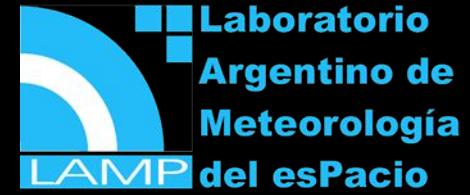


Meteorología del Espacio desde la Antártida



A.M. Gulisano ^{+ [1,2,3]}, S. Dasso ^[2,3,4], N.A. Santos ^[4], L.T. Rubinstein ^[2,9],
M.Pereira ^[2],
O.Areso ^[2],



[1] Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico, Buenos Aires, Argentina;

[2] CONICET, Universidad de Buenos Aires, Instituto de Astronomía y Física del Espacio, grupo LAMP, Buenos Aires, Argentina;

[3] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física, grupo LAMP, Buenos Aires, Argentina;

[4] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, grupo LAMP, Buenos Aires, Argentina;

[5] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Laboratorio de Acústica y Electroacústica, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina



Meteorología del Espacio

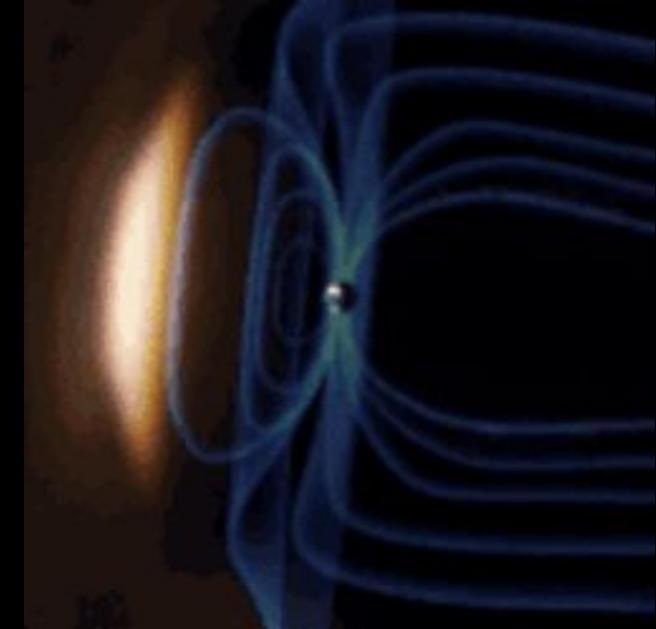
Tormentas geomagnéticas

Tormentas de radiación solar

Bloqueos de radio

Una tormenta geomagnética es una perturbación significativa de la magnetósfera, consecuencia directa del intercambio de energía desde el viento solar al ambiente espacial terrestre. En particular, la energía intercambiada durante estos eventos se disipa en el entorno de la Tierra, con consecuencias importantes sobre los cinturones de radiación, la ionósfera y el campo geomagnético.

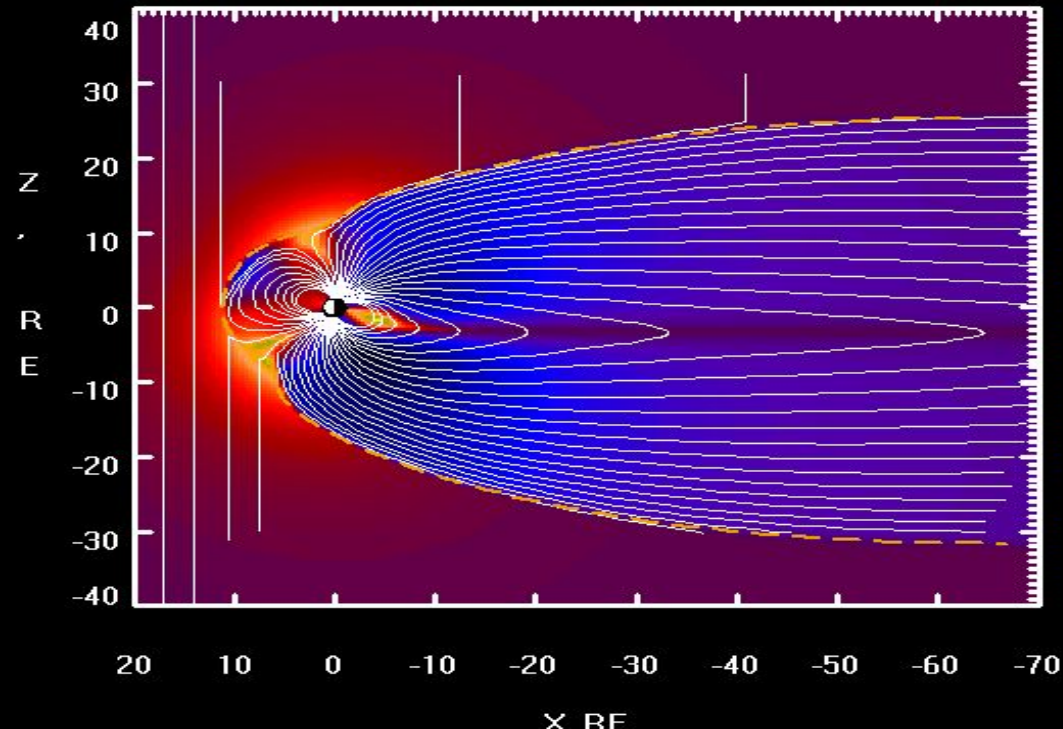
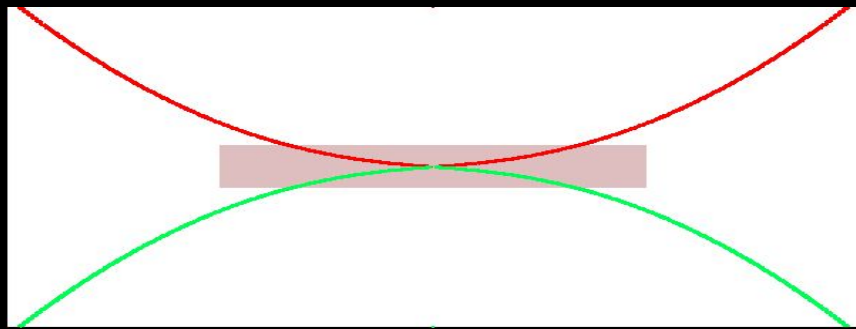
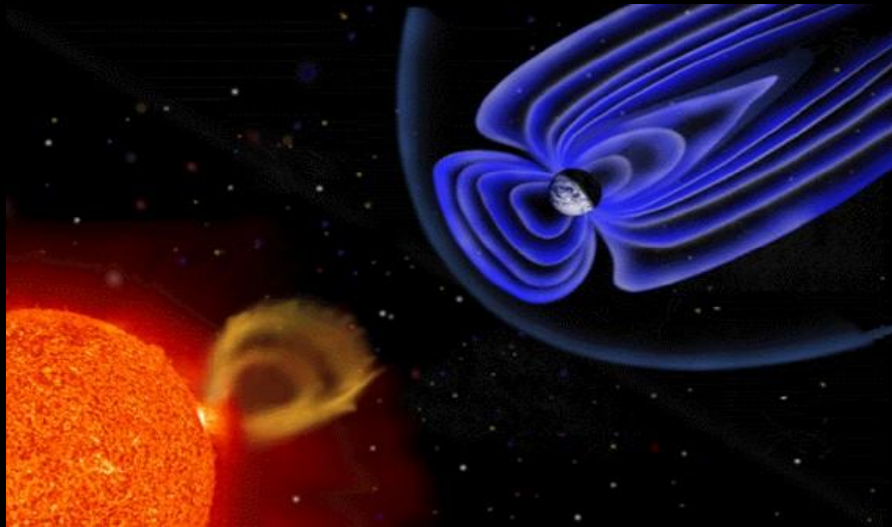
El índice DST (Disturbance Storm Time, en inglés) y el índice KP permiten estimar la intensidad de la tormenta geomagnética en curso.



La Magnetosfera abierta por eventos solares

Resultado de la interacción del dipolo magnético terrestre con el viento solar

Eventos solares (ICMEs) producen reconexión magnética y abren el 'escudo magnético terrestre', permitiendo ingreso masivo de partículas y energía



Meteorología del Espacio

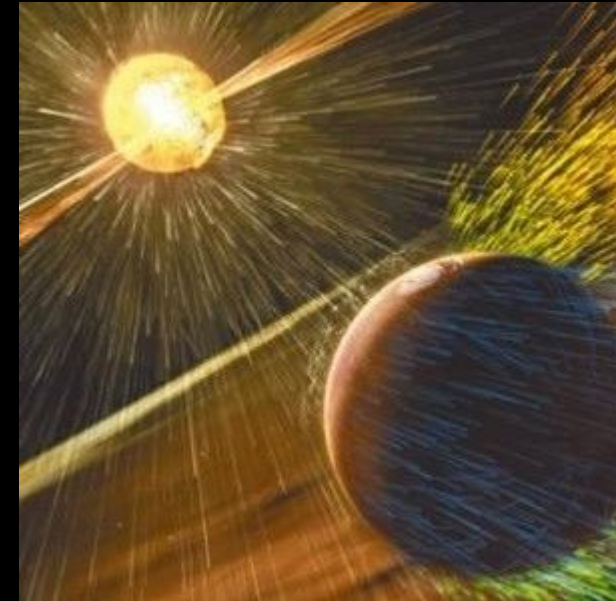
Tormentas geomagnéticas

Tormentas de radiación solar

Bloqueos de radio

Una región activa del Sol es un área donde el campo magnético es particularmente fuerte. Con frecuencia, las manchas solares se forman en regiones activas. Generalmente, estas regiones activas están asociadas con actividad solar en forma de fulguraciones solares y emisión de protones solares de alta energía.

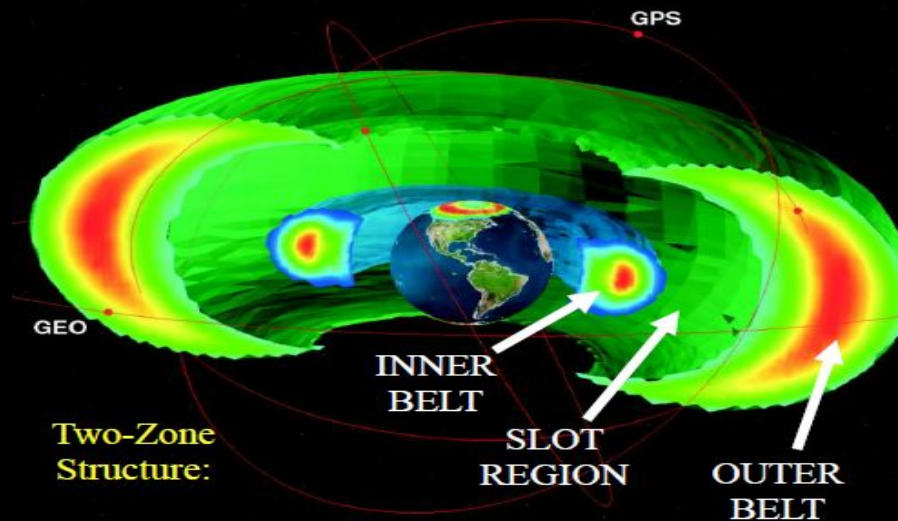
Los flujos de protones pueden llegar a la Tierra entre 20 minutos y algunas horas de iniciado el evento solar. Estos flujos son medidos por los satélite GOES a aproximadamente 36 000 km de altitud.



Partículas energéticas solares



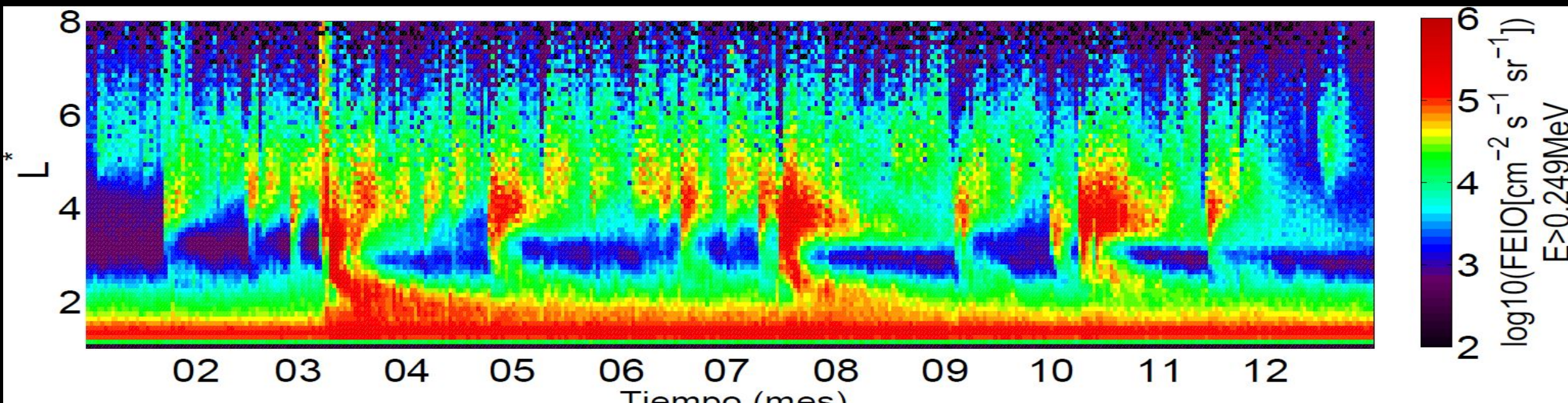
AUMENTAN LOS FLUJOS EN LOS CINTURONES DE RADIACIÓN DE VAN ALLEN



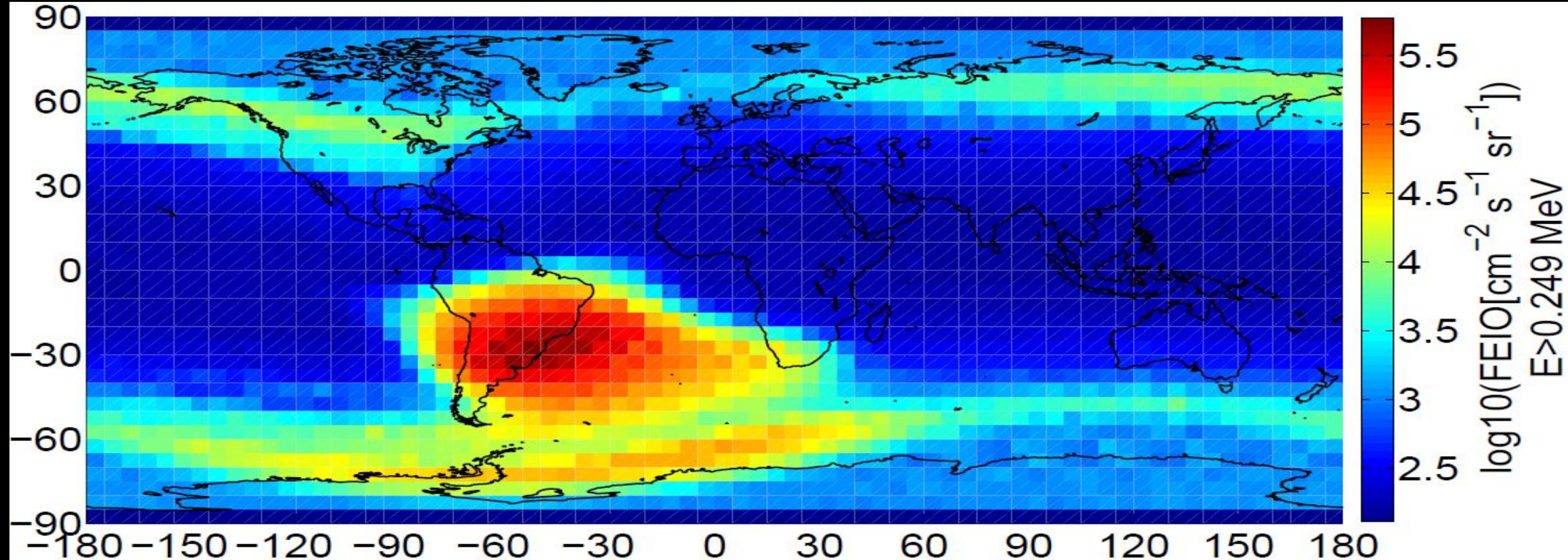
- Radiation belts
 - energies >100 keV
 - two-zone structure
- Inner belt: fairly stable
- Outer belt: can change on the time scale of an hour

Electrones energéticos en el cinturón interno ($L^* \sim 2$) y externo ($L^* \sim 4-6$)
Argentino SAC-D [Lanebere & Dasso, 2015]

