



# Actividades proto-operativas de meteorología del espacio en Argentina

V. Lanabere<sup>1</sup>, N.A. Santos<sup>1</sup>, B.D. Dorsch<sup>1</sup>, A.E. Niemelä-Celeda<sup>1</sup>, V.E. López<sup>1,2</sup>,  
C. Gutiérrez<sup>1</sup>, A.M. Gulisano<sup>3,4,5</sup> & S. Dasso<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Grupo LAMP, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Argentina

<sup>2</sup> Servicio Meteorológico Nacional, Argentina

<sup>3</sup> Grupo LAMP, Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina

<sup>4</sup> Grupo LAMP, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Argentina

<sup>5</sup> Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico, Argentina

Contacto / vlanabere@at.fcen.uba.ar

**Resumen** / La meteorología del espacio estudia principalmente las condiciones Sol-Tierra que pueden influenciar diferentes aspectos de la tecnología moderna, como por ejemplo, el rendimiento y confiabilidad de las comunicaciones aéreas basadas en tecnologías espaciales y terrestres, sistemas de posicionamiento global, redes de energía eléctrica, tecnologías satelitales, y salud humana en el espacio. El Sol es la fuente exógena de eventos de meteorología del espacio cuyos efectos sobre la alta atmósfera terrestre pueden sumarse a fuentes endógenas como por ejemplo las ondas de gravedad atmosféricas. Desde el año 2016, el Laboratorio Argentino de Meteorología del espacio (LAMP) realiza un monitoreo diario de la información en tiempo real (instrumentos en el espacio y superficie) de las condiciones de meteorología del espacio. Mas aún, desde enero 2020, LAMP es centro regional de alerta del servicio internacional del ambiente espacial (ISES, por sus siglas en inglés). En este trabajo presentamos los últimos productos operativos desarrollados por LAMP y que son ofrecidos públicamente en [spaceweather.at.fcen.uba.ar](http://spaceweather.at.fcen.uba.ar).

**Abstract** / Space weather mainly refers to the Sun-Earth conditions that can influence the performance and reliability of space and ground-based technologies aviation communications, global positioning systems, electric power grid, satellite technologies, and human health in space. The Sun is the exogenous source of space weather events whose effects on the upper atmosphere can be added to endogenous events such as atmospheric gravity waves. Since 2016, the Argentine space weather laboratory (in Spanish Laboratorio Argentino de Meteorología del espacio, LAMP) carries out daily monitoring of real-time information (space and ground-based instruments) on space weather conditions. Furthermore, since January 2020 LAMP is the Argentine regional warning center of the International Space Environment Service (ISES). In this work we present the latest operative space weather products developed by LAMP that are offered publicly at [spaceweather.at.fcen.uba.ar](http://spaceweather.at.fcen.uba.ar).

**Keywords** / Sun: heliosphere — solar-terrestrial relations

## 1. Introducción

Es ampliamente aceptado que la actividad solar puede producir grandes perturbaciones en el entorno espacial terrestre y en otros planetas. La meteorología del espacio o *space weather* en inglés, estudia las condiciones variables de la heliósfera que puedan afectar tanto la actividad terrestre (e.g. Eastwood et al., 2017, 2018) como las misiones exploratorias en otros planetas (e.g. Hassler et al., 2018; Hapgood, 2019).

Diversas instituciones internacionales, como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Organización de Aviación Civil (OACI), y la Oficina de Asuntos del Espacio Exterior de las Naciones Unidas (UNOOSA, por sus siglas en inglés), han comenzado a desarrollar programas y actividades relacionadas con la meteorología del espacio. Por ejemplo, a partir del 7 de noviembre del año 2019 comenzó a funcionar el servicio de información meteorológica espacial de apoyo a la navegación aérea internacional, en el marco de OA-

CI. Esta información consiste en el monitoreo diario de los fenómenos solares que puedan afectar las comunicaciones de alta frecuencia relacionadas con el transporte aéreo, la navegación y vigilancia basadas en el sistemas de posicionamiento global, y los niveles de radiación a bordo de aeronaves civiles.

