



# Análisis fenomenológico de las perturbaciones en el viento solar que originan subtormentas aisladas

H. Berezin<sup>1,2,3</sup>, M.F. Montero<sup>2,3</sup>, P.A. Sallago<sup>2</sup> & C.M. Giordano<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina*

<sup>2</sup> *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

<sup>3</sup> *Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*

Contacto / hilario@fcaglp.unlp.edu.ar

**Resumen** / Las eyecciones de masa coronal (CMEs por sus siglas en inglés) son una de las principales fuentes de variabilidad de fenómenos en el espacio vecino a la Tierra y de otros planetas. Dichas eyecciones están relacionadas con flares, erupciones de filamentos y ondas de choque que producen partículas energéticas solares. Las CMEs geoeffectivas producen lo que se denominan tormentas geomagnéticas, las cuales pueden contener subtormentas. Sin embargo, las no geoeffectivas podrían generar una perturbación en el viento solar, por ejemplo por el paso de su onda de choque, desencadenando una subtormenta. Hasta el momento, hemos estudiado subtormentas aisladas que no forman parte de una tormenta geomagnética. En el presente trabajo analizamos las características de las perturbaciones del viento solar que dan lugar al desarrollo de subtormentas aisladas en casos que ocurrieron durante enero y febrero de 2018. Los primeros resultados indican que el fenómeno desencadenante de estas subtormentas son en un 80 % discontinuidades de tipo Alfvén. El caso restante podría tratarse de una onda de choque Slow-Forward (SF).

**Abstract** / The most important sources of variability of phenomena in the space neighboring the Earth and other planets are coronal mass ejections (CMEs). Such ejections are related to flares, filament eruptions and shock waves that produce energetic solar particles. Geoeffective CMEs produce the so called geomagnetic storms, the latter can contain substorms. However, non-geoeffective ones could generate a disturbance in the solar wind, for example by the passage of its shock wave, triggering a substorm. So far, isolated substorms (the ones that are not part of a geomagnetic storm) were studied in an earlier work. In the present paper the characteristics of solar wind disturbances that give rise to the development of isolated substorms are analyzed. These perturbations had happened during January and February 2018. The first results indicate that the triggering phenomenon of these substorms are 80 % Alfvén-type discontinuities. The remaining one could be a Slow-Forward (SF) shock wave.

*Keywords* / magnetohydrodynamics (MHD) — magnetic fields — solar-terrestrial relations — solar wind

## 1. Introducción

Entre las diferentes interacciones Sol-Tierra tenemos la que se dan a través del campo magnético terrestre (CMT) y el viento solar. Producto de esta interacción es que se dan fenómenos como las subtormentas geomagnéticas, las cuales generan perturbaciones en el CMT que pueden durar entre 1 y 4 horas (Akasofu, 2017). Las mayores perturbaciones que se generan debido a este fenómeno tienen lugar en las regiones aurorales terrestres, llegando a producir una variación de hasta 3000 nT en la componente horizontal del campo magnético, registrada en las estaciones en tierra. En trabajos previos hemos estudiado la correlación entre la energía entrante al CMT y la intensidad de las subtormentas aisladas a través de las llamadas funciones de acoplamiento (Berezin H., 2021). En este trabajo hemos estudiado subtormentas pertenecientes a enero y febrero de 2018 que estén precedidas por valores de la función de acoplamiento  $\epsilon$  mayores a 250 GW. Con el objetivo de inferir el fenómeno que genera la perturbación en el viento solar, que da origen a este grupo de subtormentas, analizamos los parámetros del mismo (velocidad, densidad número, temperatura y campo magnético interplaneta-

rio (CMI)) en el sistema de referencia GSM \*. Dichos parámetros fueron medidos en L1 (satélites ACE, WIND y DSCOVR). Nótese que OMNIWEB traslada temporalmente algunos de estos parámetros a la Bow Shock Nose (BSN) \*\*. En la sección 2 analizamos los eventos seleccionados y en la sección 3 presentamos las conclusiones donde se discute que tipos de perturbaciones dan origen a estas subtormentas.

