



Estudio de Validación Tomográfica del modelo MHD AWSoM

D.G. Lloveras¹, A.M. Vásquez¹, F.A. Nuevo¹, C. Mac Cormack¹, N. Sachdeva²,
W. Manchester IV², B. Van der Holst², & R.A. Frazin²

¹ *Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina*

² *Climate and Space Sciences and Engineering, Universidad de Michigan, EEUU.*

Contacto / dlloveras@iafe.uba.ar

Resumen / Los modelos magnetohidrodinámicos (MHD) tridimensionales (3D), necesarios para modelar y predecir el clima espacial, deben ser validados observacionalmente. A escala global, esto puede ser hecho mediante tomografía de medida de emisión diferencial (DEMT), que provee resultados 3D de densidad y temperatura electrónica en la baja corona ($1.0 - 1.25 R_{\odot}$). Realizamos una validación DEMT de la versión más reciente del Alfvén Wave Solar Model (AWSoM) del Space Weather Modeling Framework (SWMF). Se lleva a cabo un análisis comparativo a lo largo de las líneas de campo de la densidad y temperatura electrónicas del modelo y la tomografía, así como de cantidades energéticas integrales. Para este estudio se seleccionaron dos rotaciones de mínimo solar, una entre los ciclos solares (SC) 23 y 24, y otra entre los SCs 24 y 25. Discutimos las diferencias observadas entre el modelo y los productos tomográficos, y las limitaciones y posibles mejoras futuras para el modelo AWSoM.)

Abstract / Aiming model and forecast the space climate, the tri-dimensional (3D) magnetohydrodynamic (MHD) models are in need of observational validations. This can be done using the differential emission measure technique (DEMT) which provides 3D results of electronic density and temperature in the low corona ($1.0 - 1.25 R_{\odot}$). We performed a DEMT validation of the last version of the Alfvén Wave Solar Model (AWSoM) within the Space Weather Modeling Framework (SWMF). We carried out a comparative analysis along de magnetic field lines using thermodynamic quantities of the model and the tomography results. In this study we selected two rotations othe solar minimum between solar cycle (SC) 23 and 24, and the other one between SCs 24 and 25. We discuss the difference observed between the model and the observations, the limitations and the possible upgrades to the AWSOM model.)

Keywords / Sun: corona — Sun: fundamental parameters — Sun: UV radiation — Sun: abundances

1. Introducción

La observación y el modelado de la Corona solar resulta de gran relevancia para el entendimiento de la relación Sol-Tierra, ya que en la Corona es donde el viento solar es calentado, acelerado y tienen lugar eventos impulsivos como eyecciones de masa coronal, flares, etc. Predecir eventos de clima espacial y sus efectos geomagnéticos requieren modelos 3D precisos de la atmósfera solar basados en la física que se extiende desde la cromósfera, pasando por la corna, hasta la heliosfera. Estos modelos han evolucionado mucho a lo largo de los años, y conforme lo hacen necesitan ser validados mediante nuevas observaciones y mas detalladas comparaciones.

En el presente trabajo nos focalizaremos en el modelo MHD coronal y de viento solar Alfvén Wave Solar atmosphere Model (AWSoM) que forma parte del space weather Modeling framework (SWMF) Tóth et al. (2012). El modelo utiliza calentamiento por ondas de Alfvén para proveer un modelo físico descriptivo 3D auto consistente de calentamiento coronal y aceleración de viento solar Sokolov et al. (2013) van der Holst et al. (2014).

A medida que el modelo adopta nuevas mejoras es necesario contrastar los resultados con observaciones. En una reciente publicación Sachdeva et al. (2019) se llevó a cabo una validación de la última versión del mo-

delo para la rotación de Carrington CR2208 y CR2209 con datos in situ de ACE, Wind, SDO/AIA, Ulysses, SOHO/LASCO, IPS y OMNI. Los datos de AIA fueron procesados con la técnica tomográfica de medida de emisión diferencial local (DEMT) (Frazin et al., 2009) la cual permite obtener una distribución 3D de densidad y temperaturas electronicas dentro del rango $1.0 - 1.25 R_{\odot}$. Llevaron a cabo comparaciones globales calculando la diferencia relativa pixel a pixel $RD = \frac{X_{AWSoM}}{X_{DEMT}} - 1$ a alturas constantes tanto para para N_e como para T_e y se mostró que el modelo es capaz de reproducir las observaciones dentro de un $\sim 20 - 30 \%$.

