

Observaciones solares de última generación

New generation solar observations

Santiago Vargas Domínguez^a*,

^a*Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia*

Aceptado Diciembre 2014; Publicado en línea Marzo 2015.

ISSN 2256-3830.

Resumen

El desarrollo de la física solar en la última década ha venido de la mano de los avances en instrumentación y las nuevas técnicas observacionales. Gracias a estos adelantos con los cuales se puede disponer de imágenes solares con alta resolución espacial y temporal desde telescopios espaciales y terrestres, se ha descubierto la compleja estructura de la atmósfera solar y la gran variedad de fenomenología asociada a la actividad de la estrella. En este trabajo se hace un recorrido por algunas de las principales misiones espaciales dedicadas a la observación del Sol en los últimos 10 años: RHESSI, Hinode, Solar Dynamics Observatory, STEREO, IRIS. Igualmente se muestran los desarrollos de telescopios terrestres de última generación que, con la utilización de técnicas de óptica adaptativa, alcanzan sorprendentes niveles de resolución para detallar estructuras de menos de 100 km sobre la superficie solar: New Solar Telescope, Solar Swedish Telescope y telescopio GREGOR. Los nuevos hallazgos fruto de las observaciones de alta calidad con todos estos telescopios se combinan con los avances en las simulaciones teóricas para entender el funcionamiento del Sol y tratar de poder predecir algún día su comportamiento explosivo.

Keywords: Regiones Solares Activas, Atmósfera Solar, Campos Magnéticos, Plasma.

Abstract

Advances in solar physics in the last decade have come together with the new instrumentation and observational techniques. All these improvements are yielding high-spatial and temporal resolution solar images, acquired from ground-based and satellite telescopes, leading to the discover of a complex structure in the solar atmosphere and a wide variety of phenomena associated to the activity of our star. This work presents the main space missions devoted to observing the Sun in the last decade: RHESSI, Hinode, Solar Dynamics Observatory, STEREO, IRIS. Furthermore, it shows the state-of-the-art ground-based telescopes that, helped with incorporated adaptive optics systems, to reach high-resolution levels to be able to detail structures down to 100 km on the solar surface: New Solar Telescope, Solar Swedish Telescope and GREGOR telescope. New discoveries from these cutting edge solar instrumentation are combined with advanced theoretical simulations for understanding how the Sun works and, perhaps in the future, be able to predict the Sun's explosive behavior.

Keywords: Solar Active Regions, Solar Atmosphere, Magnetic Field, Plasma.

* svargasd@unal.edu.co

1. Introducción

Después de pasar por un prolongado mínimo solar, los esfuerzos se centraron en poder disponer de instrumentos avanzados dedicados principalmente al estudio de regiones solares activas y los fenómenos explosivos asociados a ellas: fulguraciones, eyecciones de masa coronal, etc. Los desarrollos en la última década han puesto los esfuerzos en desarrollar telescopios cada vez mas potentes y observar en diferentes longitudes del espectro electromagético. La combinación de diversos instrumentos ha hecho posible el estudio completo de la atmósfera solar a través de sus diferentes alturas, y de esta manera se esta comenzando a conectar la fenomenología en distintas capas, es decir poder estudiar la evolución de eventos en el Sol a diferentes alturas sobre su superficie.

2. Telescopios en tierra

La física solar instrumental hecha desde observatorios en tierra sigue estando a la vanguardia en cuanto a niveles de resolución espacial y temporal. La calidad de las imágenes, perturba por la turbulencia atmosférica, ha visto en las técnicas de óptica adaptativa, la mejor forma de obtener datos que lleguen al límite de resolución de los telescopios. El tamaño de los telescopios solares, al igual que los dedicados a astronomía nocturna, ha ido incrementándose paulatinamente.

2.1. *Solar Swedish Telescope*

En el año 2002 comenzó la era de la generación de telescopios solares de un metro de apertura. El Telescopio Solar Sueco (SST por sus siglas en inglés) implementó un helióstato con una lente de 1 metro de diámetro. Esto permitió, junto con un avanzado sistema de óptica adaptativa, obtener las mejores imágenes del Sol hasta esos momentos y un gran número de descubrimientos en cuanto a la estructura a pequeña escala de la atmósfera solar.

2.2. *New Solar Telescope*

A comienzos de 2009 comenzaría a operar el que es actualmente el mayor telescopio óptico dedicado a la investigación en física solar, el New Solar Telescope del Big Bear Solar Observatory. EL NST [2] con sus 1.6 m de apertura y ubicado en las montañas del sur de California, proporciona capacidades de alta resolución para estudiar en detalle la actividad del Sol en escalas espaciales pequeñas. La Figura 1 muestra una serie de observaciones simultáneas con diferentes instrumentos, que detallan la fotosfera y la cromósfera solar. El sistema de óptica adaptativa, AO308, y la técnica de reconstrucción *speckle* [5] proporcionan imágenes limitadas por difracción, y con la cadencia temporal de 15 segundos se puede estudiar la evolución de diversas regiones solares.

