

Campos magnéticos en el Sol en calma

María Jesús Martínez González

Fuera de las manifestaciones más evidentes de actividad magnética en la superficie solar, se encuentra lo que se denomina Sol en calma. Consiste en la red fotosférica (acumulaciones de flujo magnético en las celdas supergranulares) y en la *internetwork*, donde aparentemente no había actividad magnética. En las últimas décadas, la nueva generación de espectropolarímetros ha hecho posible la detección de señales magnéticas en la *internetwork*. Estas señales son todavía muy débiles, haciendo que el análisis de los campos magnéticos en la *internetwork* sea de gran dificultad. Los primeros estudios del magnetismo de la *internetwork* se realizaron en el rango visible, principalmente utilizando el par de líneas de Fe I en 630 nm. Con la aparición de los primeros espectropolarímetros infrarrojos, se abría una ventana nueva para el estudio del magnetismo usando otro par de líneas de Fe I en 1.5 μm . Los resultados obtenidos en los dos distintos rangos espectrales eran contradictorios. El visible media sistemáticamente flujos magnéticos más intensos e intensidades de campo de kG. El infrarrojo medía campos de unas pocas centenas de G. En esta tesis doctoral se propone una solución a estos resultados aparentemente contradictorios que fue controvertida en su momento pero que en la actualidad es aceptada por la mayoría de científicos cercanos al tema.

Los datos que se usan en esta tesis consisten en observaciones espectropolarimétricas de regiones de Sol en calma tomadas en 630 nm y 1.5 μm simultáneamente. El principal objetivo de esta tesis es estudiar la compatibilidad de ambas observaciones. Para evitar que nuestros resultados se vean afectados por el nivel de ruido, desarrollamos un procedimiento basado en un análisis en componentes principales para filtrar el ruido en nuestras observaciones. El método es muy robusto y nos permite rebajar el ruido hasta niveles extremadamente pequeños, obteniendo una relación señal a ruido de 15 y 20 en el visible e infrarrojo, respectivamente.

Contradictoriamente a lo publicado hasta la fecha, la densidad de flujo magnético en el visible y en el infrarrojo es la misma, tanto el valor promedio como la distribución espacial. Además, las polaridades de las señales de polarización circular son las mismas coespacialmente. Por tanto, concluimos que ambos rangos espectrales están trazando las mismas estructuras magnéticas en la superficie solar. Pero las distribuciones de intensidad de campo magnético que recuperamos son muy distintas. Mientras el infrarrojo muestra gran parte de los campos del orden de hG, el visible muestra la mayoría de ellos con valores de kG. Para explicar este hecho, estudiamos la cantidad de información sobre las propiedades físicas de la atmósfera solar contenida en ambos pares de líneas espectrales. Mediante simulaciones numéricas, llegamos a la conclusión de que las líneas en 630 nm sufren de una degeneración entre las propiedades magnéticas y termodinámicas. Más concretamente, somos capaces de recuperar intensidades de campo magnético tan diversas como 0.1 ó 1 kG variando ligeramente las estratificaciones en temperatura y la velocidad microturbulenta. Esto significa que los resultados obtenidos mediante las líneas en 630 nm no son fiables con las presentes condiciones observacionales.

Una vez demostramos que el visible y el infrarrojo son compatibles, nos planteamos un estudio conjunto para determinar las propiedades magnéticas de la *internetwork*. Concluimos que la distribución de intensidades de campo tiene preferencia por los campos de varias centenas de G, ocupando únicamente un 2 % del elemento de resolución. La densidad de flujo magnético promedio en las regiones de *internetwork* es prácticamente nula, es decir, que existe un equilibrio entre ambas polaridades del campo magnético. Si no tenemos en cuenta el signo, la densidad de flujo promedio es de 5 Mx/cm².

Para estudiar la topología de los campos magnéticos de la *internetwork* usamos observaciones en distintas posiciones del disco solar. No existe ninguna tendencia de las propiedades magnéticas de la *internetwork* en las distintas posiciones observadas. Esto nos lleva a concluir que la distribución de campos es isótropa. Analizando estas observaciones nos damos cuenta de que, muy frecuentemente, encontramos señales de polarización lineal entre dos señales de polarización circular con polaridades opuestas. Esto nos lleva a pensar que los campos magnéticos en la *internetwork* pueden consistir en una maraña de pequeños bucles.

El principal resultado de esta tesis doctoral es la explicación a la aparente controversia que frenaba el estudio de las propiedades magnéticas de la *internetwork*. Este trabajo fue publicado en [1] y [2] y ha constituido un punto de inflexión en la manera de interpretar las observaciones espectropolarimétricas. Aunque controvertida al principio, varios autores han seguido la misma línea de trabajo que nosotros hemos planteado. Además, en este trabajo de tesis, presentamos una visión completa del magnetismo de la *internetwork* tal y como se presenta a la resolución espacial actual (1''). Estos resultados han sido recogidos principalmente en [3] y [4]. También mostramos que el magnetismo de la *internetwork* es extremadamente dinámico y complicado, tal y como auspicia la distribución isótropa de campos y las pequeñas estructuras en forma de bucle encontradas ([5] y [6]). De regiones completamente olvidadas en cuanto a magnetismo, cada vez es más claro que la *internetwork* tiene su papel en el magnetismo global del Sol, convirtiéndose en un tema clave para entender grandes enigmas de la física solar como el calentamiento coronal y la generación de los campos magnéticos en el Sol.

Fuera de la física solar, el procedimiento desarrollado en esta tesis para el filtrado del ruido de las observaciones espectropolarimétricas ha sido aplicado con éxito en estrellas en [7].

- [1] Martínez González, M. J., Collados, M., y Ruiz Cobo, B. 2006, A&A, 456, 1159
- [2] López Ariste, A., Martínez González, y M. J., Ramírez Vélez, J. C. 2006, A&A, 464, 351
- [3] Martínez González, M. J., Collados, M., Ruiz Cobo, B., y Beck, C. 2008, A&A, en prensa
- [4] Khomenko, E. V., Martínez González, M. J., Collados, M., Vögler, A., Solanki, S. K., Ruiz Cobo, B., y Beck, C. 2005, A&A, 436, 27
- [5] Martínez González, M. J., Collados, M., Ruiz Cobo, B., y Solanki, S. K. 2007, A&A, 469, 39
- [6] Martínez González, M. J., Asensio Ramos, A., López Ariste, A., y Manso Sainz, R. 2008, A&A, en prensa
- [7] Martínez González, M. J., Asensio Ramos, A., y Carroll, T. A. 2008, A&A, en preparación