El Laboratorio Argentino de Meteorología del espacio (LAMP) es uno de los diversos grupos en Argentina que realiza estudios relacionados con meteorología del espacio. En los trabajos de Denardini et al. (2016a,b,c) se puede encontrar un estudio detallado sobre meteorología del espacio en Latinoamérica, incluyendo Argentina. LAMP tiene su sede en la Universidad de Buenos Aires (UBA), con su laboratorio para el desarrollo de instrumentos de meteorología espacial en el Laboratorio Espacial del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, UBA-CONICET), oficinas en IAFE, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (UBA) y en Instituto Antártico Argentino. A

Tabla 1: Listado de productos operativos ofrecidos por LAMP separados por los diferentes dominios del sistema Sol-Tierra. (\*\*) Productos a ser incorporados en corto plazo.

Dominio	Producto
Actividad solar	Coronógrafo
	Magnetograma
	Flujo de rayos X
	Flujo de protones**
Medio interplanetario	CMI
	Velocidad del viento solar
	Ángulo del CMI
Cinturones de radiación	Flujo de electrones
	Fluencia de electrones
Campo geomagnético	Índice $K_p$
	Índice $Dst$
	Índice regional**
Ionósfera	Contenido total electrónico

partir del año 2019, LAMP cuenta además de un laboratorio antártico para estudios relacionados con la meteorología del espacio, ubicado en la Base Antártica Marambio (Gulisano et al., 2020) donde se instaló un detector de rayos cósmicos (Santos et al., 2020). Más información sobre las actividades del grupo LAMP relacionadas con colaboraciones nacionales e internacionales, investigación y desarrollo de instrumental se pueden encontrar en Lanabere et al. (2020). Finalmente, en enero del año 2020, LAMP fue nombrado como centro de alerta regional de meteorología del espacio por el servicio internacional del ambiente espacial (ISES, por sus siglas en inglés).

## 2. Productos operativos

Desde el año 2016, LAMP ofrece diferentes productos operativos en su portal en español de meteorología del espacio\* indicados en la Tabla 1. Los productos se dividen de acuerdo a los diferentes entornos: actividad solar, medio interplanetario, cinturones de radiación, campo geomagnético, e ionósfera. Además, se ofrece un boletín semanal que contiene información resumida sobre las condiciones del entorno espacial-terrestre observadas durante un período de una semana. En este trabajo se presentan las novedades respecto a los productos operativos previamente mencionados en Lanabere et al. (2020). A continuación se describen los primeros cuatro entornos, mientras que la ionósfera y su producto operativo, contenido total electrónico, se puede encontrar en la sección 3.4 de Lanabere et al. (2020).

### 2.1. Actividad solar

En el dominio de actividad solar se incorporaron imágenes de la corona solar para los últimos 4 días obtenidas con el coronógrafo SOHO/LASCO C2. Las imágenes cubren una distancia entre 1.5 y 6 radios solares. De esta forma es posible detectar, eyecciones coronales de masa y regiones donde las líneas de campo magnético

se encuentran cerradas. Además, se muestran magnetogramas del instrumento HMI/SDO para los últimos siete días y con resolución horaria, que incluyen además la identificación de regiones activas, las cuales son las principales regiones donde pueden originarse fulguraciones solares y eyecciones coronales de masa. Finalmente, el producto operativo del flujo de rayos X en dos longitudes de onda obtenidos por el satélite GOES-16, permite identificar la ocurrencia de fulguraciones solares. Actualmente se encuentra en desarrollo un producto del flujo protones asociado a eventos de protones solares.

### 2.2. Medio interplanetario

El medio interplanetario está permeado por viento solar, que está compuesto principalmente por protones y electrones, que transportan parte del campo magnético solar. La Fig. 1 muestra las condiciones del medio interplanetario en el entorno terrestre para un periodo de siete días con resolución de 1 minuto. En el panel correspondiente al campo magnético interplanetario (CMI), se muestra la intensidad del campo magnético total ( $B_t$ ) y su componente sur ( $B_z$ ) en coordenadas GSM. Según el trabajo de Gonzalez et al. (1994), condiciones de  $B_z < -5$  nT por un periodo de mas de 2 horas pueden dar lugar a tormentas geomagnéticas moderadas.

