

## Dinámica de puntos brillantes en la fotosfera solar

José Iván Campos Rozo <sup>a\*</sup>, Santiago Vargas Domínguez <sup>a\*\*</sup> Dominik Utz <sup>b</sup>

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

<sup>b</sup>Karl Franzens University of Graz, Graz, Austria

Aceptado Diciembre de 2014; Publicado en línea Marzo 2015.

ISSN 2256-3830.

### Resumen

Las observaciones de la superficie solar en luz blanca evidencian la presencia de una amplia variedad de estructuras en diferentes escalas espacio-temporales tales como las manchas solares o los puntos magnéticos brillantes. Estos últimos serán el principal tema de estudio que se aborda en el presente trabajo en donde se muestra el desarrollo de un algoritmo de segmentación y detección de puntos magnéticos brillantes (PMB) en la superficie solar implementado en Python. El programa de segmentación se encarga de encontrar zonas oscuras intergranulares donde se pueden detectar estos puntos. Igualmente se realiza un análisis estadístico de diferentes cantidades físicas de los PMB. El estudio de PMB ha mostrado ser crucial para el entendimiento de la actividad magnética solar, especialmente a pequeñas escalas espaciales. Se cree que la contribución de estos elementos magnéticos es determinante para la evolución a gran escala de la actividad solar, principalmente en épocas en que el Sol está experimentando mínimos de actividad, es decir menor número de manchas solares y eventos asociados como fulguraciones.

**Palabras Claves:** Programación, Física Solar, Campo Magnético.

### Abstract

Solar observations in white light evidence the presence of a wide variety of structures at different spatial and temporal scales, such as sunspots and magnetic bright points (MBPs). In this work with focus on the analysis of the MBPs by developing a segmentation algorithm implemented in Python, to detect these bright features. Moreover, we developed a statistical analysis of different physical properties of MBPs. The study of MBPs has shown to be a key ingredient to determine the large-scale evolution of solar activity, specially during moments of lower activity, i.e. with less number of sunspots and events associated to solar flares.

**Keywords:** Programming, Solar Physics, Magnetic Field

\* jicamposr@unal.edu.co

\*\*svargasd@unal.edu.co

## 1. Introducción

La dinámica de la atmósfera solar está dominada por campos magnéticos que tienen varios ordenes de magnitud, tanto en su intensidad como en tamaño [2]. Las diferentes escalas comprenden desde las extensas estructuras como las manchas solares, con campos del orden de los kG (kilogauss), pasando por pequeñas zonas activas "poros", hasta los más pequeños elementos que sean detectables, tales como estructuras aisladas de tubos de flujo magnético. Con las nuevas instalaciones e instrumentación para observación solar: Hinode, NST (New Solar Telescope), Sunrise; y los métodos altamente sofisticados como las inversiones de datos de espectropolarimetría, se está mejorando la detección y estudio de campos magnéticos más débiles en la atmósfera solar. Estos avances, tanto instrumentales como computacionales, han provocado en los últimos años un cambio drástico en el entendimiento de los campos magnéticos en el Sol en calma. El Sol en calma no incluye las zonas activas (del orden de kG), sino que está comprendido por la *network* y la *intranetwork*. En el contexto solar la *network* es referida a la zona inter-supergranular y sus fronteras, mientras que la *intranetwork* es referida a los campos magnéticos en el interior de los supergranulos. En estas zonas intergranulares se pueden encontrar tubos de flujo magnético verticales de una fuerte intensidad (con valores que pueden alcanzar varios cientos de Gauss). Los campos magnéticos débiles pueden ser observados en datos de espectropolarimetría o en filtergramas sensitivos a ellos, como la banda G. En dichos filtergramas las concentraciones de campo magnéticas son identificadas y llamadas puntos magnéticos brillantes (MBPs por sus siglas en inglés). La banda G (centrada en 430.5Å) es la banda espectroscópica más usada en dichas investigaciones ya que ésta da un mejor contraste entre los MBPs y los alrededores de la granulación en comparación a las imágenes en el continuo. Esto da por tanto un mayor realce en el brillo de los MBPs en la banda G comparada con el continuo.

### 1.1. Puntos Brillantes

Los puntos magnéticos brillantes son pequeñas estructuras magnéticas ( $\leq 200$  km), que son notablemente brillantes cuando las observamos con el filtro pasa-banda de la banda G. Estas son concentraciones de flujo magnético en estructuras similares a tubos de flujo en la fotosfera, que son notablemente visibles en diagramas de filtro de la banda G de alta resolución [1]. Se muestra que el contraste aumentado en la banda G es debido a la reducción de abundancia de líneas CH por disociación en capas más profundas de la fotosfera del tubo de flujo magnético, donde éste es mas caliente que en la atmósfera envolvente; como consecuencia, las líneas de CH se debilitan, permitiendo más el "brillo" del continuo a través de las líneas CH de la banda G. La razón física para que estos elementos magnéticos tengan un mayor contraste en la banda G todavía es enigmático, aunque ya se han ofrecido varias explicaciones. El realce del brillo de *plages* y redes magnéticas, es pensado como una componente importante de la variabilidad de la irradiancia solar, como su fracción de cobertura sobre el disco solar cambia con el ciclo solar. Las propiedades radiativas de los elementos magnéticos, o su contraparte, los puntos brillantes de la banda G, son por lo tanto de gran interés.