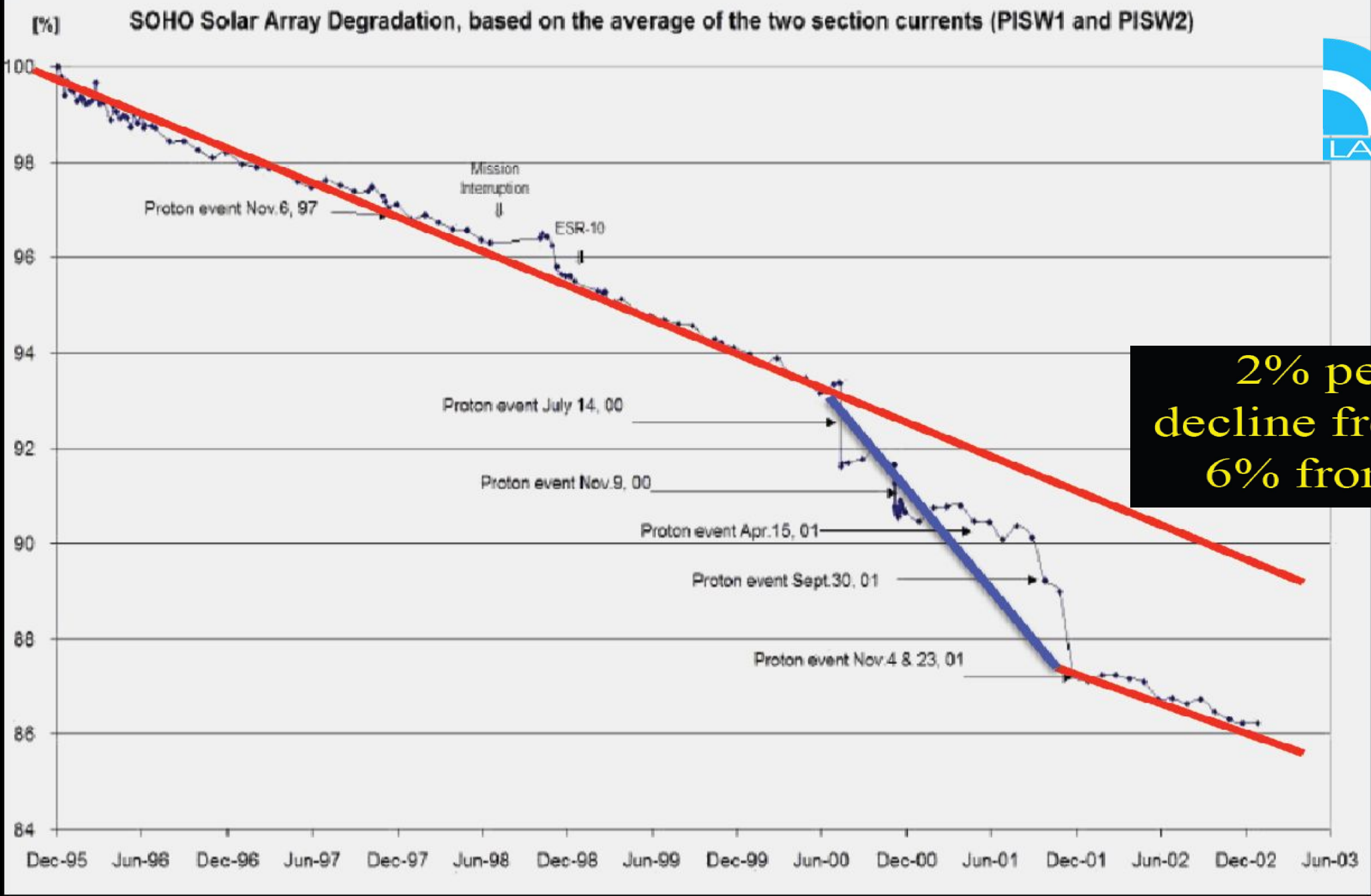
medidos por el satélite



SE INTENSIFICAN FLUJOS DE PARTÍCULAS SUPER-ENERGÉTICAS EN LA ANOMALÍA DEL ATLÁNTICO SUR



Observaciones de SAC-D [Lanabere & Dasso, 2015]



2% per year
decline from GCRs
6% from SPEs

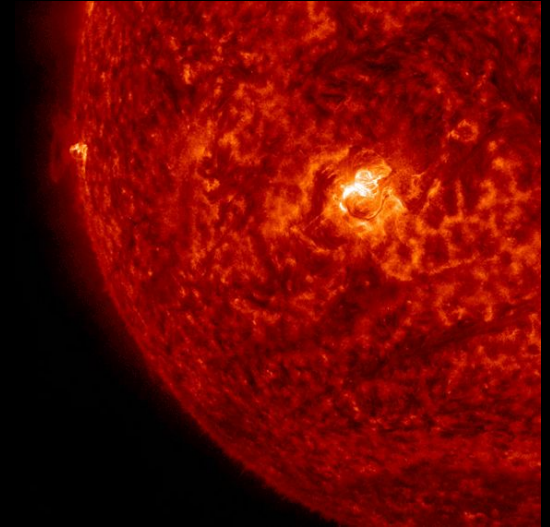
Meteorología del Espacio

Tormentas geomagnéticas

Tormentas de radiación solar

Bloqueos de radio

Las regiones activas están frecuentemente asociadas a fulguraciones solares. Las fulguraciones son emisiones repentinas de flujos de rayos X y rayos ultravioleta. El aumento de la radiación afecta la ionización en la capa de la atmósfera terrestre conocida como ionósfera. Un aumento en el contenido electrónico puede afectar la propagación de las ondas de radio, utilizadas para la comunicación.



'Solar Flares' o Fulguraciones solares



Classification	Peak Flux Range at 100-800 picometre (Watts/square metre)
A	$< 10^{-7}$
B	$10^{-7} - 10^{-6}$
C	$10^{-6} - 10^{-5}$
M	$10^{-5} - 10^{-4}$
X	$10^{-4} - 10^{-3}$

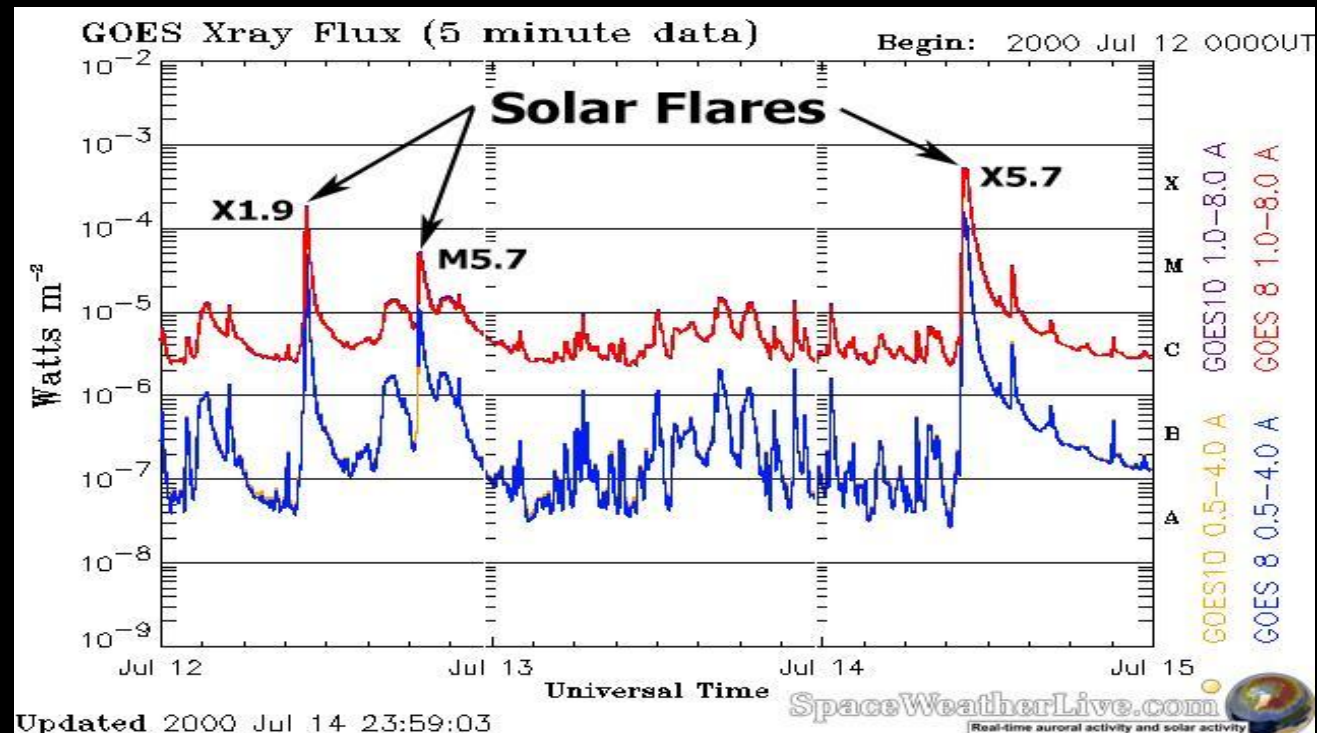
Flares: A flare process is associated with a rapid energy release in the solar corona, believed to be driven by stored nonpotential magnetic energy and triggered by an instability in the magnetic configuration. Such an energy release process results in acceleration of nonthermal particles and in heating of coronal/chromospheric plasma. These processes emit radiation in almost all wavelengths: radio, white light, EUV, soft X-rays, hard X-rays, and even γ -rays during large flares.

X-ray Solar Flare Classifications

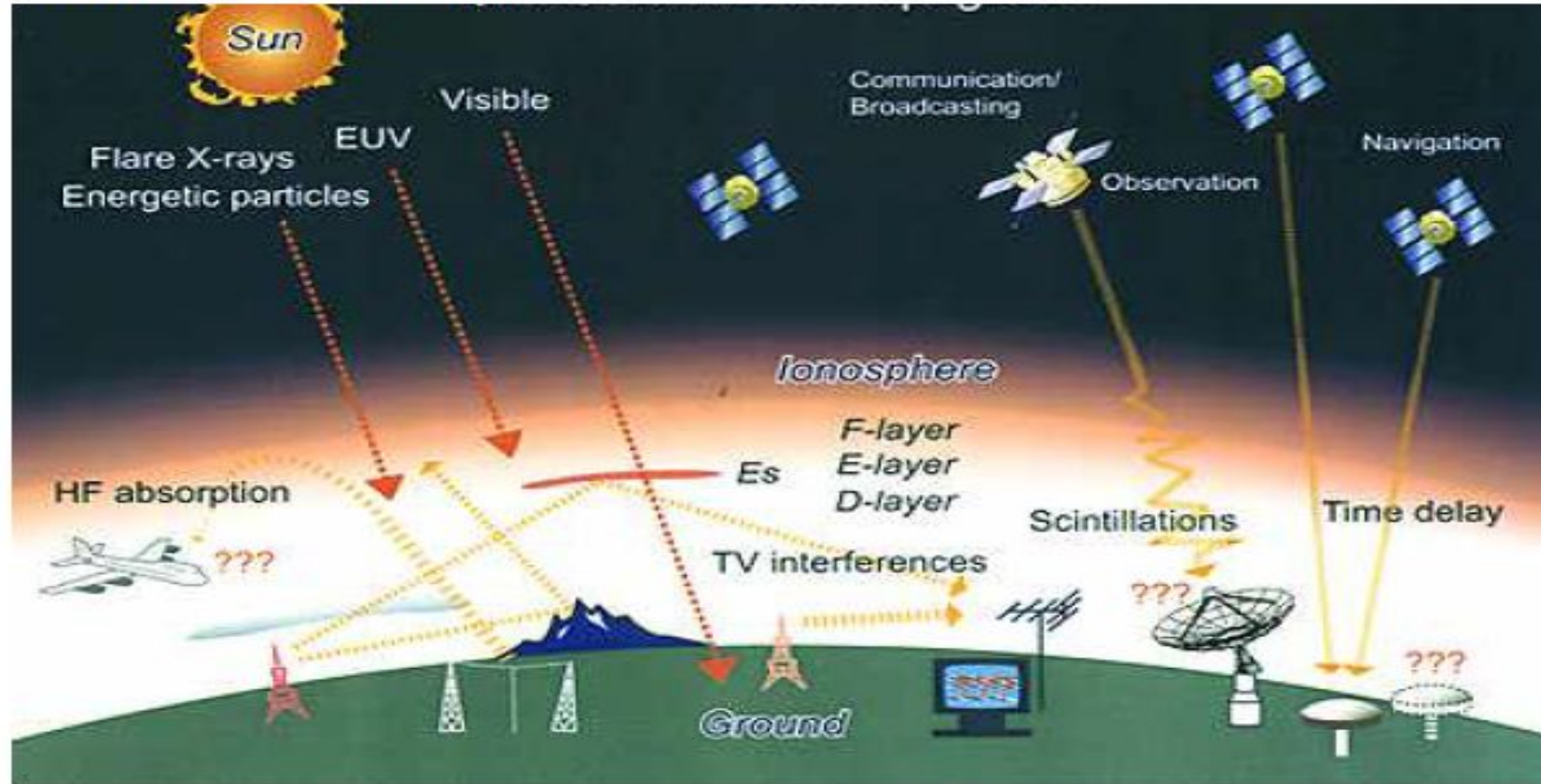
X-class flares: Biggest flares - capable of causing planet wide radio blackouts and extended radiation storms.
Intensity ratings
X9-most intense
X8, X7, X6, --- X1

M-class flares: Medium size capable of causing brief radio blackouts and interference. Sometimes followed by radiation storms.
M9 - M1

C-class flares: Small with few noticeable consequences on Earth.
C9 - C1



Breve descripción de la Ionósfera

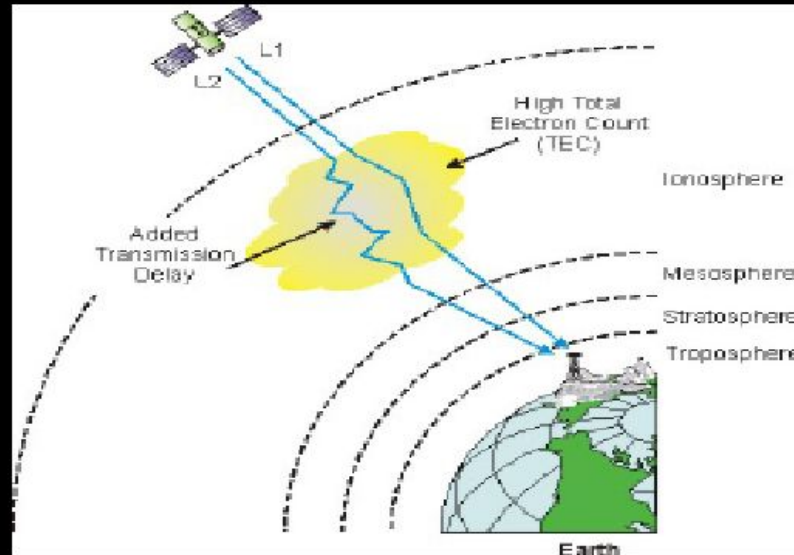


Efectos Ionosféricos en la radiopropagación

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

(POSICIÓN Y TIEMPO GPS: COMERCIO, CIENCIA, VIGILANCIA, OPERACIONES BANCARIAS, TELEFONÍA MÓVIL, CARTOGRAFÍA, SERVICIOS DE EMERGENCIA)

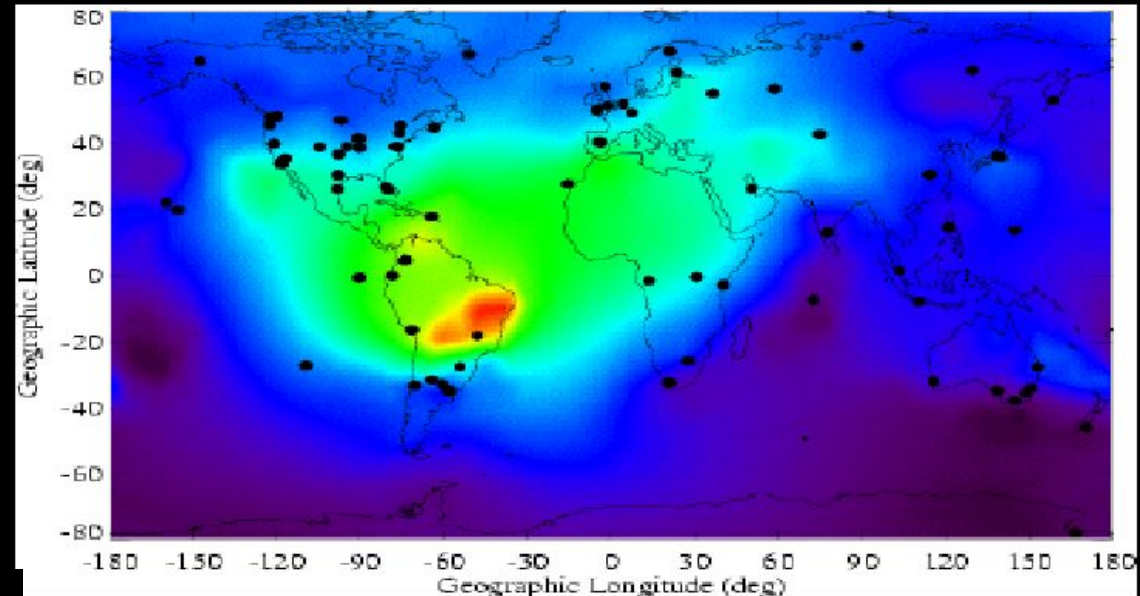
GPS Systems



$$1.0 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ e/m}^2$$

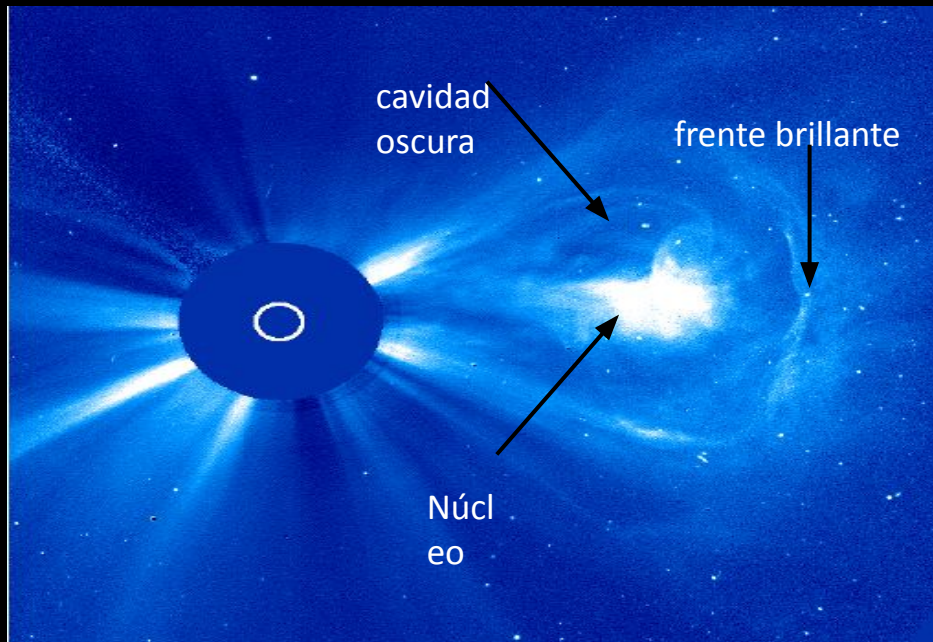
5 TECU = 1 meter GPS pos. error

Propagation through ionosphere



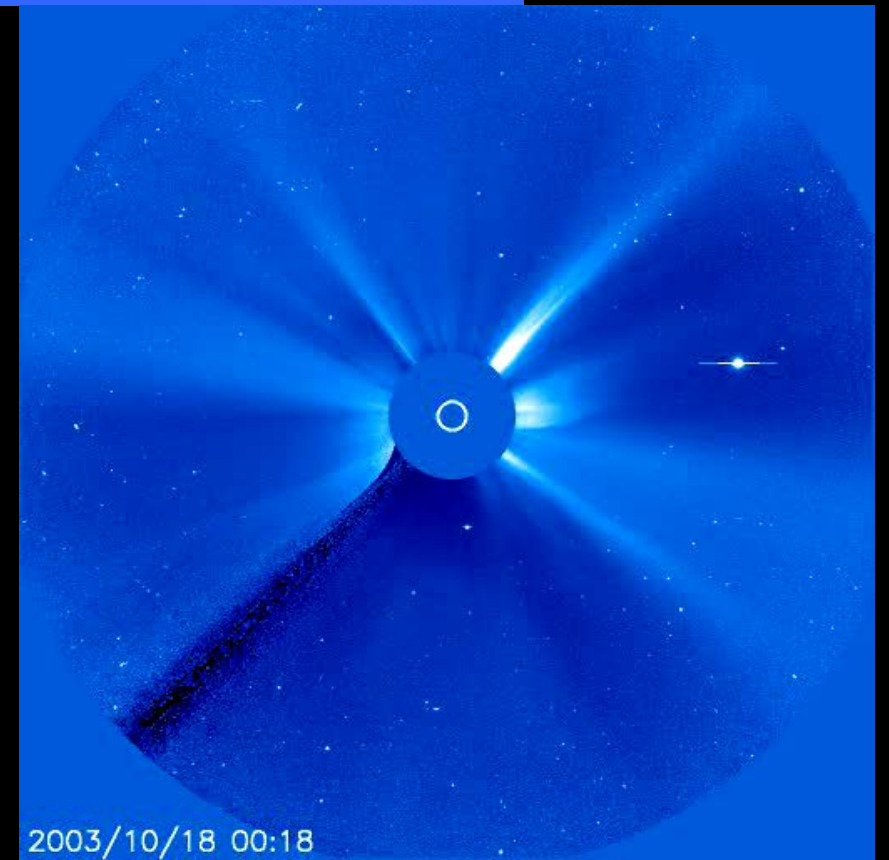
Escalas de tiempo de efectos Sol-Tierra

- Radiación electromagnética: 8 minutos
... ionósfera, comunicaciones, radio interferencia
- Partículas: 20 minutos
... exposición peligrosa en el espacio
- Materia producida por CME: 30 a 72 horas
... tormentas geomagnéticas (detectores de radiación como el nuestro ayuda a pronosticar su llegada y efectos)