Debido a que la corona es gobernada por el campo magnético, resulta de particular interés analizar la termodinámica de líneas de campo asociadas a distintas estructuras magnéticas (Streamer, Agujero coronal, etc.). Con esta idea en mente presentamos en este trabajo el primer esfuerzo de validación del modelo AWSoM en la baja corona comparando la termodinámica con un modelo semi empírico (DEMT) en distintas estructuras magnéticas. Para esto se seleccionó la rotación CR2082 correspondiente al mínimo de actividad solar del 2009 y una rotación de la fase de declinacion actual CR2208 (septiembre 2018).

2. Método

El modelo AWSOM utiliza magnetogramas synopticos de ADAPT-GONG (Arge et al., 2010) como condiciones de contorno en la fotosfera y permite obtener una estructura 3D de parámetros físicos (densidad y temperatura electrónica entre otros) entre $1.0R_{\odot}$ y 1 UA . El modelo presenta una region de transición extendida desde la fotosfera hasta $\sim 1.05R_{\odot}$, región que no se tuvo en cuenta en la comparación.

Por otro lado el modelo DENT utiliza como datos una serie temporal de imágenes EUV cubriendo media rotación solar permitiendo reconstruir la emisividad en forma 3D en la baja corona. Combinando la emisividad de todas las bandas del telescopio se obtiene la medida de emisión diferencial local (LDEM). Esta medida es una descripción cualitativa de la distribución térmica del plasma en cada celda de la grilla 3D de dimension $0.01R_{\odot}$ en dirección radial y 2° en latitud y longitud.

En el presente trabajo se utilizaron imágenes obtenidas con STEREO/EUVI-A y SDO/AIA para CR2082 y CR2208 respectivamente. La selección es debido a que ambos períodos presentan baja actividad coronal, mostrando una corona altamente axysimétrica con agujeros coronales en la zona polar y un streamer dominante en las latitudes ecuatoriales. Las imágenes de EUVI estan afectadas de contaminación de luz dispersa que fue removida aplicando a cada imagen una función dispersión del punto aplicada a cada pixel, para una explicación mas detallada sobre el método y el impacto en la reconstrucción tomográfica referirse a Shearer et al. (2012) y Lloveras et al. (2017). Para las imágenes de AIA no existe al momento de la escritura de este artículo una función de dispersión adecuada pero se estima que los telescopios de esta generación se ven menos afectados por esta contaminación.

Para llevar a cabo una comparación termodinámica a lo largo de líneas magnéticas se utilizó el campo dado por el modelo MHD. El modelo usa como condición de contorno el magnetograma y como condición inicial el modelo potencial con superficie fuente (PFSS) obtenido resolviendo la ecuación de Laplace, considerando campo radial en $2.5R_{\odot}$ y luego evolucionandolo en el tiempo (van der Holst et al., 2010). Los resultados termodinámicos de DENT y AWSOM son trazados a lo largo de las líneas de campo dentro de la grilla 3D.

3. Resultados

Como ejemplo de los productos tomográficos y del modelo MHD, mostramos en la Figura 1 cortes a una altura media de densidad y temperatura electrónica para ambos modelos y ambas rotaciones seleccionadas. La línea negra sólida demarca la frontera entre las líneas magnéticas abiertas (zona polar) de las líneas cerradas (zona ecuatorial). En los mapas de DENT las celdas negras representan celdas no reconstruidas por la técnica y fueron excluidas del análisis.

Estos mapas muestran rotaciones altamente axysimétricas con estructuras de N_e y T_e modeladas satisfactoriamente tanto en morfología como orden de magnitud.

N_e y T_e es trazada a lo largo de las líneas magnéticas. Los loops cerrados son separados en dos piernas desde la base hasta el ápice. Para cada línea abierta y cada pierna cerrada $N_e(r)$ fue ajustada a una solución hidrostática isotérmica y una escala de altura λ_n es determinada. Las variaciones de temperatura con la altura son mas suaves y su promedia a lo largo de las líneas fue determinado para obtener un valor característico. Para este trabajo se tomó en consideración como subselección de estructuras magnéticas las regiones de los agujeros coronales (líneas abiertas) y la del streamer ecuatorial (líneas cerradas), una mas detallada selección de estructuras puede encontrarse en Lloveras et al. (2017).

