

# Emergencia de flujo magnético a pequeña escala asociado a la generación de chorros de plasma y eventos explosivos en la atmósfera solar

Small-scale magnetic flux emergence associated to the generation of plasma jets and explosive events in the solar atmosphere

Santiago Vargas Domínguez <sup>a</sup> <sup>\*</sup>, Alexander Kosovichev <sup>b</sup>,

<sup>a</sup>Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

<sup>b</sup>Big Bear Solar Observatory, California, Estados Unidos

Aceptado Diciembre 2014; Publicado en línea Marzo 2015.

ISSN 2256-3830.

## Resumen

El New Solar Telescope (NST) de 1.6 metros de apertura es actualmente la mayor facilidad óptica dentro del campo de la física solar para observar la estructura de la superficie y atmósfera solar en gran detalle. Las actividades explosiva y magnética a pequeñas escalas representan bloques fundamentales para la estructura y actividad a gran escala. Este trabajo combina observaciones simultáneas de NST, y los telescopios espaciales. En la región observada, se detectó la emergencia de un tubo horizontal de flujo magnético. Se analizan los efectos de la interacción del campo magnético emergente con el plasma fotosférico y con el campo magnético ambiente. Los resultados de este trabajo muestran los efectos de la reconexión magnética en la aceleración del plasma, y evidencian la importancia de la emergencia de flujo magnético a pequeña escala en el calentamiento localizado de la corona solar.

**Palabras Claves:** Regiones solares activas, atmósfera solar, campo magnético, plasma.

## Abstract

The 1.6-m aperture New Solar Telescope (NST) is currently the largest optical facility for solar physics research to observe the structure of the solar surface and atmosphere with great detail. Magnetic and explosive activity at small scales represent building blocks for the structure and activity at large scales. This work combines simultaneous observations with NST and space satellites. In the observed region we detected the emergence of a horizontal magnetic flux tube. We analyze the effects arising from the interaction of the emerging field with the photospheric plasma and the ambient fields. The results highlight the effects of magnetic reconnection on the plasma acceleration, and evidence the importance of small-scale magnetic flux emergence in the localized heating of the solar corona.

**Keywords:** Solar active regions, solar atmosphere, magnetic field, plasma.

---

\* svargasd@unal.edu.co

## 1. Introducción

El New Solar Telescope [2, NST], con sus 1.6 m de apertura y que opera en el Big Bear Solar Observatory en California, proporciona capacidades de alta resolución para estudiar en detalle la actividad del Sol en escalas espaciales pequeñas. La Figura 1 (*panel izquierdo*) muestra un esquema del telescopio y la configuración de sus instrumentos. El sistema de óptica adaptativa, AO308, y la técnica de reconstrucción *speckle* [7] proporcionan imágenes limitadas por difracción (por ejemplo, ver la zona de sol en calma en en la Figura 1).

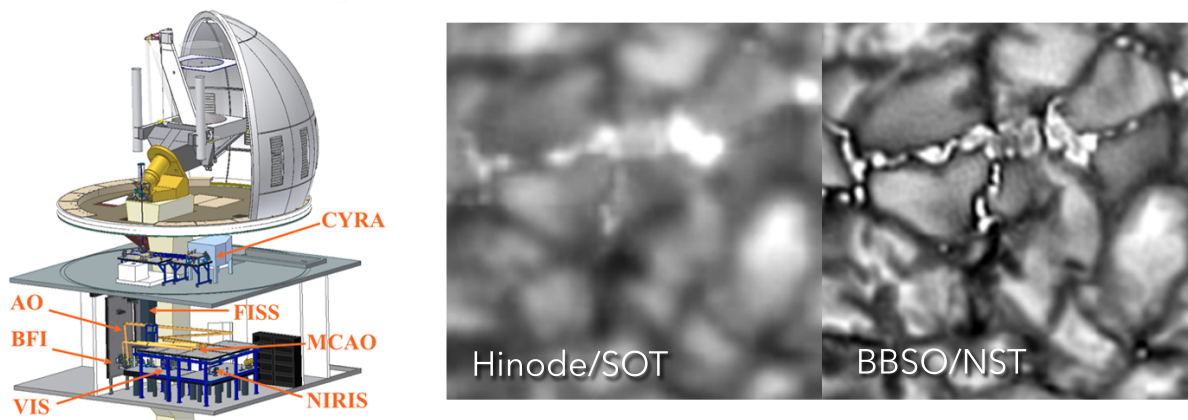


Fig. 1. *Izquierda*: New Solar Telescope del Big Bear Solar Observatory y su instrumentación: Sistema de Óptica Adaptativa (AO), Visible Imaging Spectrometer (VIS), Near InfraRed Imaging Spectro-polarimeters (IRIS, NIRIS), Cryogenic Infrared Spectrograph (CYRA), Broad-band Filter Imager (BFI), Fast Imaging Solar Spectrograph (FISS). *Derecha*: Comparación de imágenes simultáneas de una zona de granulación solar observadas con el telescopio espacial Hinode (Banda G) y del NST (TiO) el 3 de Agosto de 2010.