### 1.2. Implicaciones en física solar

Uno de los temas abiertos en astrofísica solar es el calentamiento repentino de la corona solar, ya que viene de la zona de transición de unos 100000 K y se incrementa abruptamente a 2 millones de Kelvin sin que las explicaciones sean del todo claras. Se han formulado varias explicaciones y una de ellas lo relaciona con las espículas, pequeñas estructuras que transportan masa desde la cromósfera hacia capas mas altas, pero el mecanismo físico de formación de las espículas tampoco es muy claro. Uno de los mecanismos propuestos para la creación de espículas que se propone es la reconexión de líneas de campo de estructuras magnéticas de pequeña escala (MBPs) lo cual generaría la energía suficiente para la formación de dichos jets. Por lo tanto, se ha incrementado el interés en el estudio de estas estructuras.

## 2. Análisis de Datos

Los datos fueron obtenidos del Data ARchives and Transmission System (DARTS) donde se pueden conseguir imágenes del satélite Hinode. Los datos son del 20 de Enero de 2007 y fueron tomados entre 6:54 UT y 7:58 UT,

lo que da un margen de 1 hora y 4 minutos de evolución del Sol en calma. Los filtergramas en banda G tienen una cadencia temporal de las imágenes de 30 segundos. El campo de visión (FOV) de las imágenes es de  $400 \text{ píxeles} \times 1024 \text{ píxeles}$  ( $21.6 \text{ arco segundos} \times 55.3 \text{ arco segundos}$ ), respectivamente. Las coordenadas solares del centro del FOV son  $x=-11.58 \text{ arco segundos}$ ,  $y=-0.15 \text{ arco segundos}$ . También se cuenta con un conjunto de datos del SP con FOV de  $25 \times 512 \text{ píxeles}$  correspondientes a  $3.7 \times 81.9 \text{ arco segundos}$ . Con estos grupos de datos obtenemos siete grupos diferentes de datos llamados: imágenes con el filtro de banda G, magnetogramas (datos de campo magnético por inversión de los datos del SP), inversiones del SP en luz blanca, datos del ángulo azimutal del campo magnético, inclinación del campo magnético y las velocidades en la línea de la visual (LOS por sus siglas en inglés) de la inversión del SP.

El código de alineamiento implementado en Python [3] se basa en el análisis de imágenes consecutivas en una serie temporal. A partir de la medida de correlación en intensidad pixel a pixel calculada en un área que enmarca el campo se establece el desplazamiento entre un par de imágenes. Las comparaciones se hacen entre la primera y segunda imagen, la segunda y la tercera, y así sucesivamente hasta completar el número total de imágenes de la serie. En cada uno de estos pasos se van acumulando los desplazamientos y se aplican para corregir cada imagen y finalizar con una serie temporal alineada.

### 2.1. Segmentación

Aplicamos un algoritmo de segmentación de imágenes que nos ayuda a identificar los puntos magnéticos brillantes. El programa de segmentación se encarga de normalizar entre en el intervalo  $[0,250]$  la imagen, básicamente encuentra los bordes de los gránulos en la fotosfera y coloca números impares en estos bordes y su número par consecutivo, es decir, por ejemplo 1 y 2 pertenecen al mismo segmento, tal que los bordes están representados por unos y el interior por el número dos en ese segmento. Con este método se puede delimitar donde empieza y donde termina un gránulo y determinar si en los espacios intergranulares se han detectado o no puntos magnéticos brillantes. Cuando ejecutamos el programa de segmentación obtenemos dos conjuntos de datos, uno con arreglos de igual tamaño a los datos originales y otro de coordenadas que corresponden al primer pixel encontrado en la segmentación. Como trabajamos con imágenes de intensidad, estas coordenadas representan el pixel más brillante de la segmentación. Uno puede conocer las intensidades máximas de las segmentaciones graficando una máscara de la segmentación y las coordenadas sobre la figura. También podemos superponer la máscara sobre las imágenes de intensidad de la banda G y así obtener las divisiones de los gránulos. La Figura 1 muestra las diferentes imágenes generadas.

### 3. Conclusiones

El programa de identificación logra detectar la mayoría de los puntos magnéticos brillantes en la imagen de la banda G. En las imágenes de intensidad de la banda G podemos ver que los puntos magnéticos brillantes tienen un brillo igual o de un 90% al del brillo medio del entorno del Sol en calma. Esto quiere decir que tienen una intensidad considerable y pueden hacer un realce en el brillo al estar en las zonas intergranulares, que son bastante oscuras en comparación con su entorno. Hacer un seguimiento de estas estructuras también es significativamente complicado debido a que muchos de los puntos magnéticos brillantes no necesariamente avanzan a través del espacio y su evolución puede ser simplemente en un cambio morfológico. También en la fenomenología de estas estructuras sabemos que emergen y desaparecen rápidamente, y la resolución temporal de la instrumentación actual no es tan alta para hacer un cubrimiento total de su tiempo de vida. Otra posible limitación es que cuando se está intentando hacer un seguimiento a un punto brillante, este puede dividirse multiplicarse, cambiar de forma, mezclarse e interactuar con otro de forma que llevar a cabo un seguimiento continuo y adecuado en estos casos puede.