*pearson de temp p-valor * Como ejemplo, la Figura 2 muestra distribución estadística de los resultados DENT y AWSOM para cada subregion seleccionada. Mientras que λ_n es consistente con las observaciones, AWSOM presenta diferencias $< 30\%$ en $\langle T_m \rangle$

*luego los histogramas comparativos de las líneas seleccionadas de 2

4. Discusión y trabajo futuro

Agradecimientos: A Juan roberto Macri

Referencias

- Arge C.N., et al., 2010, *AGU Fall Meeting Abstracts*, vol. 2010, SM51A–1749
- Frazin R.A., Vásquez A.M., Kamalabadi F., 2009, *ApJ*, 701, 547
- Lloveras D.G., et al., 2017, *SoPh*, 292, 153
- Lloveras D.G., et al., 2017, *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina*, 59, 145
- Sachdeva N., et al., 2019, *arXiv e-prints*, arXiv:1910.08110
- Shearer P., et al., 2012, *ApJL*, 749, L8
- Sokolov I.V., et al., 2013, *ApJ*, 764, 23
- Tóth G., et al., 2012, *Journal of Computational Physics*, 231, 870
- van der Holst B., et al., 2010, *ApJ*, 725, 1373
- van der Holst B., et al., 2014, *ApJ*, 782, 81