## 2. Selección de eventos y análisis

Los catálogos de subtormentas que hemos utilizado para este trabajo están realizados, bajo cinco criterios diferentes\*\*\*. Debido a la extensión temporal de los listados, sólo tres de los cinco cubren el período de tiempo estudiado. Estos son los generados bajo los criterios complementarios de Newell & Gjerloev (2011), Forsyth et al. (2015) y Ohtani & Gjerloev (2020), los cuales intentan identificar el inicio de la fase de expansión a partir

\*[https://sscweb.gsfc.nasa.gov/users\\_guide/Appendix\\_C.shtml](https://sscweb.gsfc.nasa.gov/users_guide/Appendix_C.shtml)

\*\*<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/>

\*\*\*<https://supermag.jhuapl.edu/>

Evento	HS[TU] L1	HS[TU] BSN	Datos
21/01/18	-	08:10	OMNIWEB
21/01/18	22:56	-	ACE
31/01/18	10:30	-	WIND
09/02/18	02:30	-	WIND
16/02/18	-	23:31	OMNIWEB
24/02/18	19:50	-	ACE

Tabla 1: Datos de los eventos registrados en L1 sin procesar y en la BSN procesados por OMNIWEB.

del índice SML. Para este trabajo hemos seleccionado los eventos que estén simultáneamente en la intersección de los tres criterios. Además, tomamos en cuenta que fueran días quietos y con un índice de actividad geomagnética  $K_p < 3$ , datos que pueden obtenerse de <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>. Como se mencionó anteriormente, el  $\epsilon$  de Akasofu supera los 250 GW para los eventos seleccionados. En la tabla 1 se enumeran los eventos estudiados y sus respectivos tiempos de inicio característicos. Notar que aparecen los datos de los eventos donde se observa la perturbación en el satélite, en L1 sin procesar o en la BSN procesados por Omniweb.

En el primer evento del 21 de enero (Figura 1), cerca de las 8:10 hs TU en la BSN (8.16 hs), podemos ver un aumento de la componente  $x$  de la velocidad y una disminución de la temperatura de los protones, lo cual es un comportamiento típico de una onda de choque Slow-Forward (Priest (2000)).

En lo que sigue del análisis, a pesar de tener intervalos con datos faltantes, hemos podido interpretar que las demás perturbaciones se tratan de ondas de choque intermedias o de Alfvén. Nótese el comportamiento de  $|\vec{B}|$  dependiente de si la perturbación es de pequeña amplitud o un paquete de ondas. En el segundo evento del 21 de enero (Figura 2), vemos que alrededor de las 22:56 hs TU en L1 (22.93 hs), hay un cambio en el sentido de las componentes  $x$  y  $z$  del CMI. El 31 de enero vemos en L1 (Figura 3), que cerca de las 10:30 hs TU (10.5 hs), hay una perturbación en las tres componentes del CMI. Si bien dos de las tres componentes cambian de signo en ese momento, la rotación del CMI más significativa se aprecia en la componente  $z$ . En el caso del evento del 9 de febrero (Figura 4) observamos que cerca de las 2:30 hs TU (2.5 hs), en los datos de WIND en L1, hay un cambio en el signo de la componente  $y$  del CMI. Además, puede verse una relación de proporcionalidad (Figura 5) entre la velocidad y la densidad número de protones al momento del paso de la perturbación con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.6. Este último fue tomado entre las 2 y las 2.5 hs. En el evento del 16 de febrero (Figura 6) observamos una rotación del CMI proveniente de un cambio de signo en la componente  $y$  y cerca de las 23:30 hs TU (23.5 hs). Por último, en el evento perteneciente al 24 de febrero (Figura 7) tenemos un cambio en la componente  $y$  del CMI cerca de las 19:50 hs TU en L1 (19.83 hs). Además, vemos una relación de proporcionalidad entre la componente  $x$  de la velocidad y la densidad número de protones (Figura 8), logrando un índice de correlación de Pearson de 0.72. Este último fue tomado entre las 19.82 y las 19.94 hs.

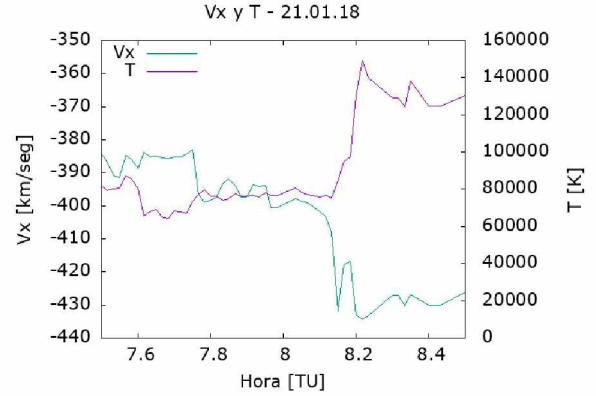


Figura 1: T y  $V_x$  de los protones. Perturbación a las 8.16 hs. Datos de WIND corridos a BSN.