Eyección coronal de masa

Gran cantidad de CME entre 18 Oct-07 Nov de 2003



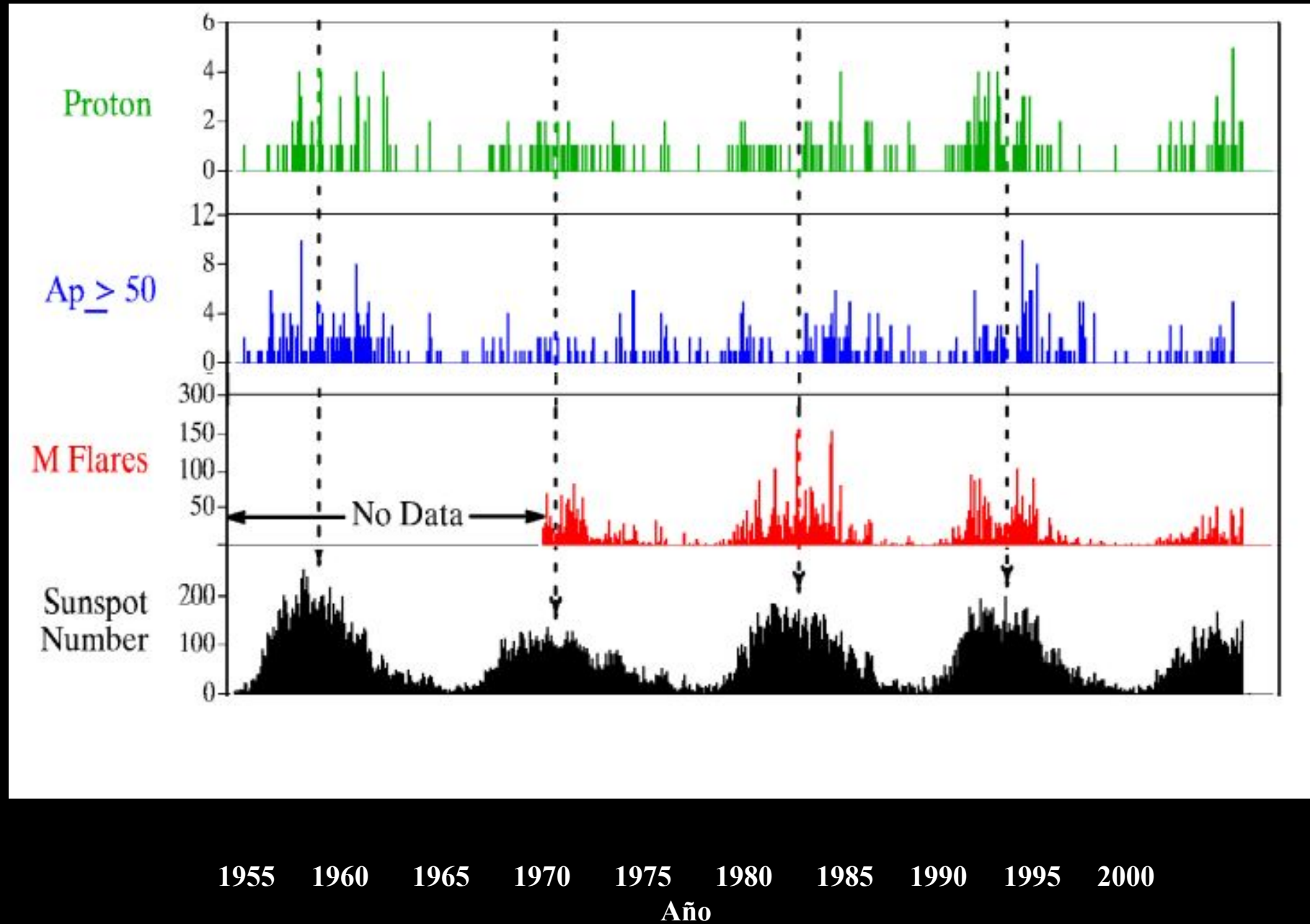
2003/10/18 00:18

Radiation Storms
1-4 per month at max

Geomagnetic Storms
3-5 per month at max

Radio Blackouts
50-100 per month at max

Sunspot Number
11-year cycle

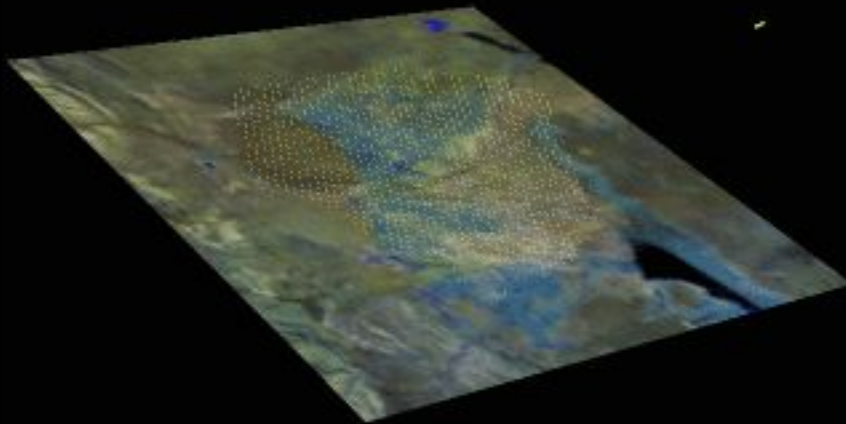


Meteorología del Espacio

Por la misma naturaleza de la Meteorología del Espacio. Su estudio tiene que ser multi y transdisciplinario y además **multi-instrumental**

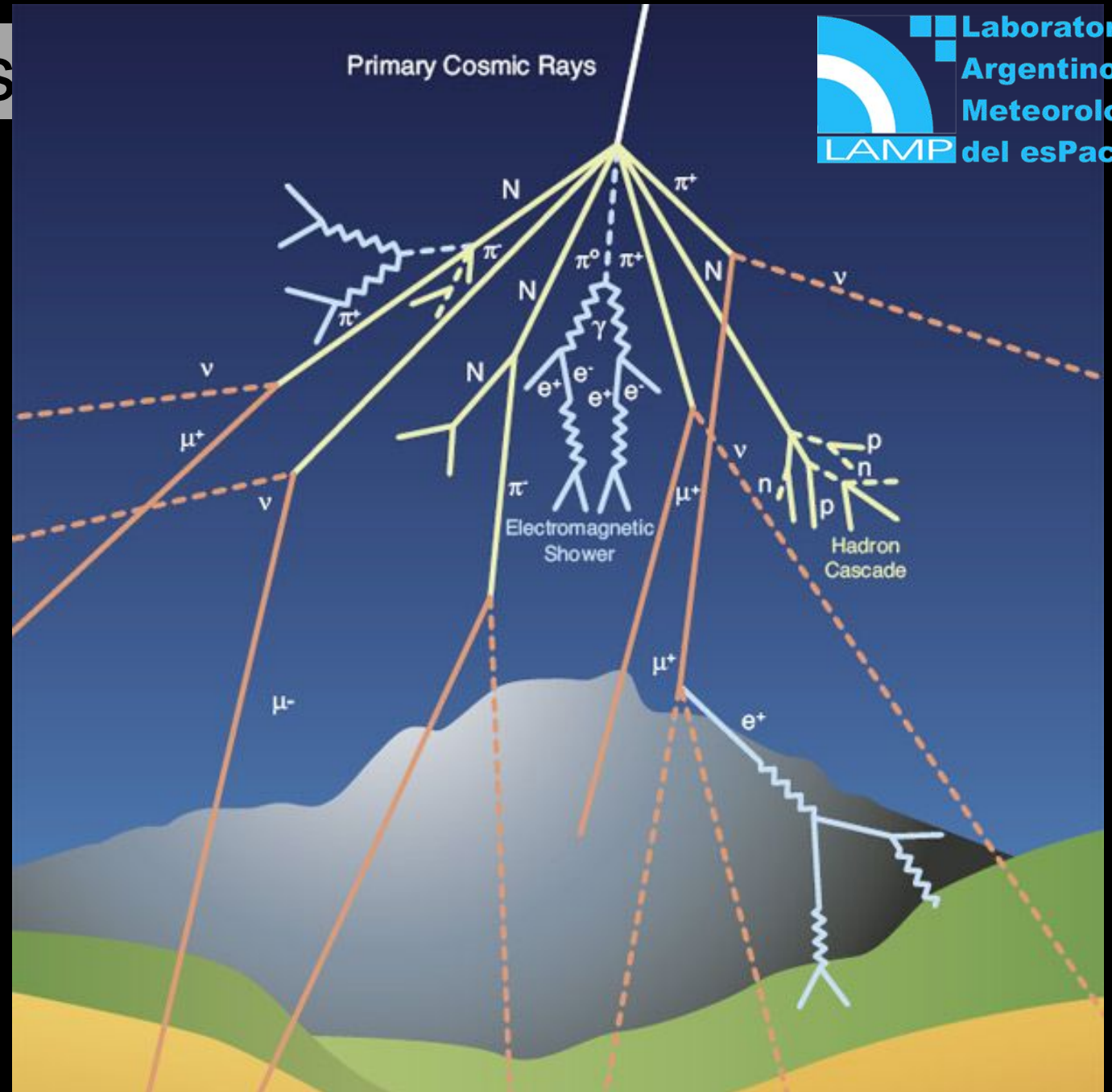
¿Cómo podemos aportar desde LAGO al estudio de la Meteorología del Espacio?

Cascadas atmosféricas



3 componentes

- muónica
- electromagnética
- hadrónica



Variabilidad del conteo de RCs en la superficie de la Tierra

$$\delta_i = \left(\frac{\Delta N}{N_0} \right)^i = \delta_i^{\text{EX}} + \delta_i^{\text{AT}} + \delta_i^{\text{MAG}} + \delta_i^{\text{AP}} + \epsilon_i,$$

La variabilidad en el flujo observado en la superficie puede entenderse como la suma de contribuciones de distintas fuentes: extraterrestres (principalmente solares), atmosféricas, magnetosféricas y propias del aparato de medición.

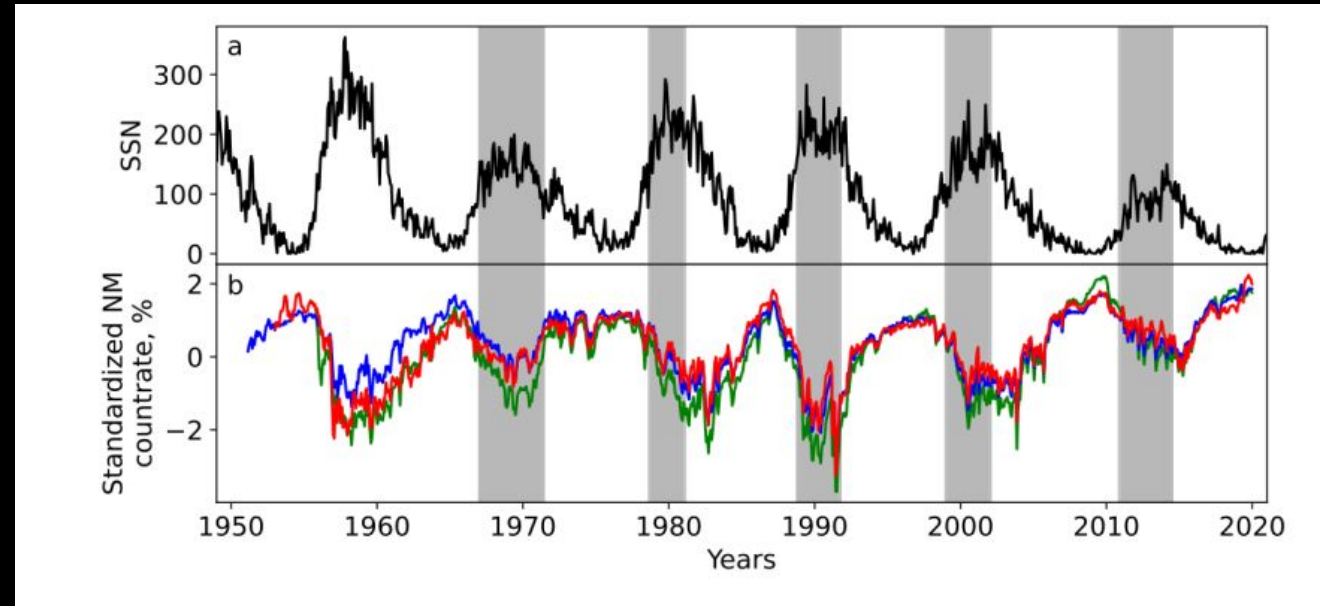
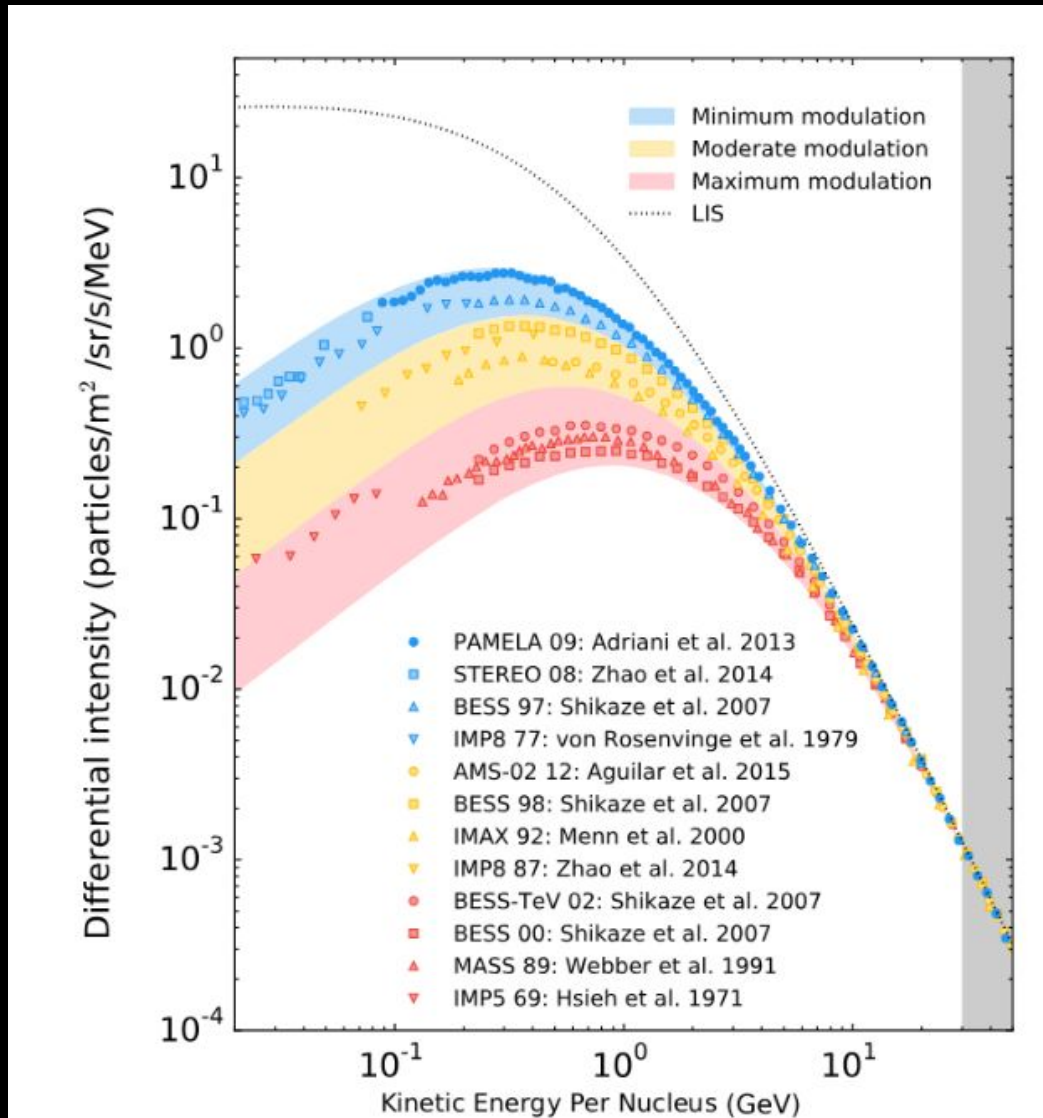
$$\delta_i = \left(\frac{\Delta N}{N_0} \right)^i = \delta_i^{\text{EX}} + \delta_i^{\text{AT}} + \delta_i^{\text{MAG}} + \delta_i^{\text{AP}} + \epsilon_i,$$