Observaciones simultáneas con telescopios satelitales, como el IRIS, SDO y Hinode, nos permiten investigar la relación entre las diferentes capas de la atmósfera solar desde la superficie fotosférica hasta a la corona. Nuevas regiones de flujo magnético (EFR) son el objeto de múltiples investigaciones desde la observación y desde el punto de vista de los avances teóricos, ya que el transporte de campo magnético en la superficie solar genera una amplia variedad de estructuras en muchas escalas espaciales y temporales [8]. Se cree que la reconexión magnética puede desempeñar un papel importante en la respuesta de la cromosfera solar al flujo magnético emergente. Algunos estudios sugieren que la interacción entre los campos emergentes y ambientales podría inyectar masa y energía a la atmósfera solar [1,3]. En este trabajo se presenta un análisis en múltiples longitudes de onda de observaciones, adquiridas con el NST, el Interface Imaging Spectrograph (IRIS), el Solar Dynamics Observatory (SDO) y la misión Hinode, de un evento de emergencia de flujo transitorio ocurrido el 7 de agosto de 2013, lo que resulta en la generación de un chorro de plasma y el calentamiento coronal de regiones confinadas en alturas coronales en la atmósfera solar.

## 2. Observaciones y Análisis de Datos

El NST observó una zona en la vecindad de la región activa NOAA AR 11810 el 17 de Agosto de 2013 desde las 17:00 UT a las 19:00 UT [6]. Se obtuvieron imágenes en la línea fotosférica TiO 7057Å (ancho de banda de 10Å) y tamaño de pixel de 0.034 arco segundos; y en la línea de HeI 10830Å (ancho de banda de 0.5Å) con una cadencia temporal de 15 segundos. Se utilizaron también para el análisis observaciones simultáneas utilizando los telescopios espaciales IRIS (en la región de transición en la línea CII de 1330Å), SDO (canales del AIA y datos del HMI) y Hinode (imágenes en la línea de CaII H).

Los datos adquiridos por los diversos instrumentos y canales de observación se usaron para estudiar la respuesta de la atmósfera solar (cromosfera y corona) a la emergencia de una cuerda de flujo magnético (*flux rope*). La Figura 2 destaca una región del campo de visión (FOV) en diferentes capas de la atmósfera solar, en donde se destaca una porción de la región activa NOAA AR 11810 en donde ocurre la emergencia del campo magnético a pequeña escala. El evento más destacado asociado a la evolución de la región investigada es la detección de una eyección, o chorro de

plasma, detectado en líneas cromosféricas, cuyo punto de origen se localiza en una zona con una notoria evolución del plasma fotosférico.

La secuencia de imágenes de TiO en la Figura 2 revela el crecimiento irregular de gránulos convectivos que alcanzan tamaños de hasta cinco veces el valor medio, al igual que una intensa actividad de estructuras brillantes de pequeña escala en la región integranular. La configuración de los gránulos revela la emergencia de una cuerda horizontal de flujo magnético, de acuerdo a la comparación con simulaciones numéricas [5]. Instantes posteriores a la evidencia de la deformación de gránulos debido a la interacción del plasma convectivo con el campo magnético emergente, se detecta el evento de chorro de plasma en las capas mas altas (cromosfera y región de transición). Se propone la existencia de interacción a nivel cormosférico del campo magnético emergente y del ambiente externo en alturas cromosféricas. Las imágenes en la línea de HeI son usadas para inferir la dirección del campo magnético ambiente.

Sumado a la aparición de el chorro de plasma, se generan abrillantamientos, es decir, emisiones intensas en puntos localizados que son detectadas en las capas altas de la cromosfera y en la corona solar. Para ello se usan imágenes del satélite IRIS y del instrumento AIA del SDO, en líneas de región de transición y coronales en UV.