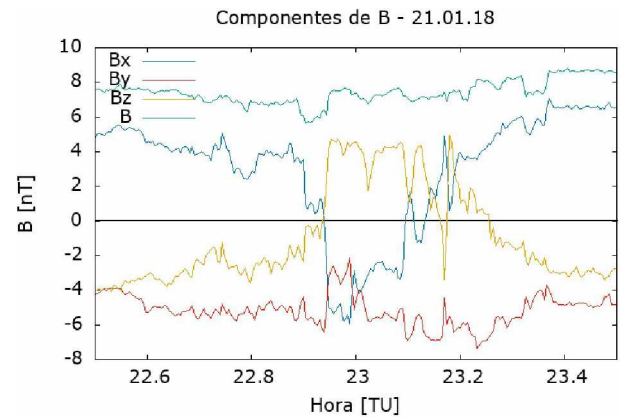


Figura 2: Componentes de B. Perturbación a las 22.93 hs. Datos de ACE.

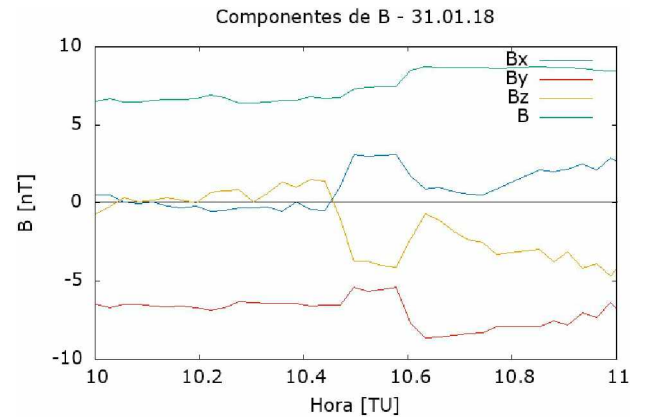


Figura 3: Componentes de B. Perturbación a las 10.5 hs. Datos de ACE.

### 3. Conclusiones

Los eventos estudiados en este trabajo, pertenecientes a días geomagnéticamente quietos con  $K_p < 3$ , fueron analizados con el objetivo de inferir la naturaleza de las perturbaciones que dieron origen a las subtormentas. A partir de los parámetros del viento solar, pudimos obser-

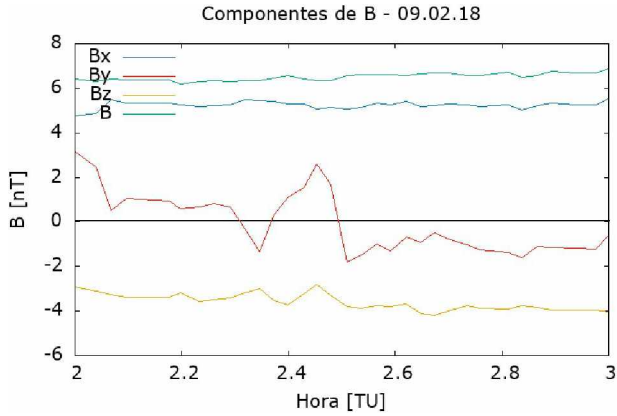


Figura 4: Componentes de B. Perturbación a las 2.5 hs. Datos de ACE.

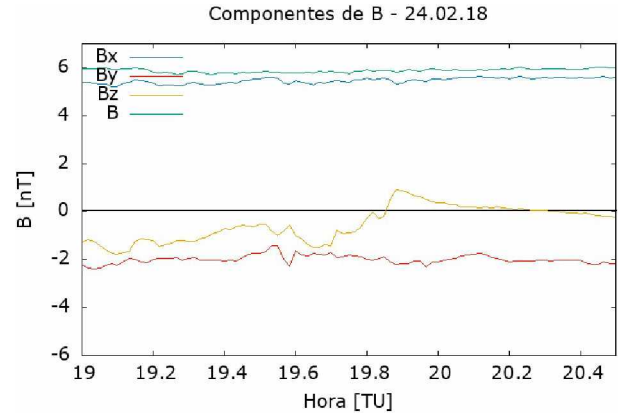


Figura 7: Componentes de B. Perturbación a las 19.83 hs. Datos de ACE.