Veamos la serie temporal más larga disponible de RC



<https://cosmicrays.oulu.fi/>

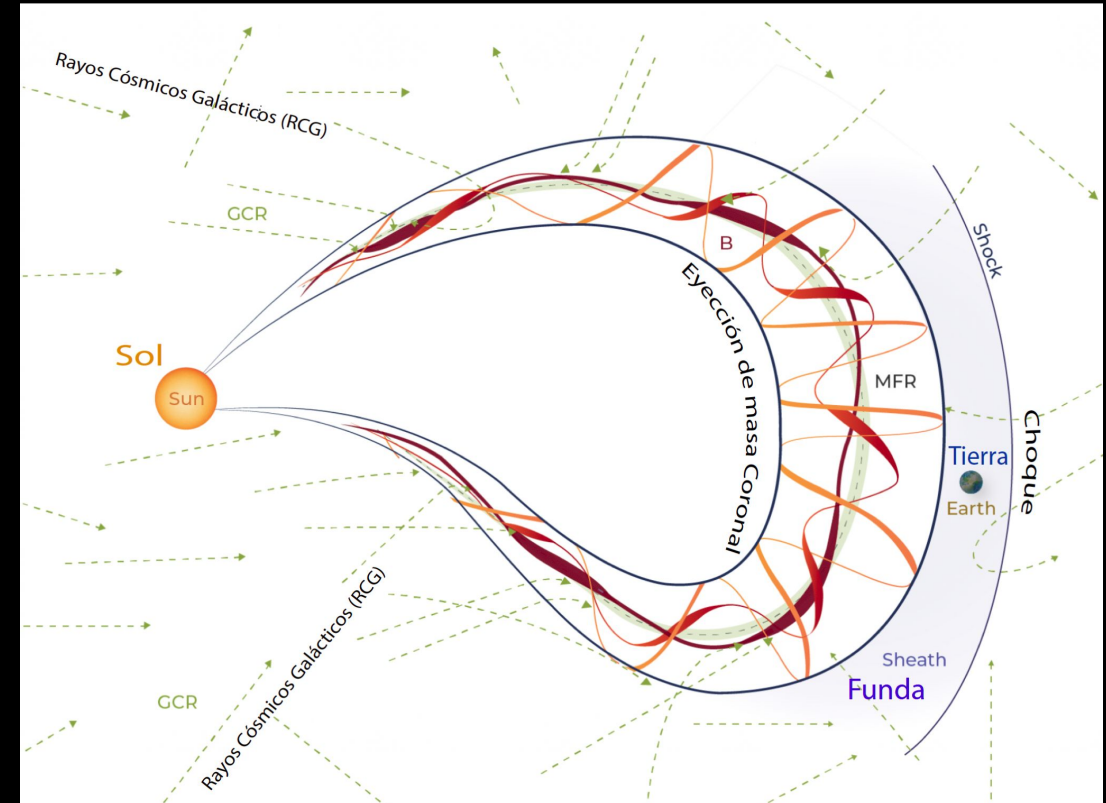
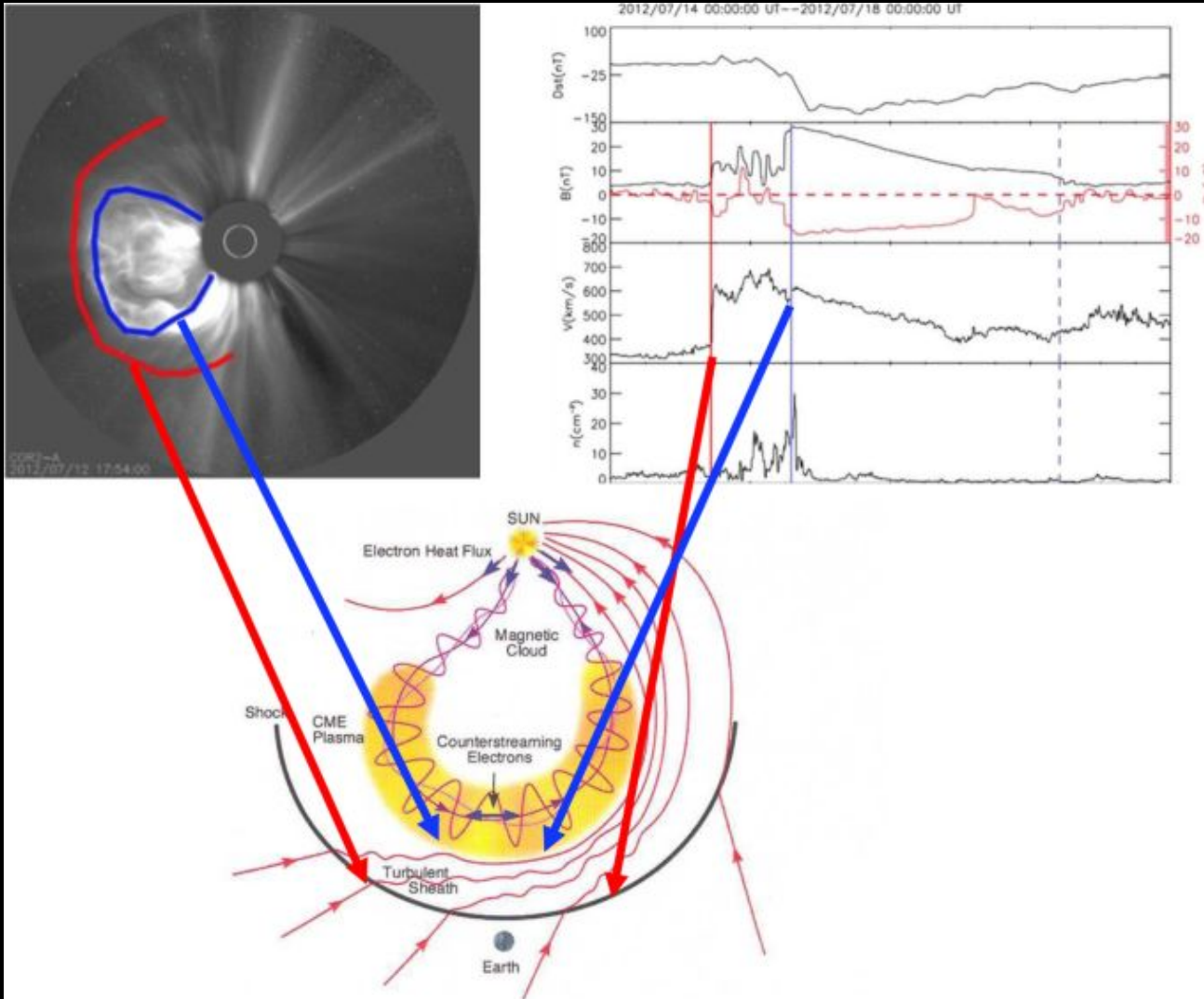
Espectro modulado por la actividad solar



Otras variaciones regulares debido a la actividad solar

- 22 años (ciclo solar)
- 27 días (rotación Solar)
- 1 día (rotación Terrestre)
- etc (Estacionalidad... otros eventos)

Eventos transitorios: eyecciones de masa coronal



Decrecimiento Forbush

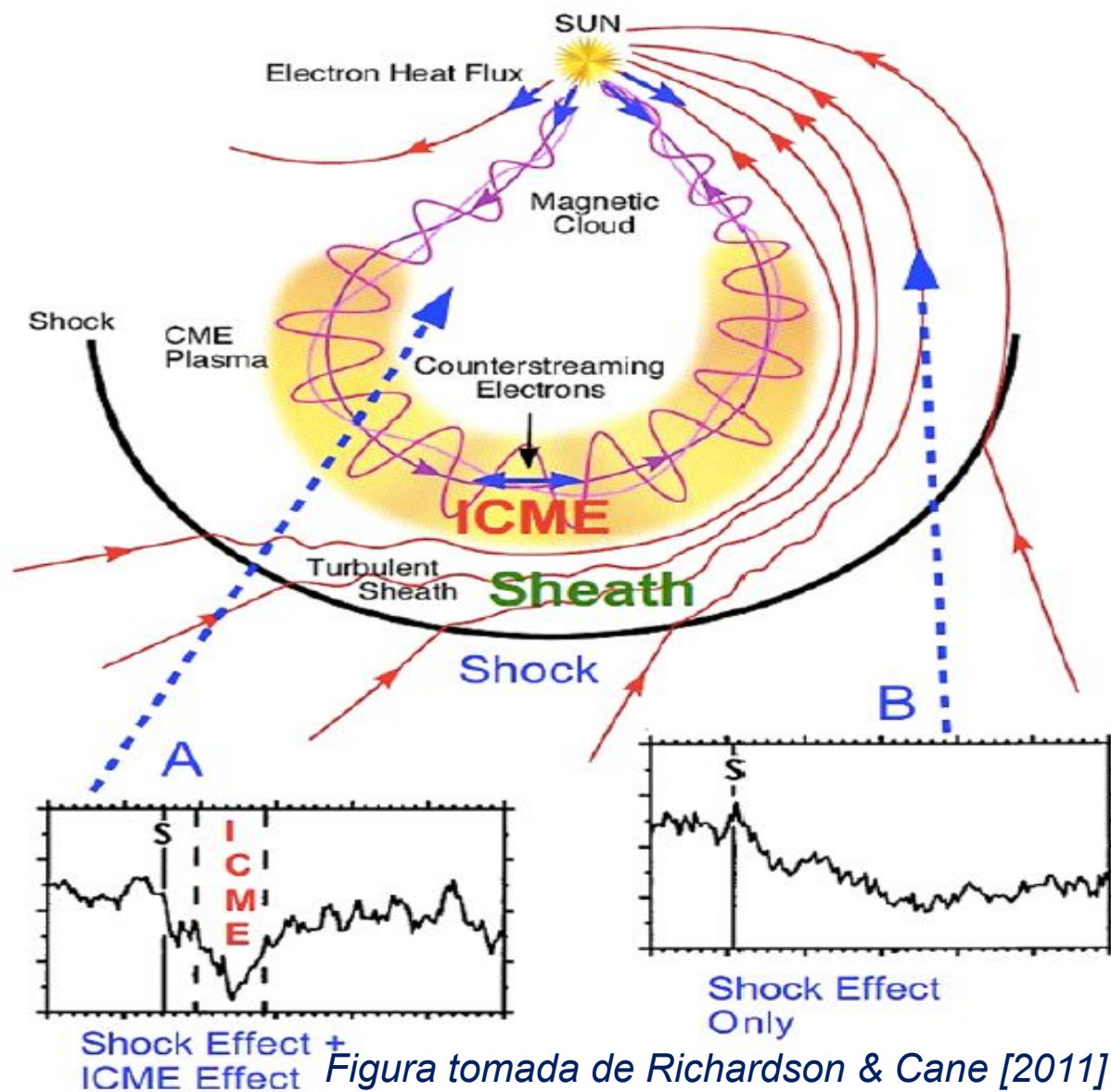


Figura tomada de Richardson & Cane [2011]

CMEs, ICMEs y/o nubes magnéticas: impiden la difusión de los rayos cósmicos dentro de la estructura, lo que se traduce en una disminución de los rayos cósmicos observados en la Tierra

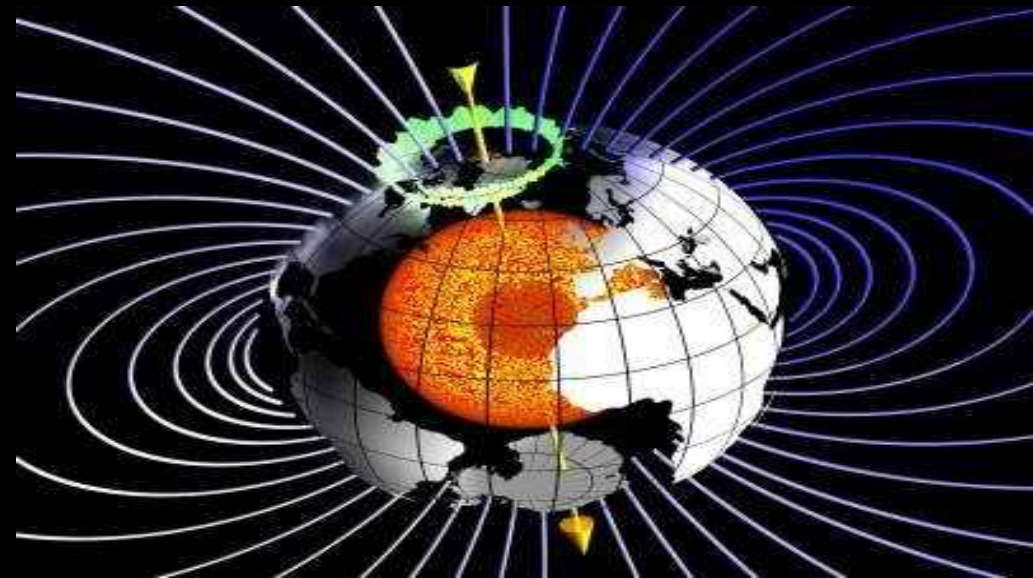
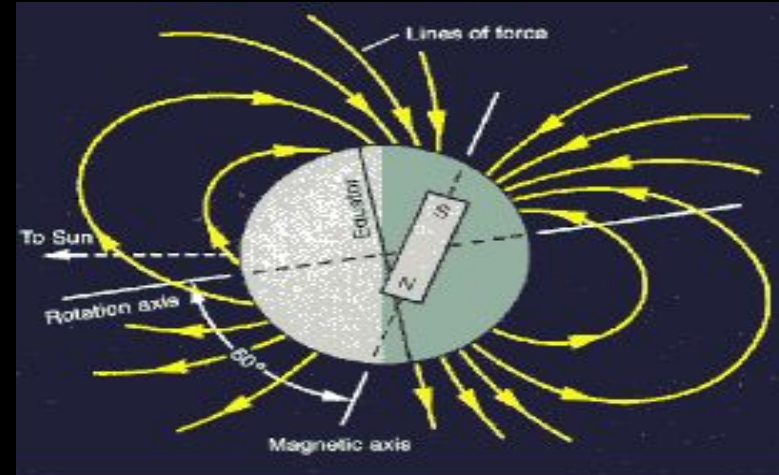
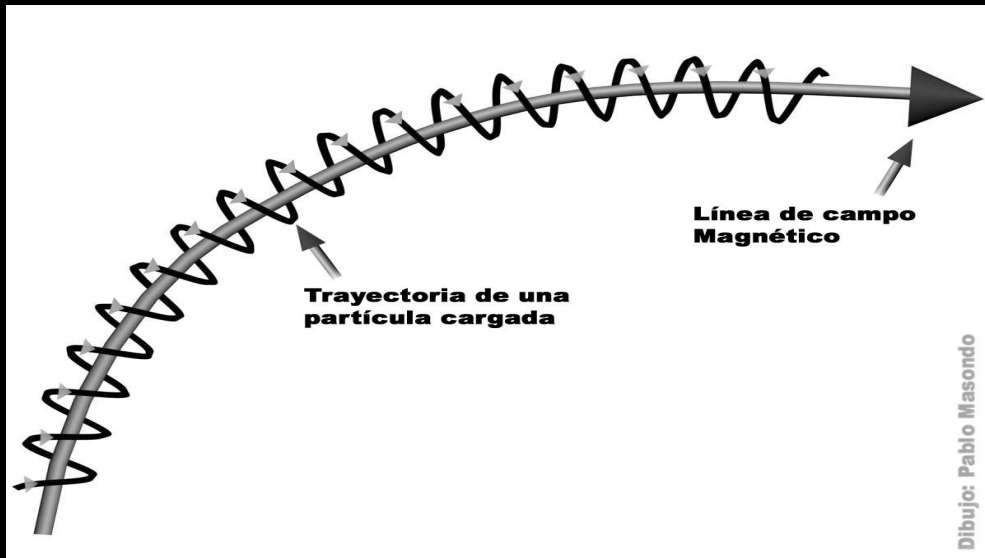
$$\delta_i = \left(\frac{\Delta N}{N_0} \right)^i = \delta_i^{\text{EX}} + \delta_i^{\text{AT}} + \delta_i^{\text{MAG}} + \delta_i^{\text{AP}} + \epsilon_i,$$

Partícula cargada relativista en un campo magnético **B**

$$\frac{d}{dt}(\gamma m_0 \mathbf{v}) = \frac{Ze}{c}(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