En Figura 1, y gracias al instrumento *Visible Imaging Spectrometer* (VIS) que hace un barrido de la línea de $H\alpha$, se revela la compleja dinámica alrededor y en el interior de una mancha solar con un puente de luz. Las observaciones espectroscópicas muestran erupciones cromosféricas cuyo origen puede estar relacionado con las conocidas bombas de Ellerman [3, y las referencias allí incluidas].

2.3. *GREGOR*

Recientemente en el Observatorio de Izaña, en las Islas Canarias, se actualizó el telescopio GREGOR, que ahora cuenta con un espejo principal de 1.5 metros de diámetro y que fué inaugurado en Mayo de 2012. Su objetivo principal es observar la fotosfera y cromósfera solar en longitudes de onda del visible e infrarrojo. Los planes a corto plazo incluyen la implementación de un sistema de óptica adaptativa multi-conjugada.

3. Misiones espaciales

El nuevo milenio vió el surgimiento de una serie de programas desarrollados por las principales agencias espaciales para estudiar el Sol desde avanzados telescopios lanzados al espacio, siguiendo los pasos del exitoso satélite SOHO

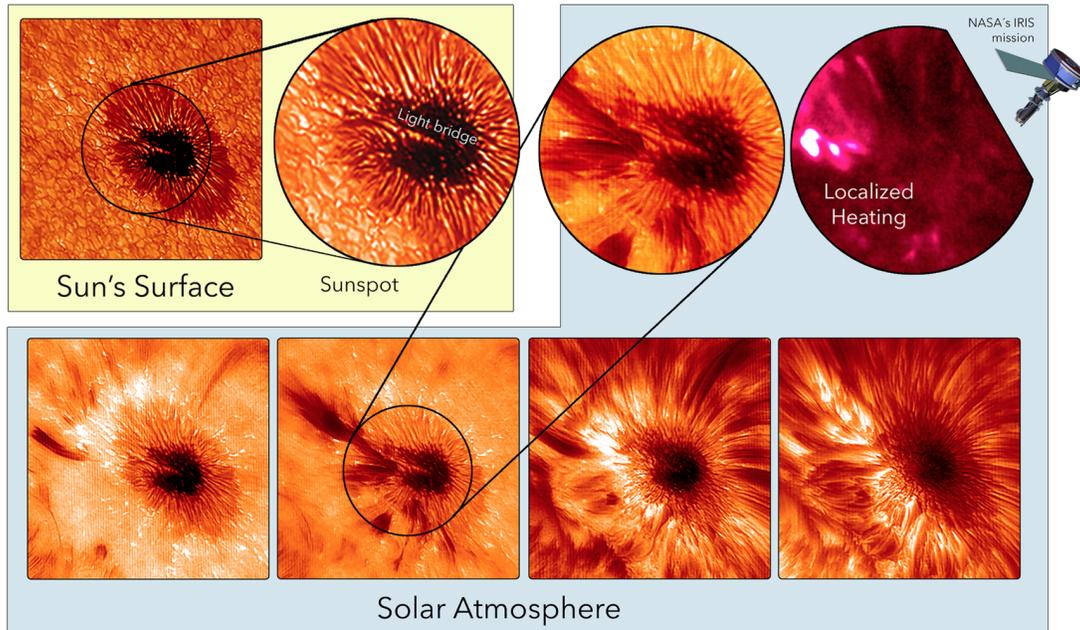


Fig. 1. Composición de imágenes de una mancha solar en la región activa NOAA AR 11850 observada el 29 de Septiembre de 2013 por el NST (color naranja) y el telescopio espacial IRIS (color violeta), cubriendo varias capas de la atmósfera solar.

que durante casi veinte años continuos ha está observando a nuestra estrella.

3.1. *RHESSI*

El *Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager* (RHESSI) tiene como objetivo principal explorar la física básica de la aceleración de partículas y la liberación de energía en las fulguraciones solares. Se estima que la mayor cantidad de energía durante un evento de fulguración se usa para acelerar, a altas energías, los electrones que emiten principalmente en rayos X, los protones y otros iones que emiten en mayor medida en rayos gamma.

3.2. *Hinode*

La segunda generación de misiones solares lideradas por Japón, después del telescopio Solar-A (Yohkoh), tuvo su primera luz en octubre de 2006. El Solar-C (llamado Hinode) cuenta con tres instrumentos especializados. El telescopio óptico solar que alcanza una resolución angular de 0.2 arcosegundos en un campo de 400×400 arcosegundos. El telescopio de rayos X diseñado para estudiar los componentes mas calientes de la corona solar, de 0.5 a 10 millones de Kelvin con una resolución angular de 1 arcosegundo por pixel. El espectrómetro de imagen en el extremo ultravioleta que resuelve espacialmente el espectro en longitudes de onda: 17.0 a 21.2 y de 24.6 a 29.2 nm, con 2 arcosegundos de resolución. El rango de temperatura que puede investigar abarca de 50000 a 20 millones de Kelvin.

