la fotosfera como un disco brillante, más oscuro hacia los bordes debido a la presencia de una opacidad progresiva, ya que la luz viene más oblicua y proviene de capas menos profundas y, por tanto, más frías. Presenta una estructura superficial en forma de granos brillantes (*granulación*) de entre 1.000 y 2.000 km de anchura y una vida media de unos 10 minutos. Estos granos son la parte superior de las pequeñas células de convección que forman la parte más externa de la capa convectiva. En la parte central, más brillante y caliente, sube el gas a una velocidad de aproximadamente un km/s. A mayor escala también presenta una estructura llamada *supergranulación* que es la manifestación externa de las grandes células de convección más profundas. Su tiempo de vida oscila entre 12 y 14 horas.

Cromosfera

(Del griego *khroma* = color). Se trata de una capa de unos 2.000 a 5.000 km de espesor y de masa y densidad despreciables, que se encuentra justo por encima de la fotosfera. Sin una instrumentación adecuada solo es visible al final y al principio de la fase de totalidad de un eclipse de Sol en forma de una franja de color rosado allí donde la fotosfera acaba de desaparecer o está a punto de reaparecer. La

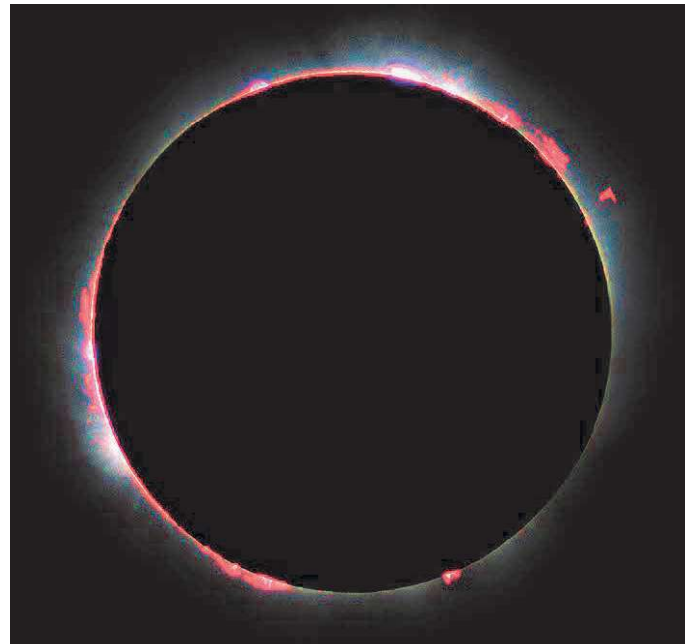


Fig. 3. Cromosfera solar durante un eclipse total de Sol.

temperatura de la cromosfera aumenta con la altitud. (Figura 3).

Justo por encima de la cromosfera se define la zona de transición de solo 200 km de espesor. En este intervalo tan breve la temperatura pasa de los 20.000 K de la cromosfera hasta el millón de grados de la corona. La zona de transición forma una especie de cobertura gaseosa caótica que rodea las *espículas* (pequeños tubos efímeros de plasma que ascienden a través de la cromosfera) y los *filamentos cromosféricos*.

Corona

La corona solar se extiende por encima de la cromosfera hasta unos tres millones de km. Tanto su masa como su densidad también son despreciables. Aparece como una aureola blanquecina durante la totalidad de un eclipse de Sol. Arbitrariamente se la divide en *corona interna* (hasta dos radios solares) y *corona externa* (a partir de dos radios solares). (Figura 4).

La corona presenta una estructura filamentoosa en forma de bucles en la parte inferior (hasta unos 100.000 km de altura) y de chorros en las partes más alejadas. Estas estructuras son menos definidas en las regiones polares y reciben el nombre de *plumas*. Se cree que reflejan la configuración del campo magnético bipolar del Sol y son más importantes durante las épocas de máxima actividad solar. De todas formas hay autores modernos que ponen en duda la relación entre las plumas y el campo magnético solar.

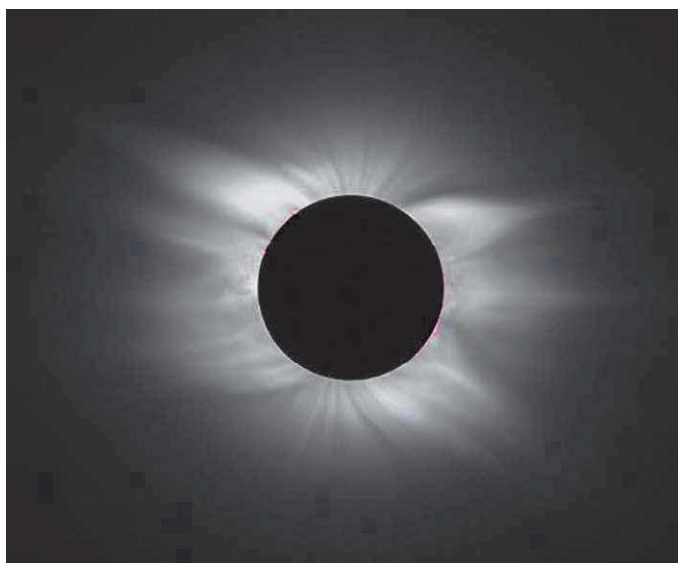


Fig. 4. Corona solar durante un eclipse total de Sol.

La corona presenta una anomalía que no se ha podido explicar de manera satisfactoria. Se trata del problema de su calentamiento, con temperaturas superiores al millón de grados Kelvin, mientras que las capas subyacentes (fotosfera y corona) no pasan de unos miles.

Parece que la causa de esta anomalía hay que buscarla en la inducción por corrientes magnéticas del calentamiento provocado por las erupciones solares (*flares*).

Viento solar

La corona se propaga hasta los confines del Sistema Solar a través del viento solar que no es más que un flujo de partículas formado, principalmente, por electrones, núcleos de hidrógeno (protones) y núcleos de helio (partículas α) que, a la altura de la Tierra, se desplazan a una velocidad de 400 km/s. Su densidad es de unas 10 partículas por cm^3 .

El viento es el responsable del barrido del Sistema Solar, empujando hacia el exterior los gases que escapan de las atmósferas planetarias, formando las colas de los cometas y deteniendo la radiación cósmica de origen galáctico. También es el responsable de las auroras polares y de las tormentas magnéticas y geomagnéticas terrestres. El Sol pierde del orden de un millón de toneladas de hidrógeno por segundo en forma de viento solar.

Telescopios
Accesorios
Astrofotografía
Componentes
Principales marcas líderes
Servicio técnico propio

TU TIENDA DE REFERENCIA AHORA EN BARCELONA

 **Còsmik** 

www.telescopiosbarcelona.com

La astronomía a tu alcance

Nuestra pasión es tu ilusión.

93.631.49.20

¡Visítanos!
Viladomat, 235
Barcelona