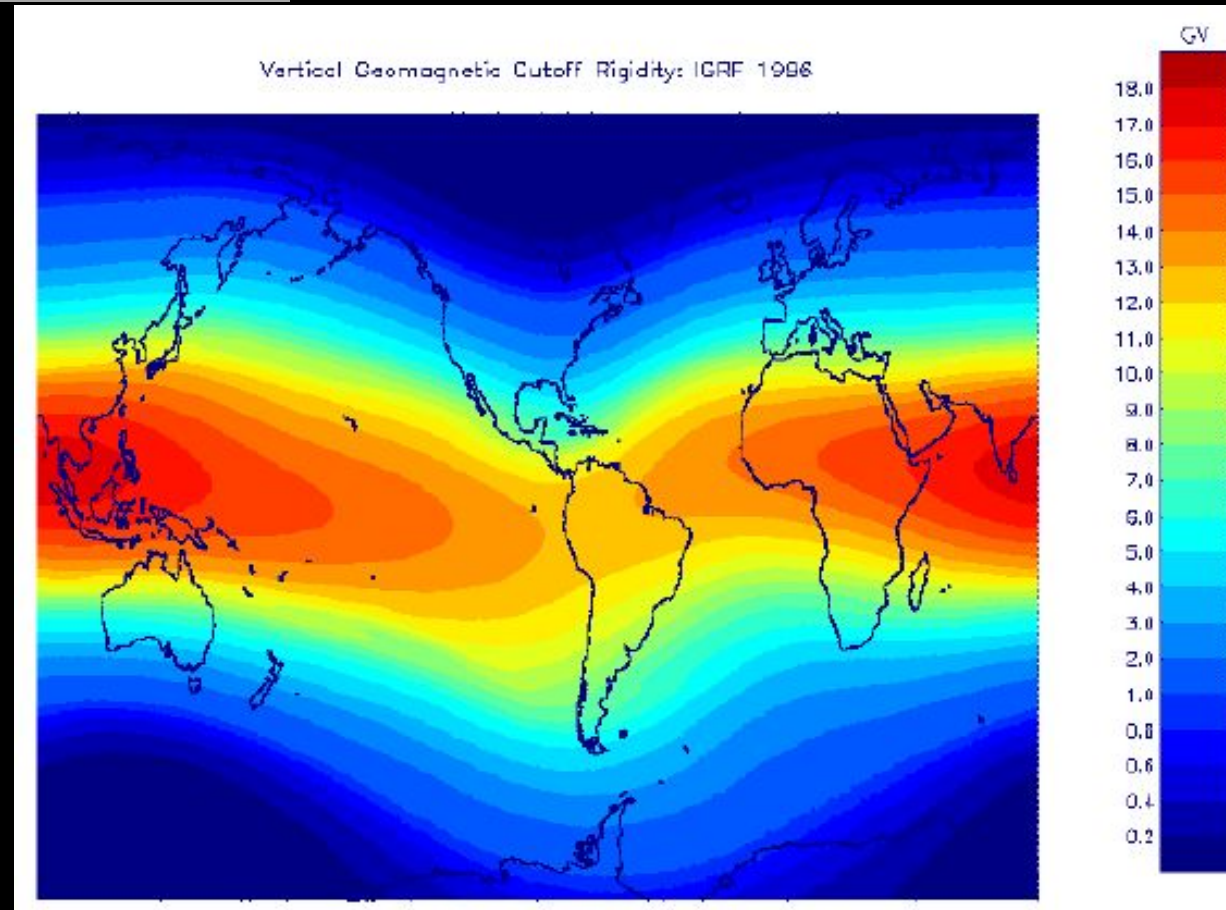
$$R = \frac{pc}{Ze} \quad \text{Rigidez}$$

La trayectoria de partículas cargadas trata de seguir a las líneas de campo magnético



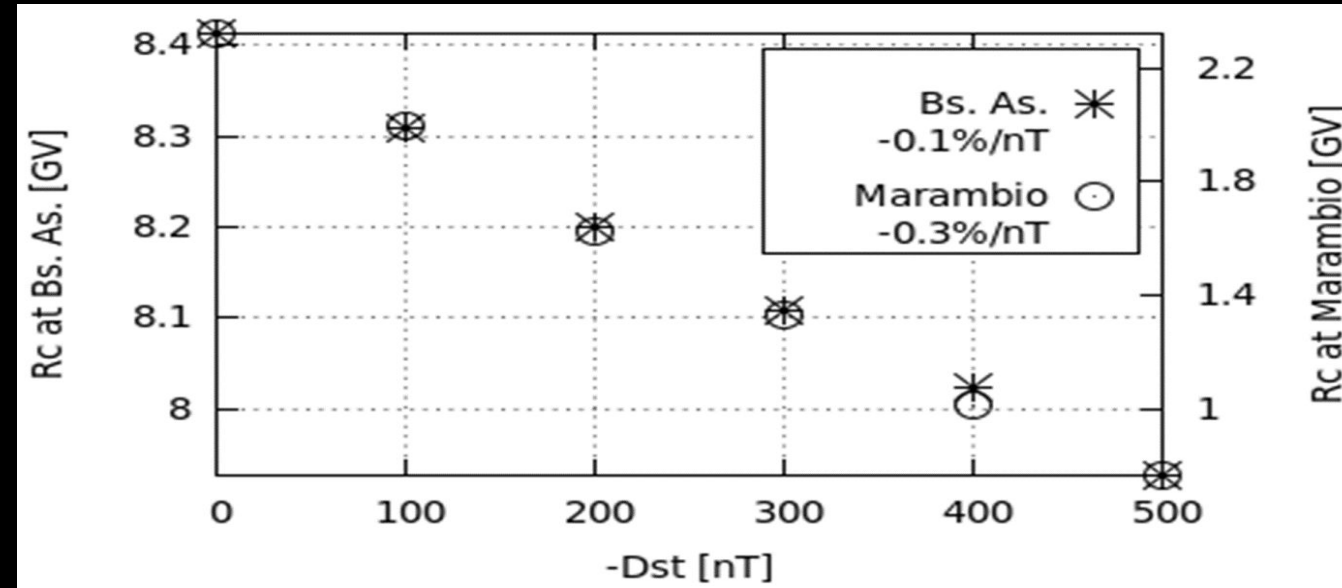
Rigidez de corte vertical

Mínima rigidez que debe tener una partícula para alcanzar la atmósfera de un dado sitio.



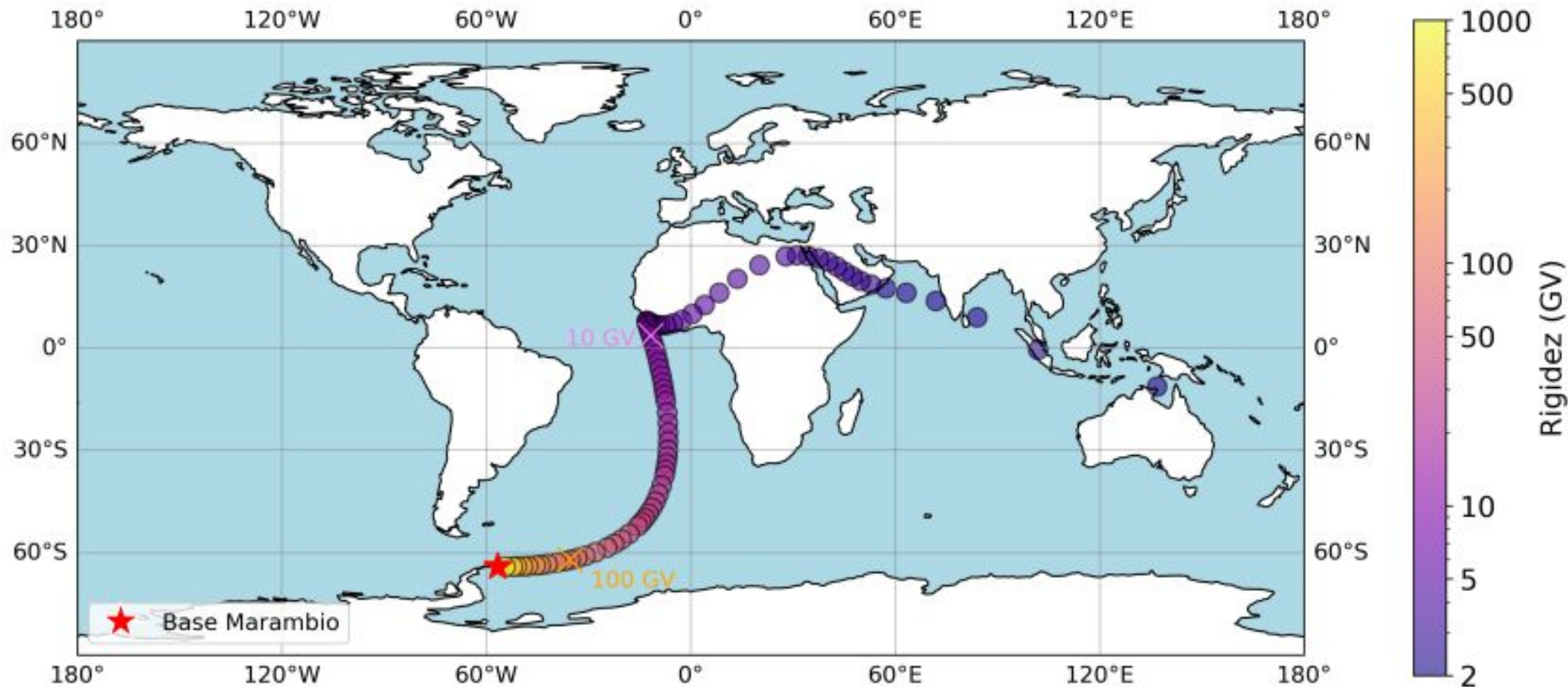
El índice Dst es un buen indicador para determinar la actividad de la magnetosfera, y es usada frecuentemente para cuantificar la intensidad de las llamadas tormentas geomagnéticas, que son Fuertes perturbaciones geomagnéticas, cuyas duraciones típicas son de ~10 horas.

La rigidez de una partícula es $R=cp/q$, donde c es la velocidad de la luz y q la carga eléctrica de la partícula. Se puede calcular una Rc efectiva para una dada localización y la dependencia de Rc con Dst es tal que para actividad geomagnética partículas menos energéticas pueden llegar a nivel del suelo comparado con condiciones calmas.



Evolución de las rigideces de corte efectivas como función del índice Dst; la tasa de decrecimiento lineal es de $\Delta Rc/\Delta Dst = -0.001 \text{ GV/nT}$ en Buenos Aires y de $\Delta Rc/\Delta Dst = -0.003 \text{ GV/nT}$ en Marambio (J. Masías-Meza & S. Dasso, Sun and Geosphere, 2014)

Direcciones asintóticas de Marambio para incidencia vertical (19-04-2020)

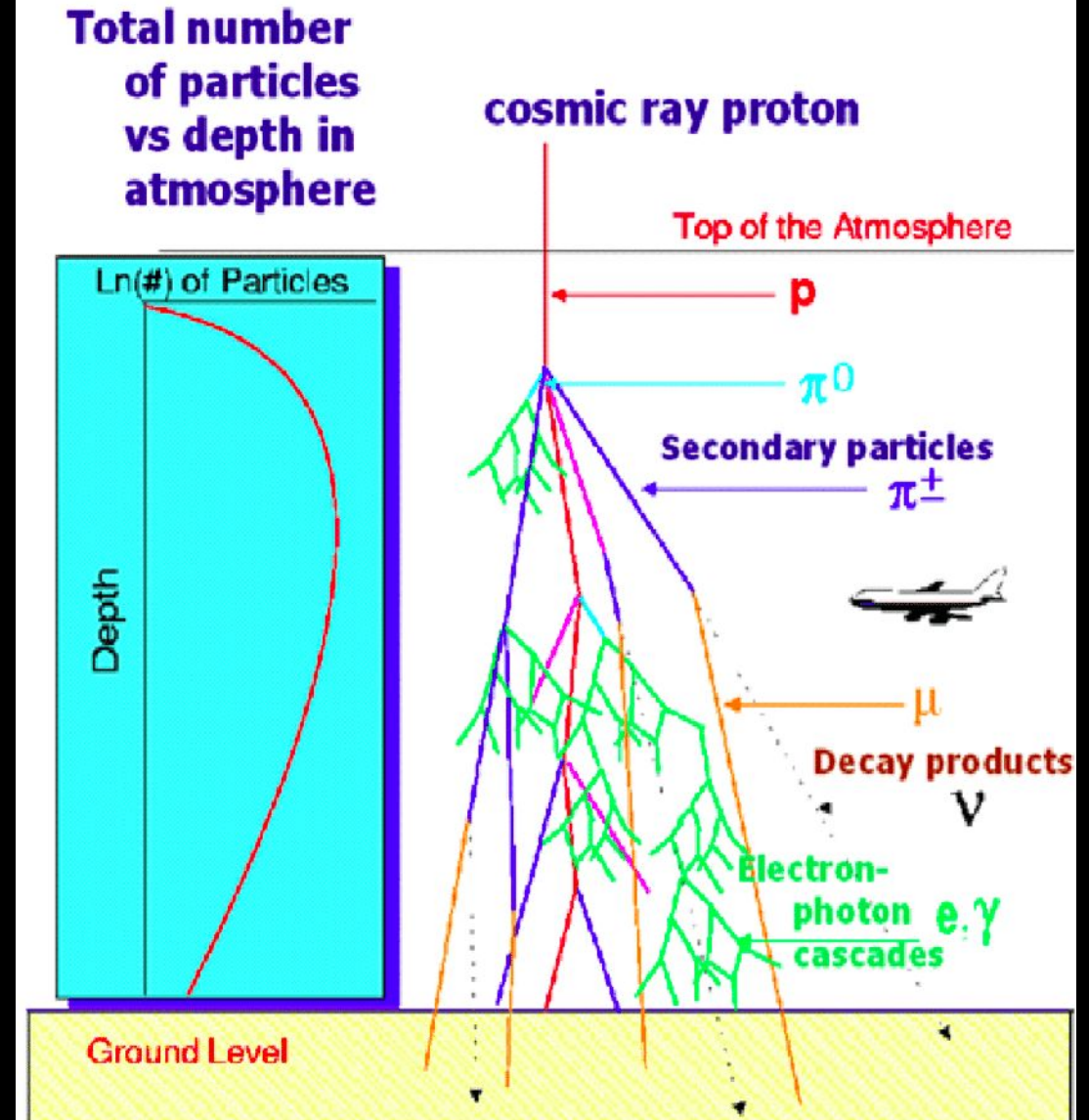


$$\delta_i = \left(\frac{\Delta N}{N_0} \right)^i = \delta_i^{\text{EX}} + \delta_i^{\text{AT}} + \delta_i^{\text{MAG}} + \delta_i^{\text{AP}} + \epsilon_i,$$

Efectos atmosféricos

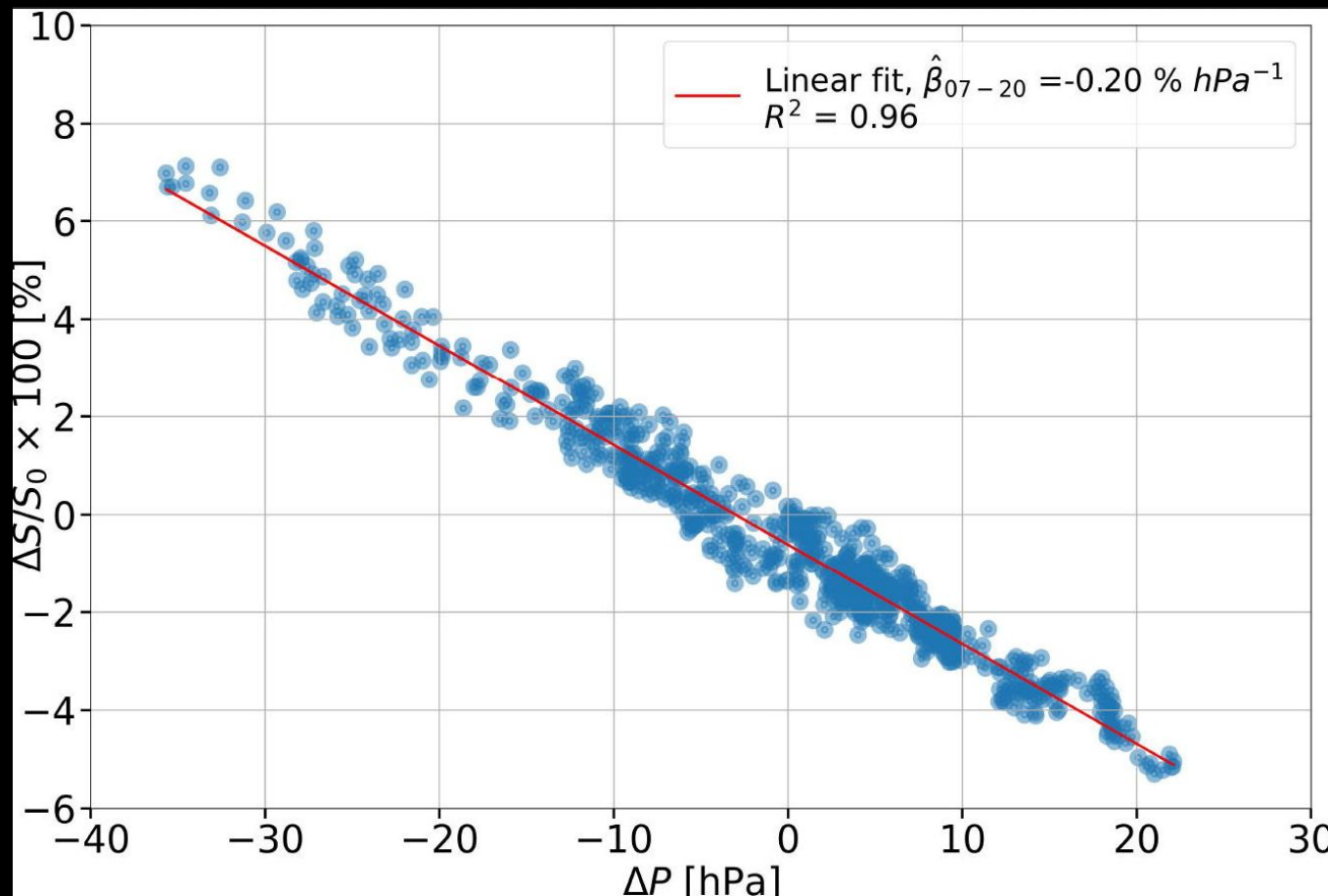
Profundidad atmosférica

$$X(l) = \int_l^{\infty} \rho(l') dl'$$



Presión

Aumento de la presión -> aumento de la profundidad atmosférica -> Menor N



Advances in Space Research
Volume 71, Issue 6, 15 March 2023, Pages 2967-2976



First measurements of periodicities and anisotropies of cosmic ray flux observed with a water-Cherenkov detector at the Marambio Antarctic base

Noelia Ayelén Santos ^a ✉, Sergio Dasso ^{a b c}, Adriana María Gulisano ^{b c d}, Omar Areso ^b,
Matías Pereira ^b, Hernán Asorey ^e, Lucas Rubinstein ^{b f}, for the LAGO collaboration

Atmospheric Variations as observed by IceCube

Serap Tilav^{*}, Paolo Desiati[†], Takao Kuwabara^{*}, Dominick Rocco[‡],
 Florian Rothmaier[‡], Matt Simmons^{*}, Henrike Wissing^{§¶} for the IceCube Collaboration^{||}

^{*} Bartol Research Institute and Dept. of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA.