3.3. *Solar Dynamics Observatory*

La primera misión dentro del programa *Living with a Star* de la NASA lanzó un avanzado telescopio solar que vió su primera luz en el 2010. Después de cinco años de observaciones solares, los objetivos de este programa que busca desarrollar el entendimiento científico necesario para responder a importantes aspectos sobre las conexiones Sol-Tierra y como afectan la vida y la sociedad, siguen cumpliéndose en gran medida. Tres instrumentos han sido desarrollados para poder alcanzar los objetivos de la misión. El *Helioseismic and Magnetic Imager* produce datos para determinar

los mecanismos fuentes de la variabilidad solar y los procesos físicos relacionados con el campo magnético en la superficie del Sol y su actividad. El *Extreme Ultraviolet Variability Experiment* se encarga de medir la irradiancia en el extremo ultravioleta con la mejor resolución espectral de un instrumento de este tipo. El *Atmospheric Imaging Assembly* proporciona observaciones del disco completo en líneas cromosféricas y coronales en siete canales dentro del extremo ultravioleta, cubriendo un rango de temperaturas que va de los 20000 a los 20 millones Kelvin, con una cadencia de 12 segundos y un campo de visión de 4096×4096 píxeles y tamaño de pixel de 0.6 arcosegundos.

3.4. STEREO

El *Solar Terrestrial Relations Observatory* (STEREO) es una pareja de naves idénticas lanzadas en el 2006 y que orbitan alrededor del Sol, permitiendo una visión estereoscópica de la estrella y de los fenómenos solares como las eyecciones coronales de masa. Esta misión ha permitido estudiar la configuración de las eyecciones solares para poder confirmar y mejorar los modelos de evolución de estos fenómenos solares que inundan el medio interplanetario. Otro de los objetivos se centra en estudiar las características del plasma, de los protones, partículas alfa y los iones pesados.

3.5. IRIS

El *Interface Region Imaging Spectrograph* (IRIS) es un satélite de observación solar de la NASA, y una de las misiones más recientes y con un importante número de objetivos centrados en el calentamiento de la atmósfera solar, principalmente en la región de transición. Con su primera luz en julio de 2013, IRIS ha revelado una multitud de estructuras delgadas filamentosas que no habían sido observadas antes, descubriendo grandes contrastes en la densidad y temperatura en esta región, principalmente en las zonas cercanas a lazos magnéticos. Los estudios que se llevan a cabo actualmente incluyen el análisis de chorros de plasma de alta velocidad [4], nano-fulguraciones y mini-tornados en la atmósfera solar. El entendimiento de estas estructuras representa un paso importante para descifrar la transferencia de calor a la corona solar.

4. Discusión

Las observaciones simultáneas de telescopios en tierra y espaciales nos permiten investigar la relación entre las diferentes capas de la atmósfera solar desde la superficie fotosférica hasta a la corona (Figura 1). Uno de los campos de mayor interés dentro de las investigaciones en física solar involucra a las nuevas regiones de flujo magnético, en donde el transporte de campo magnético en la superficie solar genera una amplia variedad de estructuras en un amplio rango de escalas espaciales y temporales [6]. Una nueva generación de telescopios solares se está desarrollando y se espera que para finales de esta década tengamos su primera luz. Se destaca el telescopio Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) que se encuentra en construcción bajo la dirección del National Solar Observatory en la cumbre del volcán Haleakala en la isla de Maui en Hawaii. El DKIST contará con un espejo de 4 metros de diámetro. En cuanto a las misiones espaciales, el Solar Orbiter de la Agencia Espacial Europea será lanzado al espacio en el 2017 y llegará hasta una distancia de 0.28 unidades astronómicas para poder estudiar in-situ algunas de las propiedades más importantes del plasma solar. Por otro lado el Solar Probe Plus de NASA estudiará la parte externa de la corona solar a 8.5 radios solares.

References

- [1] Archontis, V., Moreno-Insertis, F., Galsgaard, K., & Hood, A. W.: 2005, *Astrophysical Journal*, **635**, 1299
- [2] Goode, P. R., Coulter, R., Gorceix, N., Yurchyshyn, V., & Cao, W.: 2010, *Astronomische Nachrichten*, **331**, 620
- [3] Nelson, C. J.; Shelyag, S.; Mathioudakis, M.; Doyle, J. G.; Madjarska, M. S.; Uitenbroek, H.; Erdélyi, R. *Astrophysical Journal*, **779**, 125
- [4] Vargas Domínguez S., Kosovichev, A. G., and Yurchyshyn, V.: 2014, *Astrophysical Journal*, **794**, 140
- [5] Wöger, F., & van der Lüche, O.: 2007, *Applied Optics*, **46**, 8015
- [6] Zwaan, C.: 1985, *Solar Physics*, **100**, 397