La velocidad del viento solar ( $V_{sw}$ ) se muestra en el panel central de la Fig. 1. El producto de  $V_{sw}$  con  $B_z < 0$  representa un buen estimador del forzado interplanetario a la actividad geomagnética. En particular se pueden diferenciar dos tipos de viento solar: viento lento ( $V_{sw} < 400$  km s<sup>-1</sup>) y viento rápido ( $V_{sw} > 500$  km s<sup>-1</sup>). Cuanto mayor sea la velocidad del viento solar, mayor será el forzado.

El CMI presenta una forma de espiral debido a la rotación del Sol y a la condición de congelamiento del plasma a las líneas de campo. El panel inferior de la Fig. 1 muestra el ángulo que forma el CMI con respecto a la línea Sol-Tierra. Dependiendo de la polaridad magnética este valor puede ser  $\alpha \sim 45^\circ$  si la dirección es saliendo del Sol o  $\alpha \sim -135^\circ$  si tiene dirección hacia el Sol. Una descripción detallada sobre la definición del ángulo  $\alpha$  y la determinación de los umbrales definidos pueden encontrarse en el trabajo de Dorsch et al. (2020).

### 2.3. Cinturones de radiación de Van Allen

Los cinturones de radiación de Van Allen son zonas con partículas energéticas atrapadas por el campo magnético terrestre. Los electrones de alta energía que conforman el cinturón de radiación exterior pueden afectar dispositivos electrónicos en satélites que orbitan la Tierra. Un aumento en el flujo de electrones energéticos puede resultar en una pérdida temporal o permanente de su funcionamiento.

En la Fig. 2 se muestra el flujo de electrones con energías mayores a 2 MeV para un período de 7 días medidos con el satélite GOES-16. Los umbrales corresponden a los percentiles calculados con datos históricos del flujo de electrones medido por GOES-15. Además,

\*<http://spaceweather.at.fcen.uba.ar/>

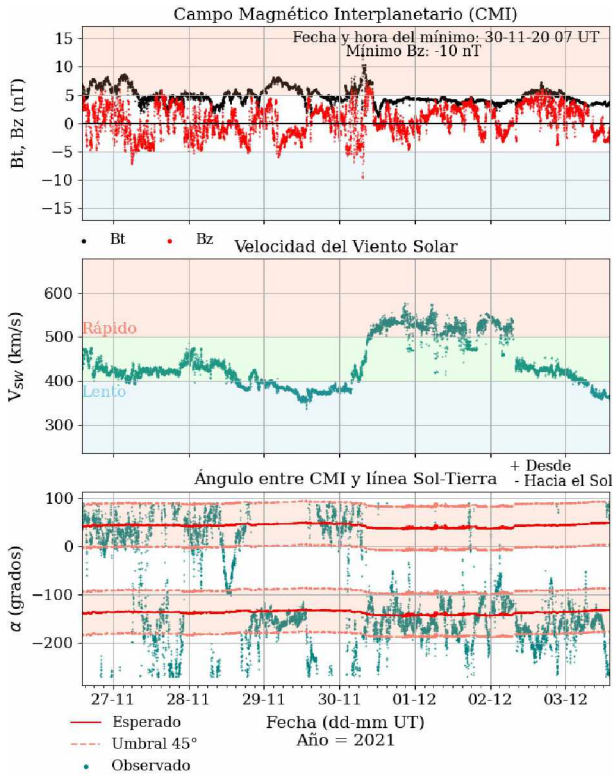


Figura 1: Condiciones del medio interplanetario en el entorno terrestre. *Panel superior*: magnitud del campo magnético interplanetario (negro) y su componente sur,  $B_z$  en GSM (rojo). *Panel central*: Velocidad del viento solar. *Panel inferior*: ángulo entre el CMI y la línea Sol-Tierra