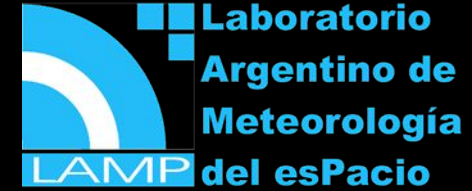
[†] Dept. of Physics, University of Wisconsin, Madison, WI 53706, USA.

[‡] Institute of Physics, University of Mainz, Staudinger Weg 7, D-55099 Mainz, Germany.

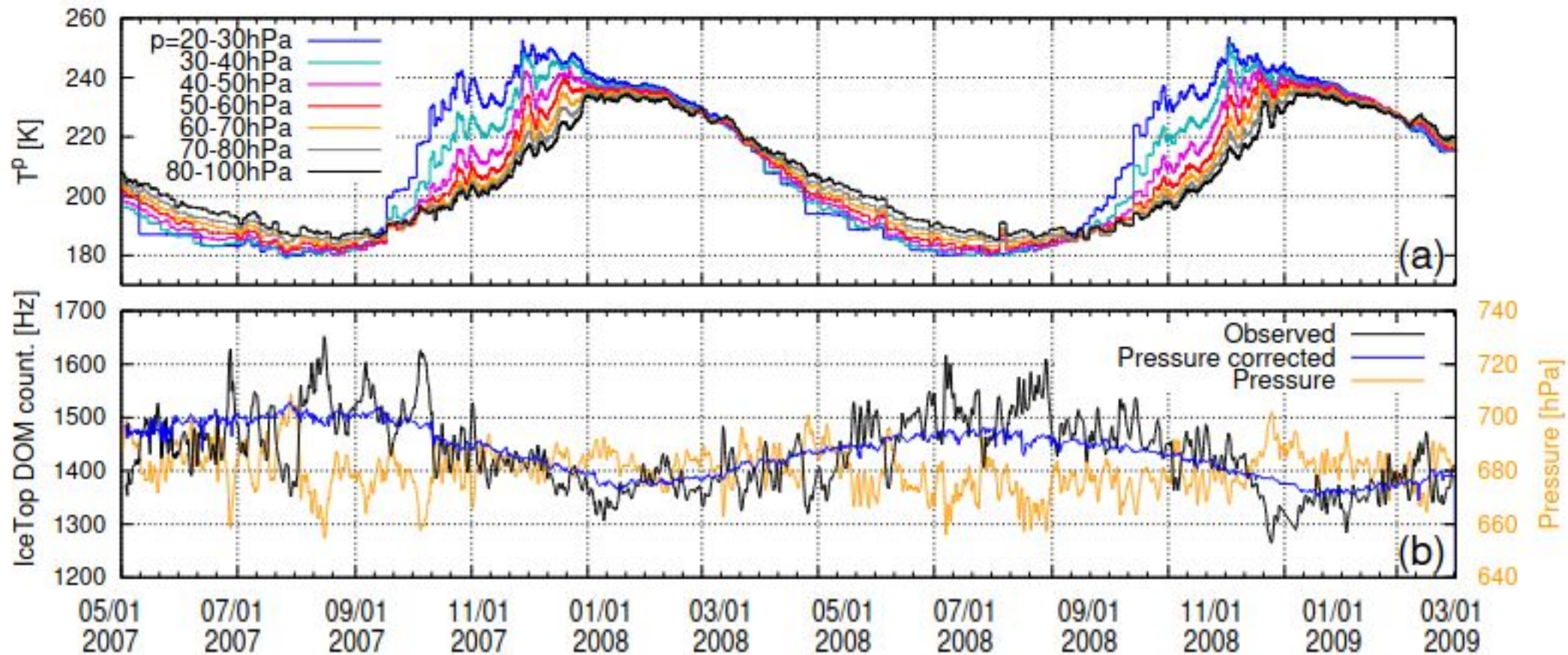
[§] III Physikalisches Institut, RWTH Aachen University, D-52056 Aachen, Germany.

[¶] Dept. of Physics, University of Maryland, College Park, MD 20742, USA.

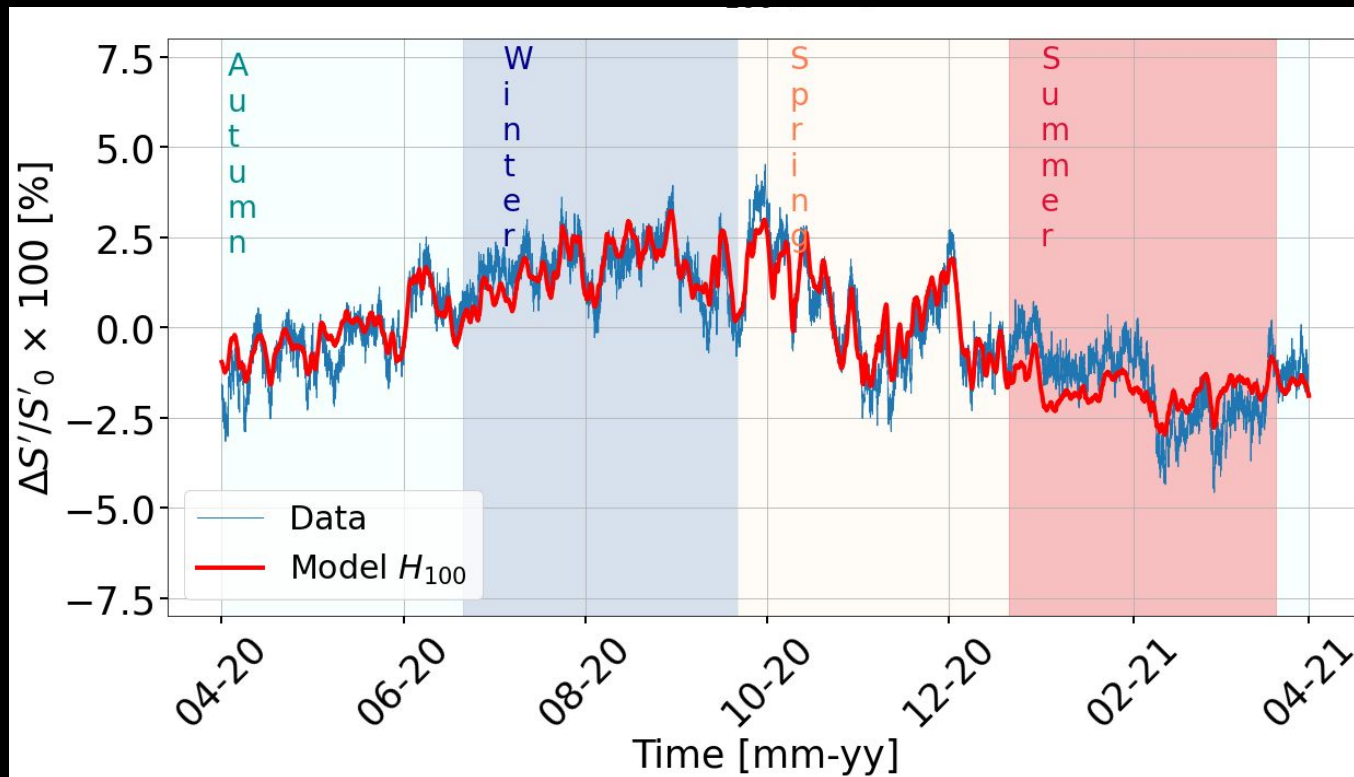
^{||} See the special section of these proceedings



Temperatura



Temperatura



<https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.11.041>



Advances in Space Research
Volume 71, Issue 6, 15 March 2023, Pages 2967-2976



First measurements of periodicities and anisotropies of cosmic ray flux observed with a water-Cherenkov detector at the Marambio Antarctic base

Noelia Ayelén Santos ^a ✉, Sergio Dasso ^{a b c}, Adriana María Gulisano ^{b c d}, Omar Areso ^b, Matías Pereira ^b, Hernán Asorey ^e, Lucas Rubinstein ^{b f}, for the LAGO collaboration

Eventos transitorios en la estratósfera antártica

- Vórtice polar
- Calentamientos estratosféricos repentinos (Sudden stratospheric warming)

<https://arxiv.org/pdf/1001.0776>

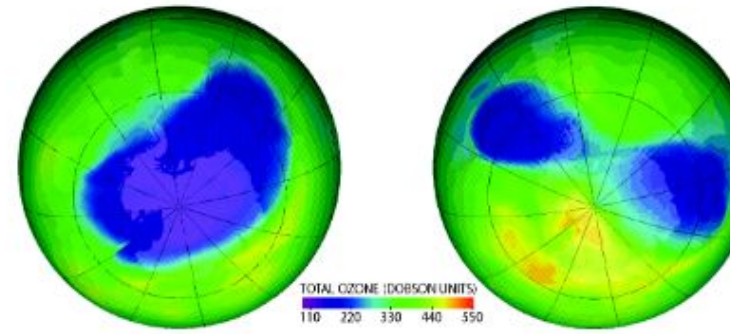


Fig. 3. Ozone concentration over the southern hemisphere on September 20th 2002 (left) and September 25th 2002 (right) [10].

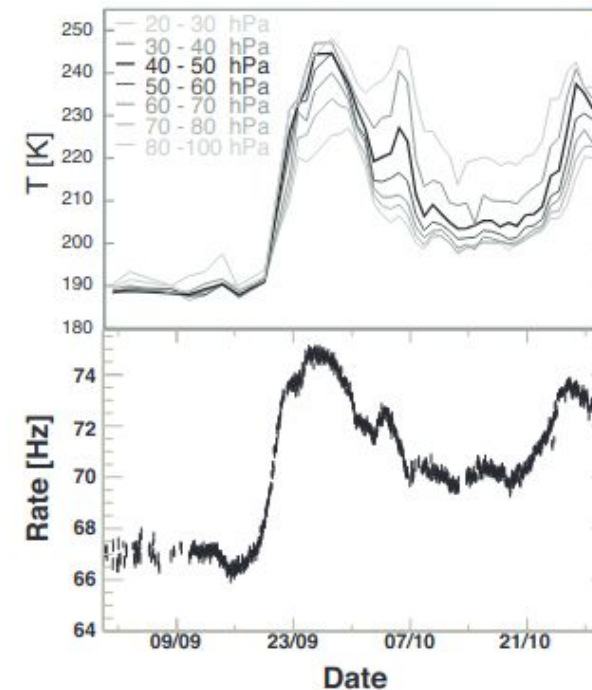


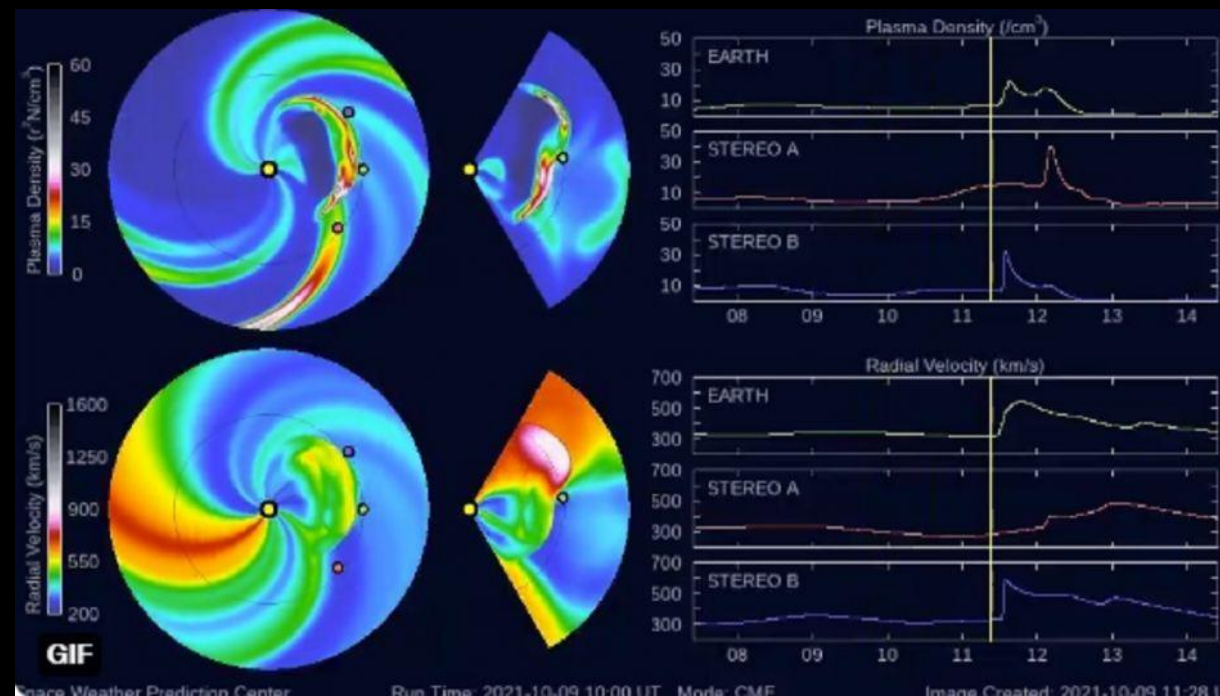
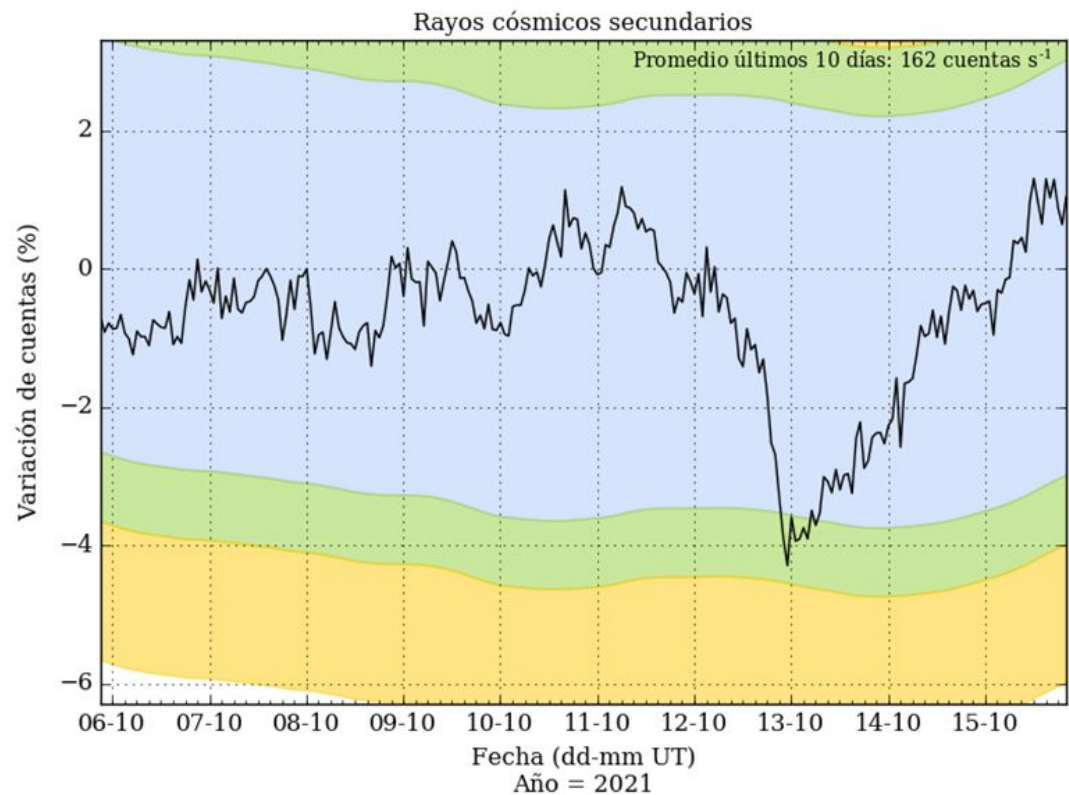
Fig. 4. Average temperatures in various atmospheric layers over the South Pole (top) and deep ice muon rate recorded with the AMANDA-II detector (bottom) during the Antarctic ozone hole split of September-October 2002.