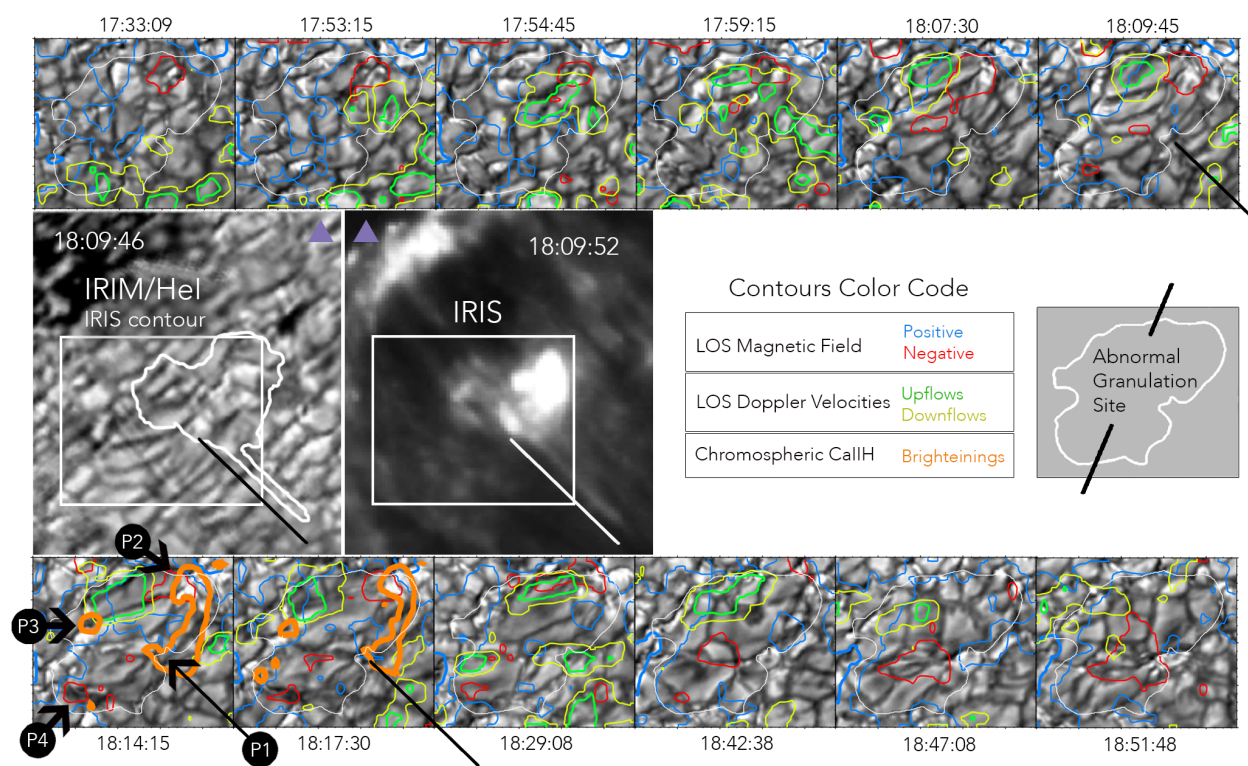


Fig. 2. Secuencia de imágenes seleccionadas de NST (TiO y HeI) y IRIS mostrando la evolución de una región en donde se detectan deformaciones en el patrón de granulación (zona AG, *Abnormal Granulation Site*). Los contornos de colores se extraen de los datos de SDO/HMI y representan el campo magnético en la línea de visión (*LOS-Magnetic Field*,  $\pm 40$  G) y velocidades Doppler (*LOS-Doppler Velocities*,  $\pm 160$  m s<sup>-1</sup>) de acuerdo al código de color mostrado. Los contornos blancos en la secuencia de imágenes de TiO representan la zona AG. La imagen de IRIM/HeI muestra el mismo instante de tiempo en donde se detecta la eyeción del chorro de plasma en la imagen de IRIS 1330Å, con los respectivos contornos superpuestos para la identificación de la eyeción. Los puntos de interés P2, P3 y P4 muestran sitios en donde, de acuerdo al análisis de evolución en imágenes de SDO/HMI se ubican los los pies de las líneas de campo magnético (*footpoints*). P1 destaca la zona en donde se detecta el origen de la eyeción. El eje del tubo de flujo emerge por una línea sólida inclinada en el recuadro derecho (*Abnormal Granulation Site*). Los contornos en color anaranjado resaltan la intensidad detectada en la línea cormosférica de Call H. Las etiquetas que denotan el tiempo están en tiempo universal (UT).

### 3. Conclusiones

Mediante el análisis de datos observacionales de telescopios en tierra y en el espacio, que cubren una amplia región de emisiones desde líneas fotosféricas a coronales, se hace un seguimiento de la evolución de una región solar con presencia de poros. Los resultados evidencian y dan información sobre el proceso de emergencia de flujo magnético a pequeña escala en la atmósfera solar. Se detecta la deformación de las celdas convectivas debido a la interacción del plasma ascendente que cruza el límite fotosférico, en concordancia con simulaciones teóricas MHD, y su posterior evolución hasta llegar a alturas mayores en la atmósfera solar. La posibilidad que se plantea apoya un escenario de reconexión magnética como el planteado en [4], que explicaría la generación del chorro de plasma y el calentamiento de zonas confinadas hasta valores del orden de un millón de grados en la corona.

Una vez generado el chorro de plasma que sale eyectado, una fracción de este cae a lo largo de las líneas de campo generadas después del proceso de reconexión y pueden ser responsables de las emisiones que tienen aspecto de micro-fulguraciones. Se sugiere que la inclinación de la cuerda de flujo magnético emergente desde el interior solar, respecto a la configuración del campo magnético ambiente, juega un papel importante para la generación de ambos, el chorro de plasma y el calentamiento confinado en puntos coronales.

### 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] Isobe, H., Proctor, M. R. E., & Weiss, N. O.: 2008, *Astrophysical Journal Letters*, **679**, 57
- [4] Shibata et al.: 2007, *Science* **318**, 1591
- [5] Tortosa-Andreu, A. & Moreno-Insertis, F. 2009, *A&A* **507**, 949
- [6] Vargas Domínguez S., Kosovichev, A. G., and Yurchyshyn, V.: 2014, *Astrophysical Journal*, **794**, 140
- [7] Wöger, F., & van der Lüche, O.: 2007, *Applied Optics*, **46**, 8015
- [8] Zwaan, C.: 1985, *Solar Physics*, **100**, 397