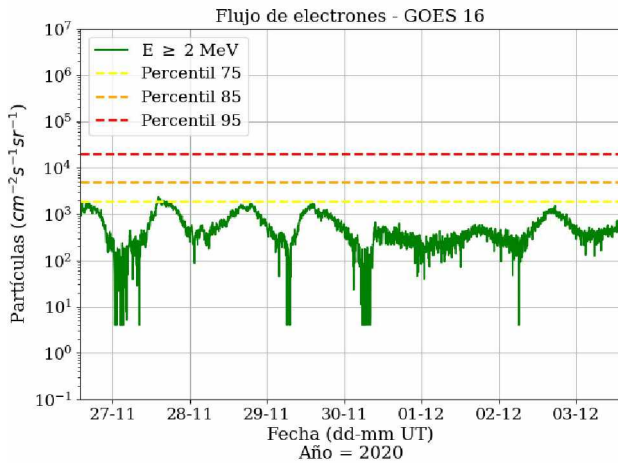


Figura 2: Flujo de electrones con energías mayores a 2 MeV observados por GOES, para un período de 7 días.

los satélites son mas susceptibles a la fluencia, es decir a la cantidad de partículas por unidad de área por unidad de tiempo. Por lo tanto, se desarrolló un producto que muestra la fluencia de electrones de altas energías ( $E > 2$  MeV) en un período de 24 horas con índices de

riesgo para satélites de órbita geoestacionaria basados en el trabajo de Horne et al. (2013).

## 2.4. Campo geomagnético

La actividad geomagnética puede ser rápidamente detectada a partir de índices de actividad geomagnética como por ejemplo, el índice planetario  $Kp$  y el índice  $Dst$ . En ambos casos incluimos un producto que muestra dichos valores para un período de 7 días. Cada índice cuenta además con los umbrales definidos por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y por el trabajo de Gonzalez et al. (1994). En esta línea, nos encontramos trabajando con los magnetómetros instalados en el territorio Argentino, con el fin de desarrollar un índice geomagnético regional.

## 3. Conclusiones

En este trabajo presentamos las novedades de los productos operativos desarrollados por LAMP, de utilidad para el monitoreo de las condiciones del entorno terrestre. Desde el año 2019, LAMP comenzó a desarrollar un sistema de alertas por suscripción. Las alertas se emiten cuando las condiciones en el entorno espacial-terrestre superan determinados umbrales. Por este motivo, es importante desarrollar algoritmos automáticos de adquisición de datos, realizar un análisis y definir umbrales como parámetros clave para la emisión de alertas. Finalmente, con el fin de ampliar el monitoreo de las condiciones de meteorología del espacio, se incluyen además los siguientes pasos en relación a nuevos productos operativos a ser implementados en los próximos meses.

*Agradecimientos*: Los autores agradecen el soporte parcial de los subsidios UBACyT (UBA) y PIP-CONICET-11220130100439CO.

## Referencias

- Denardini C.M., Dasso S., Gonzalez-Esparza J.A., 2016a, *Adv. Space Res.*, 58, 1916
- Denardini C.M., Dasso S., Gonzalez-Esparza J.A., 2016b, *Adv. Space Res.*, 58, 1940
- Denardini C.M., Dasso S., Gonzalez-Esparza J.A., 2016c, *Adv. Space Res.*, 58, 1960
- Dorsch B.D., et al., 2020, *BAAA*, 62, (enviado)
- Eastwood J.P., et al., 2017, *Risk Analysis*, 37, 206
- Eastwood J.P., et al., 2018, *Space Weather*, 16, 2052
- Gonzalez W.D., et al., 1994, *J. Geophys. Res.*, 99, 5771
- Gulisano A.M., et al., 2020, *BAAA*, 62, (enviado)
- Hapgood M., 2019, *The Impact of Space Weather on Human Missions to Mars: The Need for Good Engineering and Good Forecasts*, 69–91, Springer International Publishing, Cham
- Hassler D.M., et al., 2018, *Space Weather*, 16, 1702
- Horne R.B., et al., 2013, *Space Weather*, 11, 169
- Lanabere V., et al., 2020, *Adv. Space Res.*, 65, 2223
- Santos N.A., et al., 2020, *BAAA*, 62, (enviado)