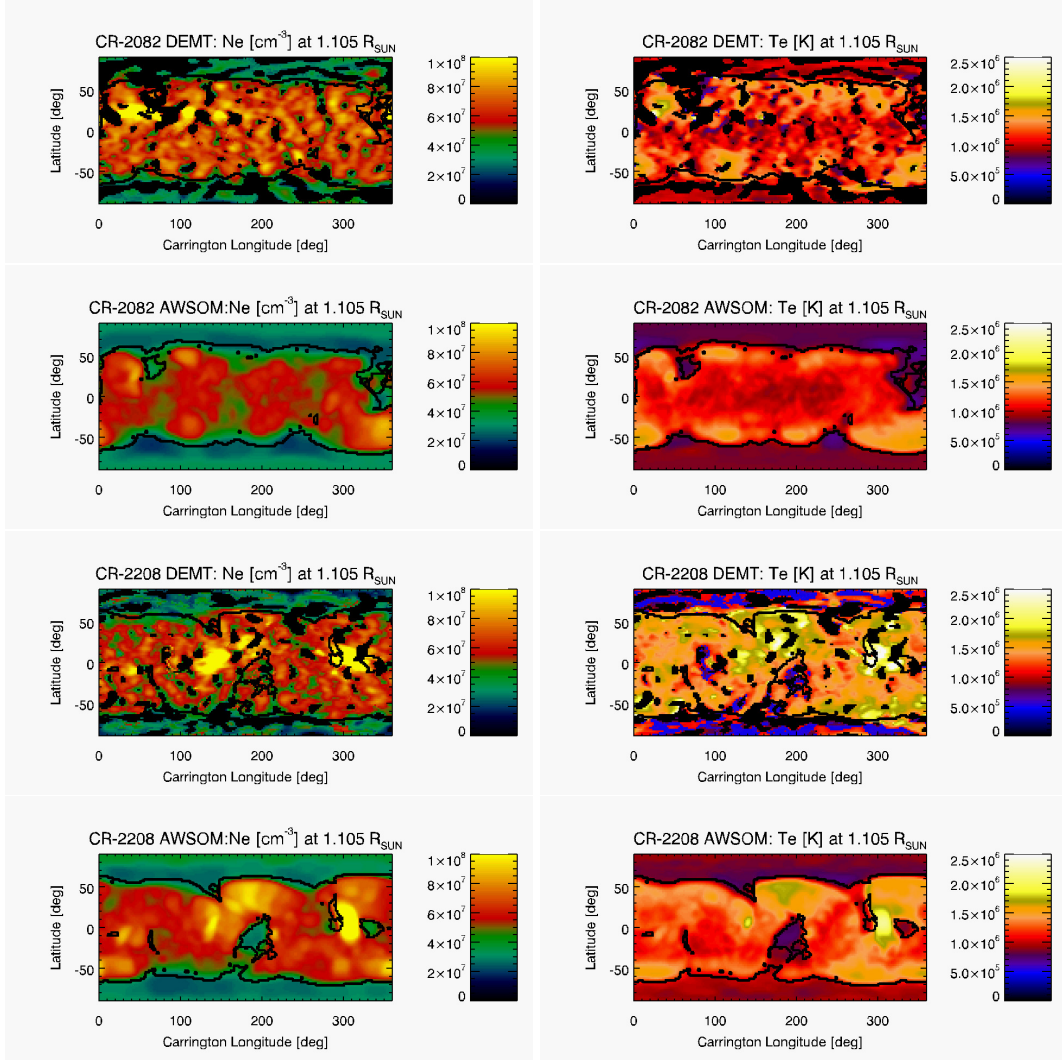


Figura 1: Mapas de Carrington de T_e (derecha) y N_e (izquierda) de CR-2082 y CR-2208 a $1.105 R_{\odot}$ obtenidas con DENT y con AWSOM. Las celdas negras corresponden a regiones no reconstruidas, mientras que la curva negra indica el límite de las region magnéticamente abierta en los polos de la magnéticamete cerrada en el Streamer y es obtenida utilizando AWSOM.

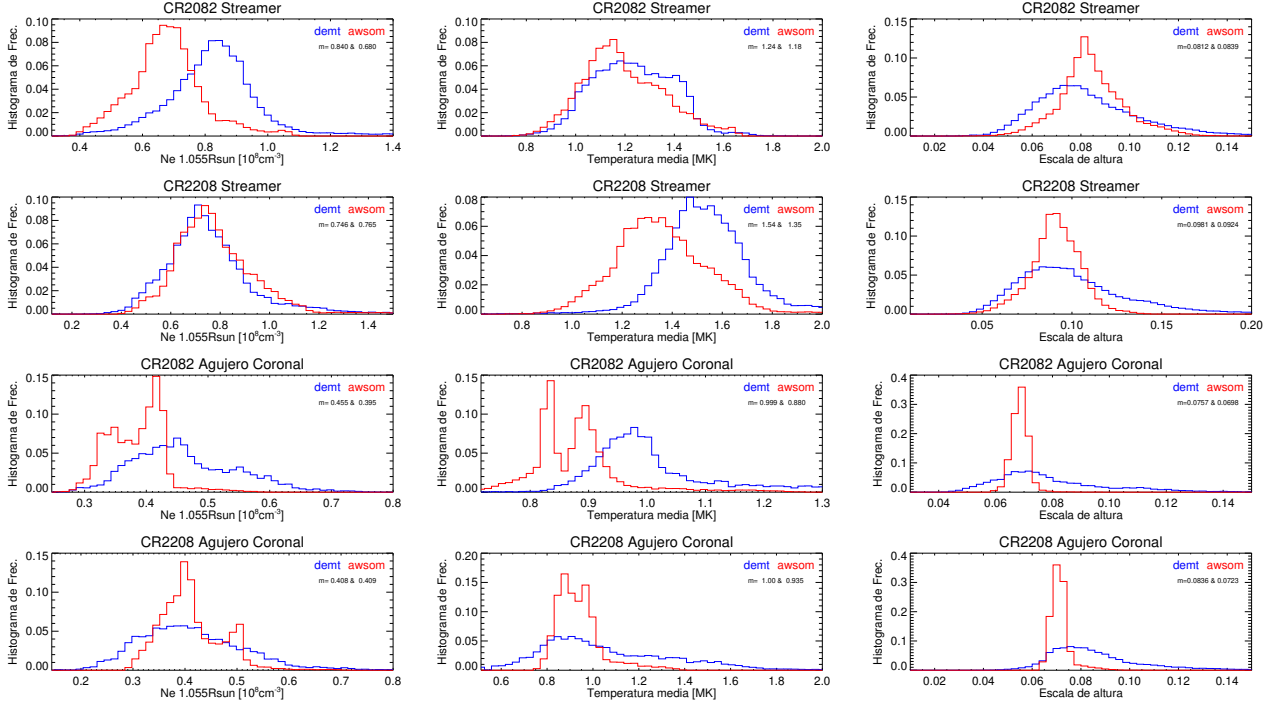


Figura 2: Histograma de frecuencia de CR-2082 y CR-2208 de N_e a $1.055 R_{\odot}$, escala de altura de la densidad electrónica y T_e . En azul se muestran los resultados obtenidos con DEMT y en rojo con AWSOM junto con la mediana de la respectiva estadística.