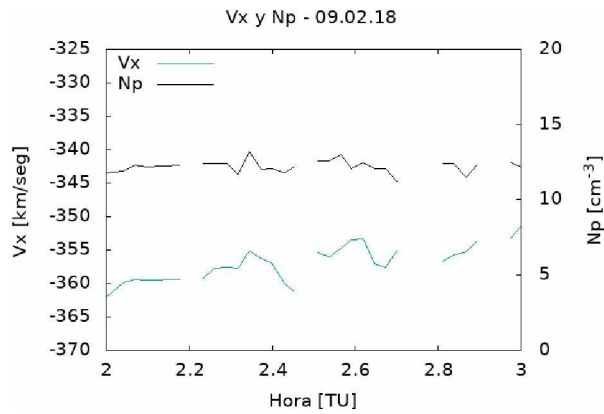


Figura 5:  $V_x$  y  $N_p$  de los protones. Perturbación alrededor de las 2.5 hs. Datos de ACE.

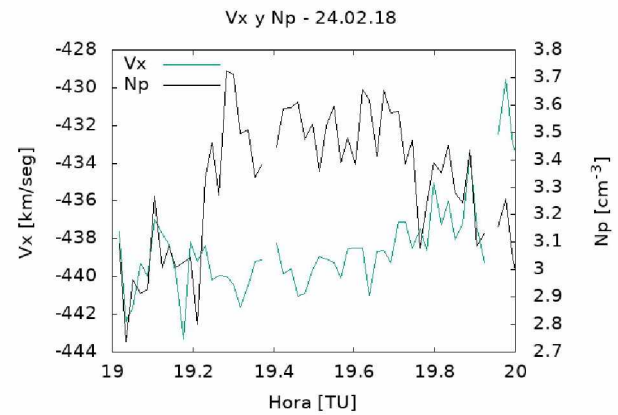


Figura 8:  $V_x$  y  $N_p$  de los protones. Perturbación alrededor de las 19.83 hs. Datos de ACE.

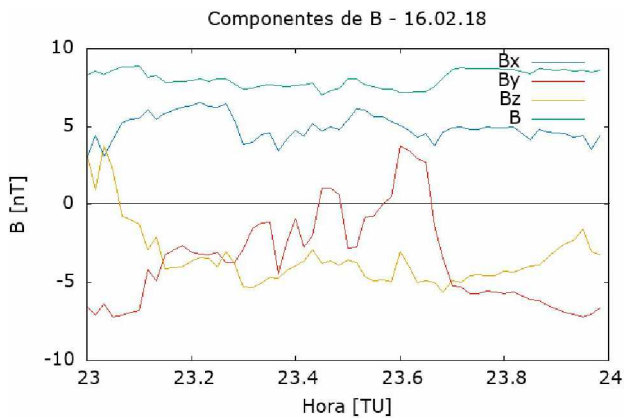


Figura 6: Componentes de B. Perturbación a las 23.5 hs. Datos de WIND corridos a la BSN.

*Agradecimientos:* Se agradece la lista de inicios de subtormentas identificada por la técnica SOPHIE (Forsyth et al., 2015), la lista de inicios de subtormentas identificada por la técnica de Newell y Gjerloev (Newell y Gjerloev, 2011), la lista inicios de subtormentas identificada por la técnica de Ohtani y Gjerloev (Ohtani y Gjerloev, 2020); y la colaboración de SuperMAG (Gjerloev et al. 2012). Además, se agradece a ACE, OMNIWEB, WIND, DISCVR por el acceso a sus datos.

## Referencias

- Akasofu S.I., 2017, *SSRv*, 212, 341
- Berezin H., 2021, Tesis de grado. Universidad Nacional de La Plata, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116651>
- Forsyth C., et al., 2015, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 120, 10,592
- Newell P.T., Gjerloev J.W., 2011, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 116
- Ohtani S., Gjerloev J.W., 2020, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 125
- Priest E.R., 2000, *Solar Magnetohydrodynamics*, Springer

var que el 80 % de estos eventos fueron originados por ondas de Alfvén y solo uno, el cual pertenece al 21.01.18, fue producto de una onda de choque Slow-Forward en el viento solar. En trabajos a futuro estudiaremos los casos para  $\epsilon < 250$  GW.