decrecimiento Forbush debido CME dirigida hacia la Tierra que arribó el 11 de Octubre de 2021

http://spaceweather.at.fcen.uba.ar/2/r_cosmicos.html

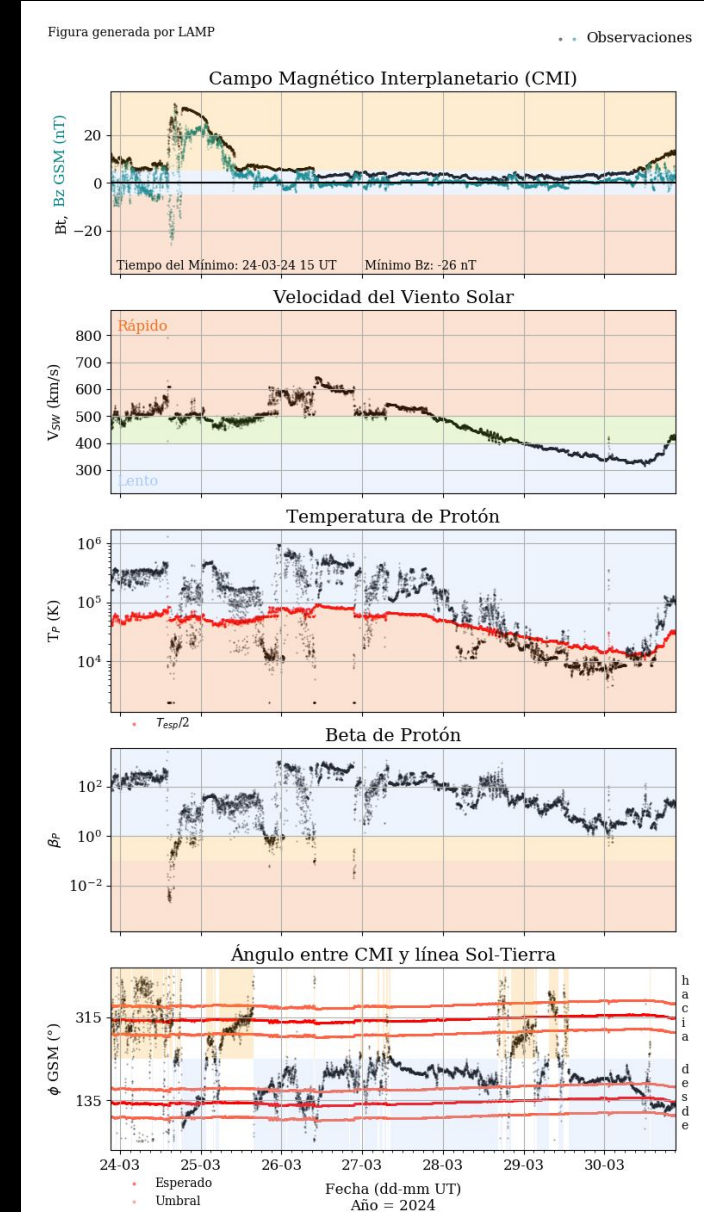
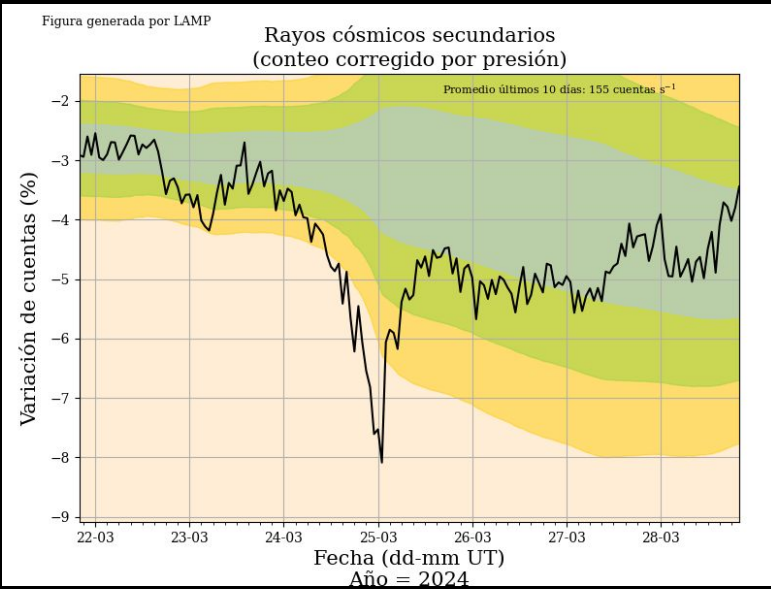
eyección de masa coronal (CME) dirigiéndose hacia la Tierra, el 11 de octubre causando una tormenta geomagnética. El origen de esta tormenta proviene de la mancha solar activa AR2882 que produjo una gran llamarada solar de clase M1.6 y una eyección de esta CME dirigida a nuestro planeta.

Figura generada por LAMP



Flujo de Rayos C3smicos

Medio Interplanetario



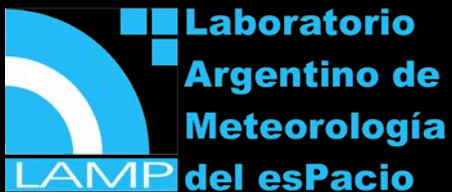
Noelia Santos PHD Thesis in progress

Base Marambio

Base San Mart3n

El decrecimiento Forbush del 24 de Marzo 2024
¡fue observado por ambos nodos!

Por encima y por debajo del c3rculo polar.



Dorsch B. MSc Thesis (2021), {Bolet3n de la Asociaci3n Argentina de Astronom3a, Vol. 63, pp. 18-20 (2022) & vol. 62, p.10-12 (2021)}

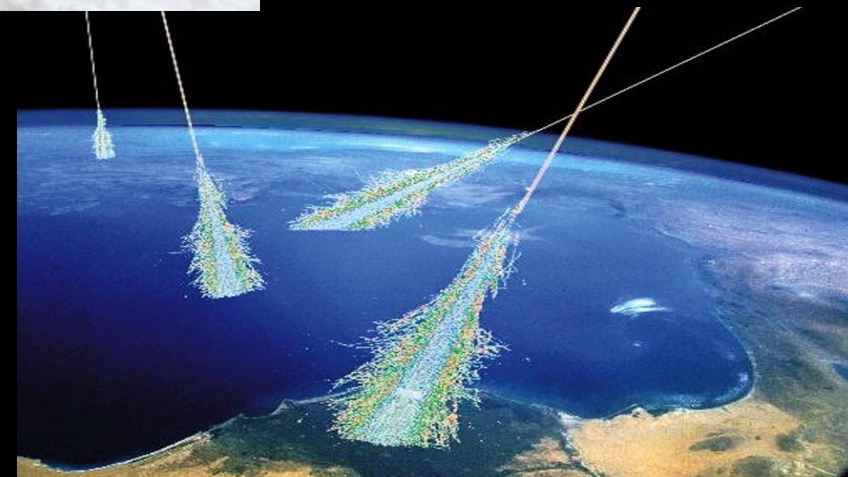
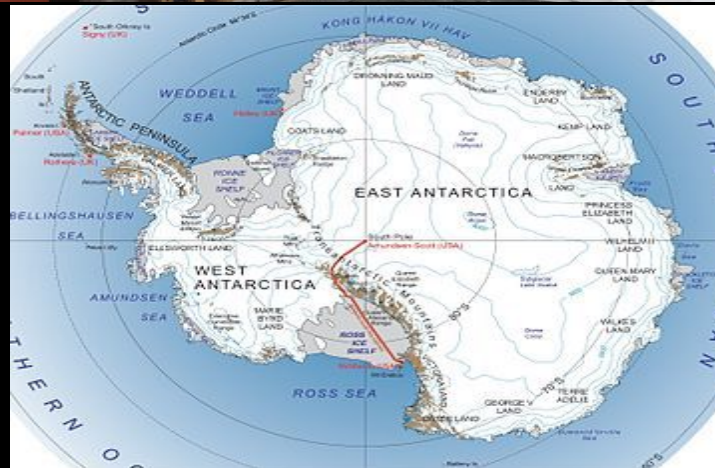
Data from [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/lists/ace2/](http://ftp.swpc.noaa.gov/pub/lists/ace2/)

NEWRUS (NEW antarctic cosmic Rays detector to Use in Space weather) =Nuevo detector Antártico para uso en Meteorología del Espacio

El primer nodo del Observatorio Antártico Argentino de Meteorología del Espacio fue instalado en la campaña 2018-2019 (Enero a Marzo) Se instalaron diferentes instrumentos: un detector de partículas (NEWRUS), una estación meteorológica, magnetómetro, etc. NEWRUS forma parte de los nodos LAGO (detectores Cherenkov en agua)



Laboratorio
Argentino de
Meteorología del
esPacio



Acondicionamiento del primer laboratorio



El Primer nodo del Observatorio Antártico Argentino Meteorología del Espacio Innaugurado el día de la Antártida Argentina



Etapas del despliegue del segundo nodo del observatorio en Base San Martín

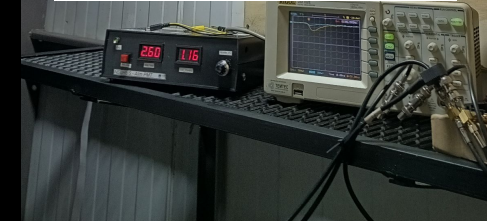
Laboratorio
Argentino de
Meteorología
del espacio
LAMP



Armado de la estructura del edificio
dotación y Nuestro Grupo (Omar
Areso, Matías Pereira y Lucas Rubinstein)



Laboratorio Argentino de Meteorología LAMP del esPacio





Base Belgrano II

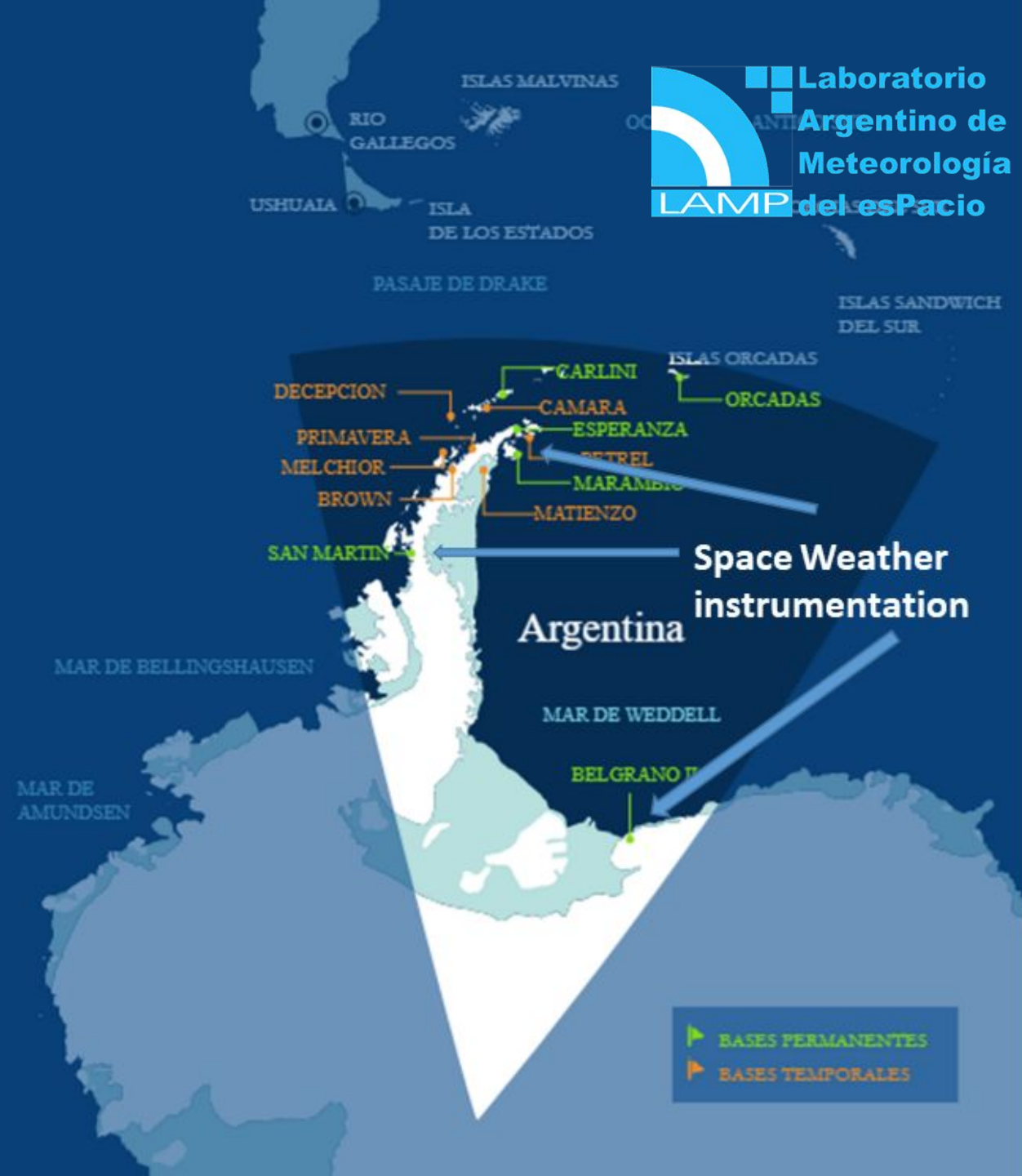
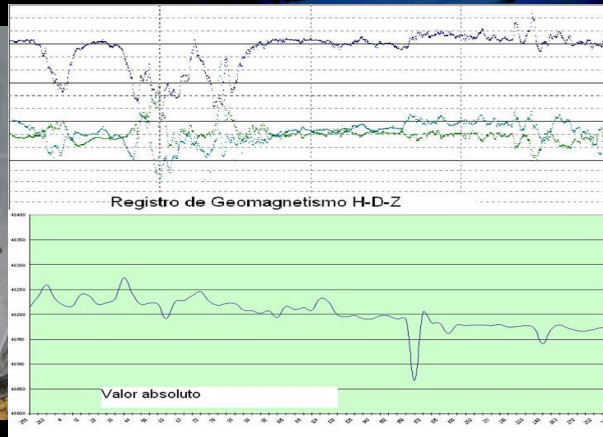
77° 52' 28" S, 34° 37' 37" W

Magnetómetro Fluxgate EDA FM

Riómetro La Jolla Science sintonizado a 30 MHz

Sondador ionosférico IPS42 Mca. KEL Aerospace

Magnetómetro Protónico





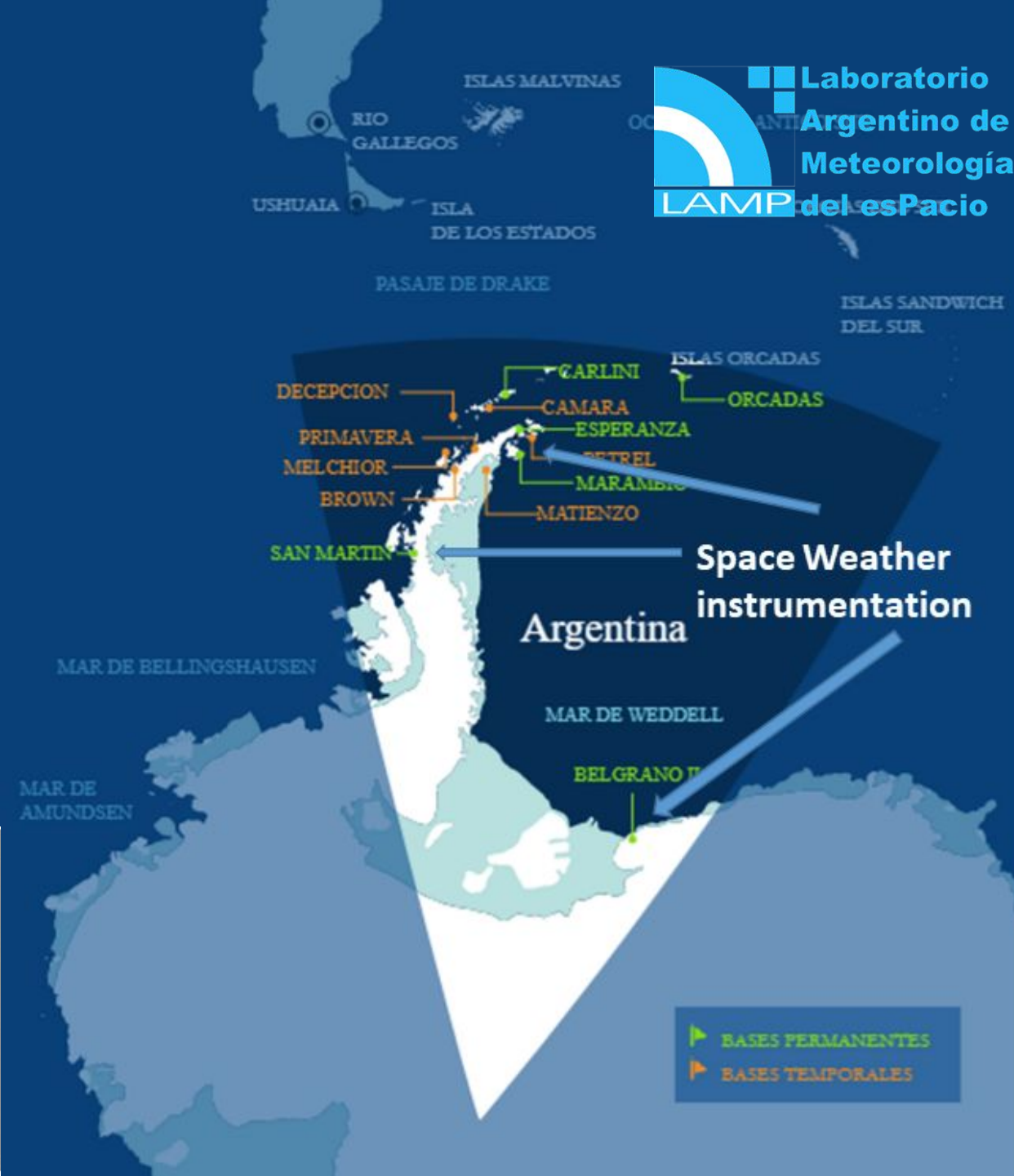
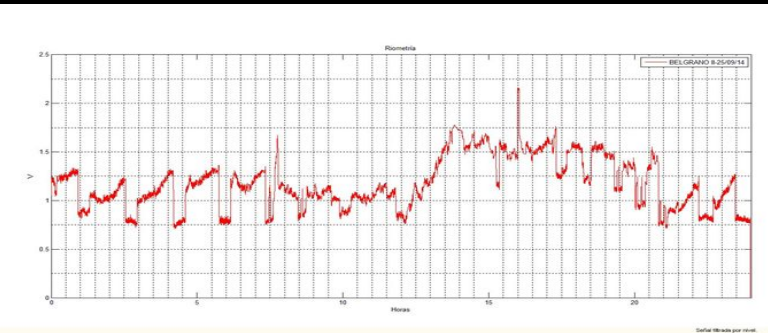
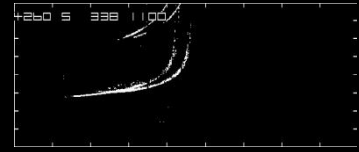
Base San Martín (68°07'48"S 67°06'09"W)

Magnetómetro Fluxgate EDA FM 105B

Riómetro La Jolla Science sintonizado a 30Mhz.