### References

- [1] O. Steiner, P. H. Hauschildt, and J. Bruls. Radiative properties of magnetic elements. Why are G-band bright points bright? *Astronomy and Astrophysics*.
- [2] C. Zwaan. Elements and patterns in the solar magnetic field. *Annual review of Astronomy and Astrophysics*, 25:83-111, 1987. 1
- [3] <https://www.python.org/>

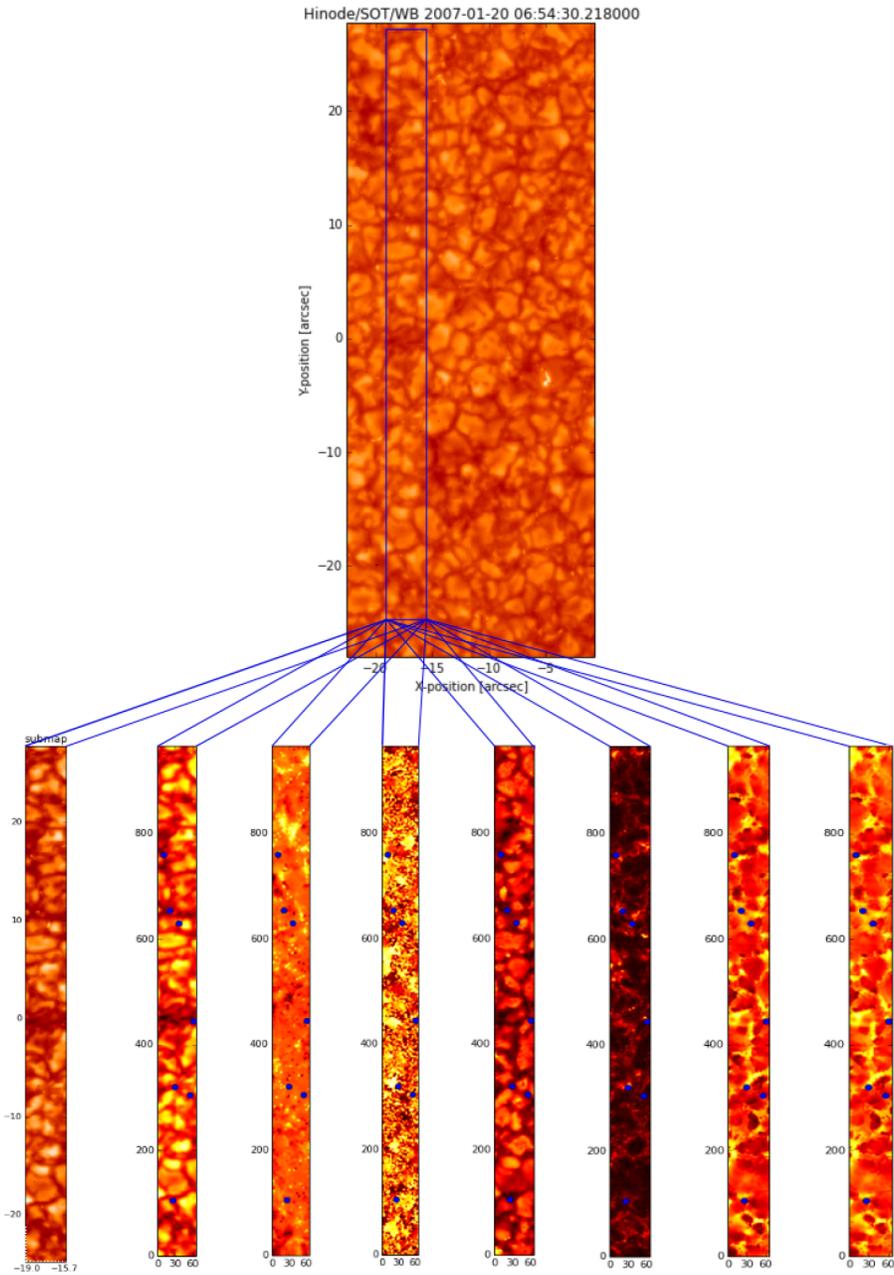


Fig. 1. La imagen superior es el FOV total de nuestros datos nuevamente. De izquierda a derecha: 1) imagen de intensidad en la banda G, 2) la misma imagen anterior pero con las coordenadas de los puntos brillantes representadas por puntos azules, 3) imagen de campos magnéticos salientes, entrantes u horizontales, 4) imagen del ángulo azimutal del campo magnético, 5) inversión en luz blanca, 6) imagen de inversión de campo magnético de la superposición de los datos del SP, 7) y 8) imágenes de la velocidad en la línea de la visual (LOS).