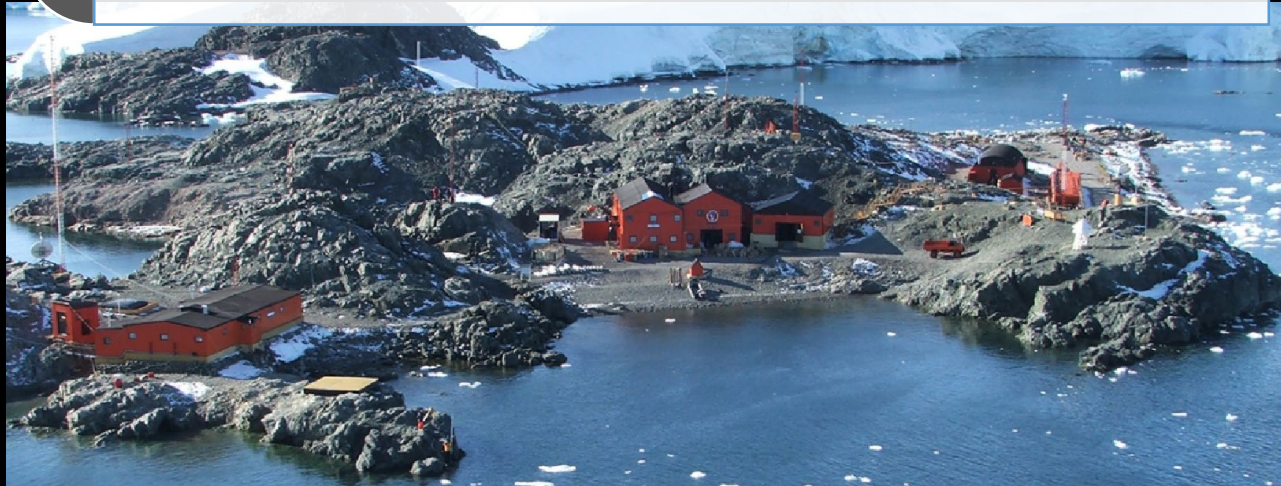
Sondador Ionosférico IPS42 Mca. KEL

Aerospace



LAMP: Nuevas capacidades

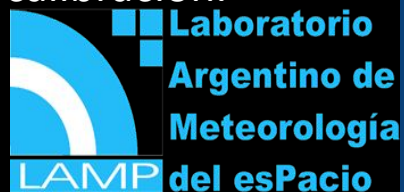
Además de la instrumentación ya existente en estas bases Antárticas Argentinas



Base San Martín (68°07'48"S 67°06'09"W)

Argentine Antarctic Space Weather Observatory: AASWO (Observatorio Argentino Antártico de Meteorología del Espacio)

- El primer nodo está operando desde 2019 en Marambio
Rigidez de corte de 2.3 GV
- Segundo nodo fue instalado esta campaña de verano 2024 en Base San Martín y se encuentra en fase de calibración.
Rigidez de corte de 1.69 GV



Rayos C3smicos y eventos Forbush (Octubre 2024, Ant3rtida)

Figura generada por LAMP

Rayos c3smicos secundarios en Marambio
(conteo corregido por presi3n)

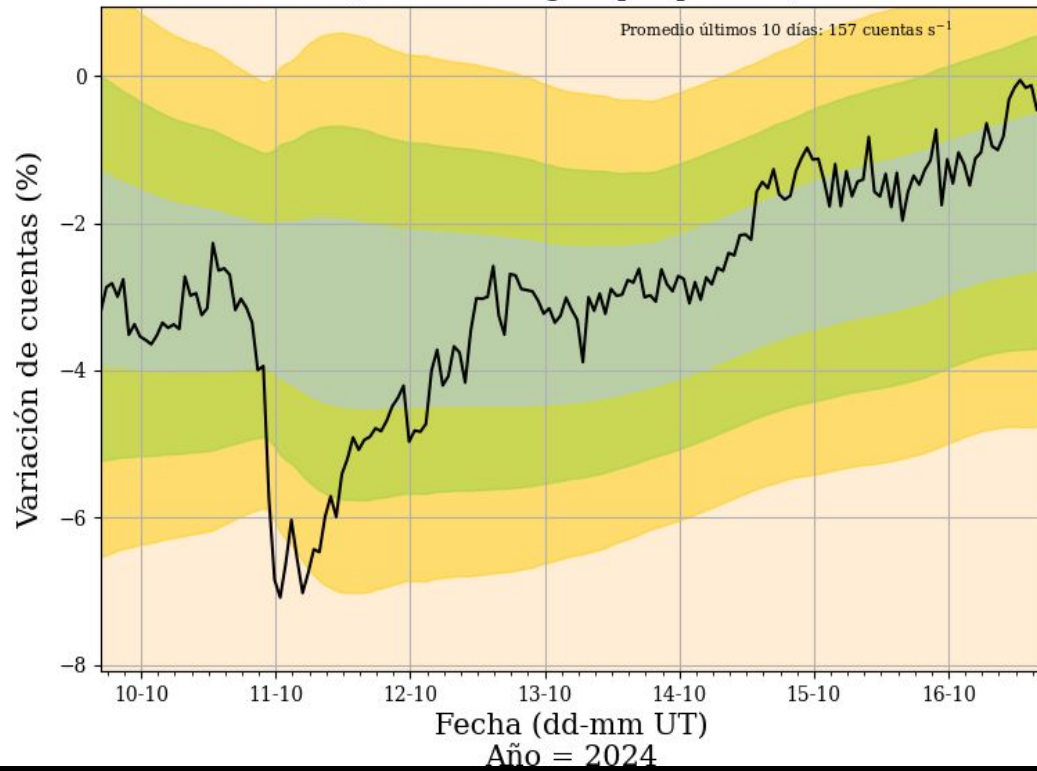
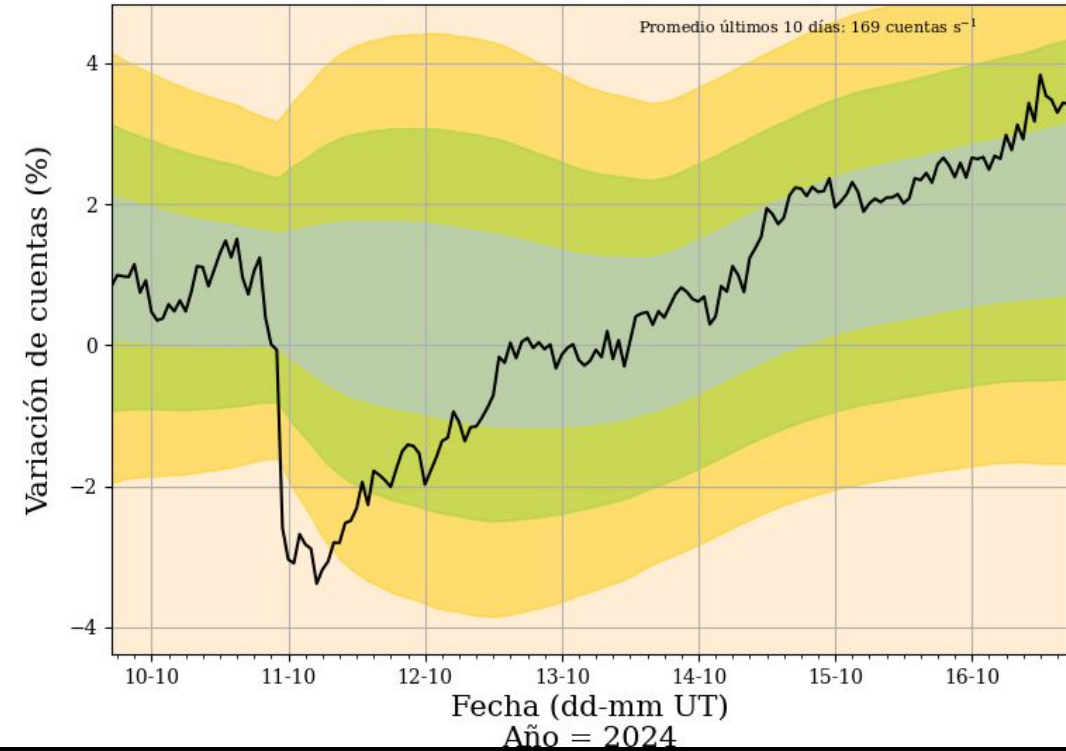
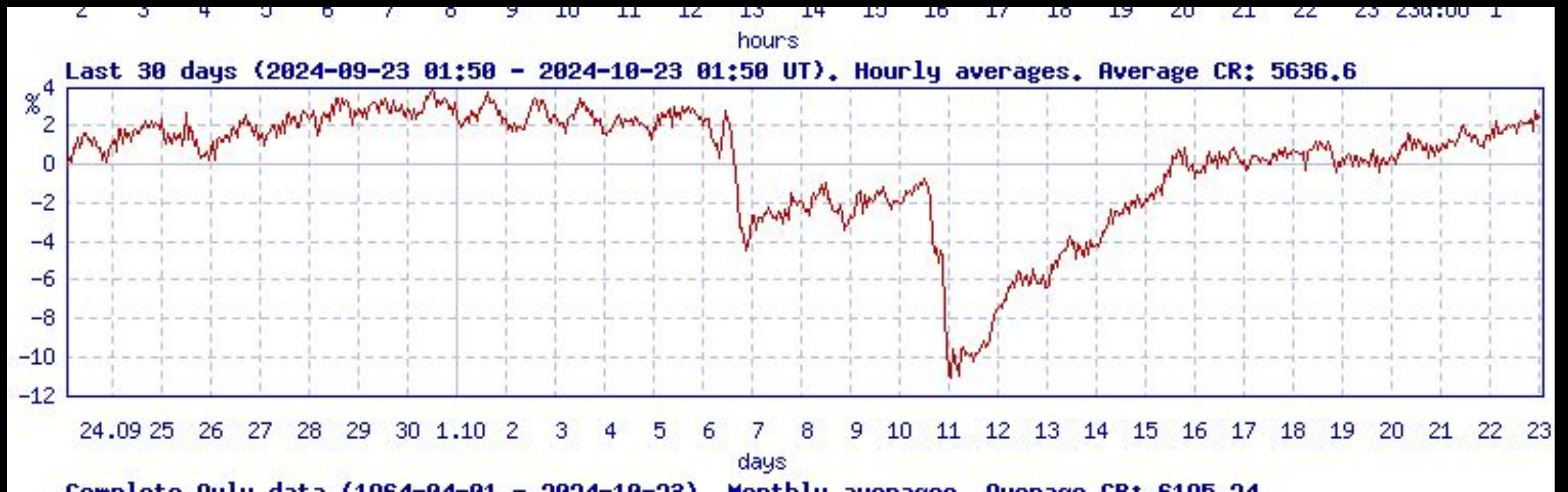


Figura generada por LAMP

Rayos c3smicos secundarios en San Mart3n
(conteo corregido por presi3n)



Observación del mismo evento por otro detector (monitor de neutrones)



<https://cosmicrays oulu.fi/>

Meteorología del Espacio

Tormentas geomagnéticas

Tormentas de radiación solar

Bloqueos de radio

Reporte NOAA del evento del 11 de Octubre

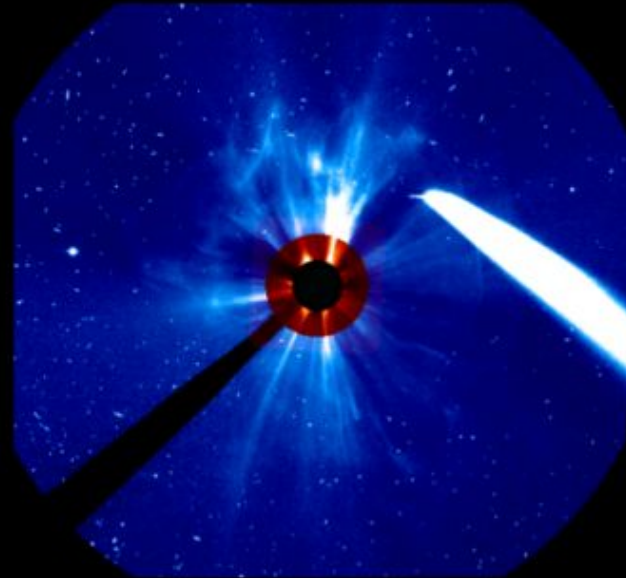


Geomagnetic Storm WATCH for Oct 10-11 UTC-days



Updated
Oct 9, 2024
0730 MST/MDT

WHAT: A CME will quite likely arrive at Earth and lead to highly elevated geomagnetic activity



EVENT:

A coronal mass ejection (CME) is an eruption of solar material and magnetic fields. When they arrive at Earth, a geomagnetic storm can result. Watches at this level are very rare.

EXPECTATION:

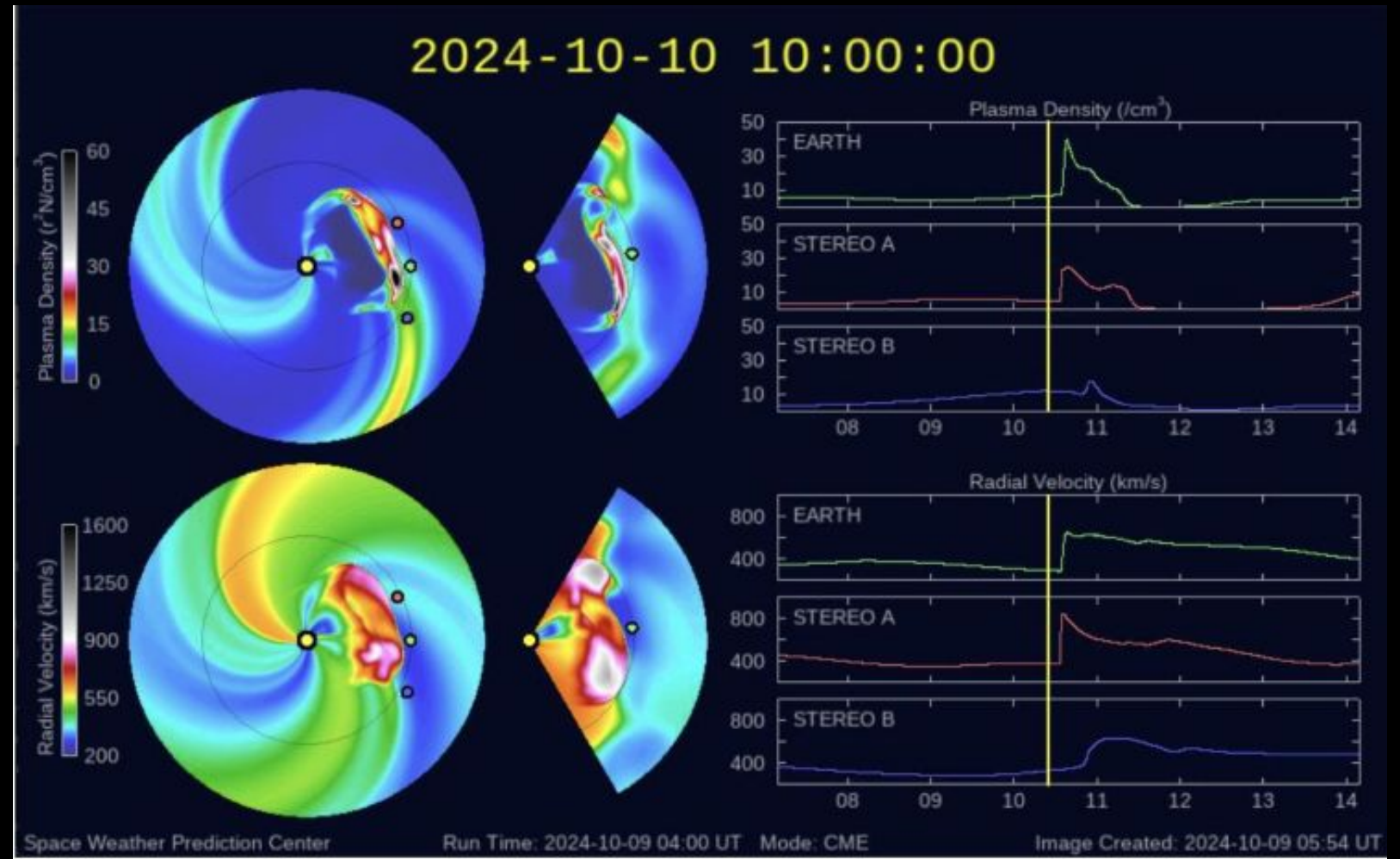
A CME is anticipated to arrive at and impact Earth with the potential for elevated geomagnetic response and dependant upon the orientation of the embedded magnetic field, potential exists for Strong Storm levels.

EFFECTS:

Detrimental impacts to some of our critical infrastructure technology are possible, but mitigation is possible. The general public should visit our webpage to keep properly informed. The aurora may become visible over much of the northern half of the country, and maybe as far south as Alabama to northern California.

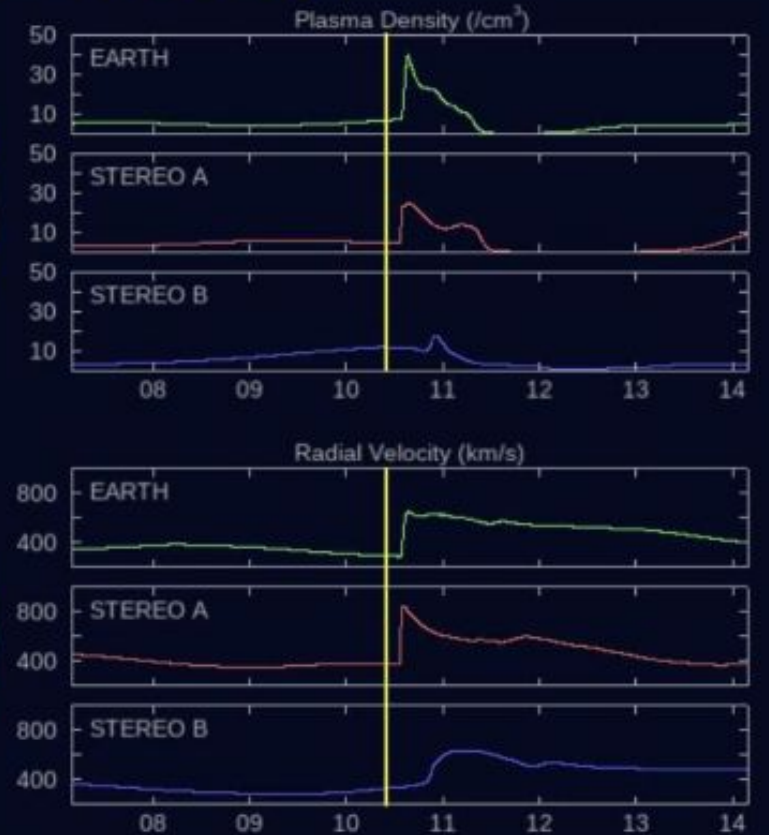
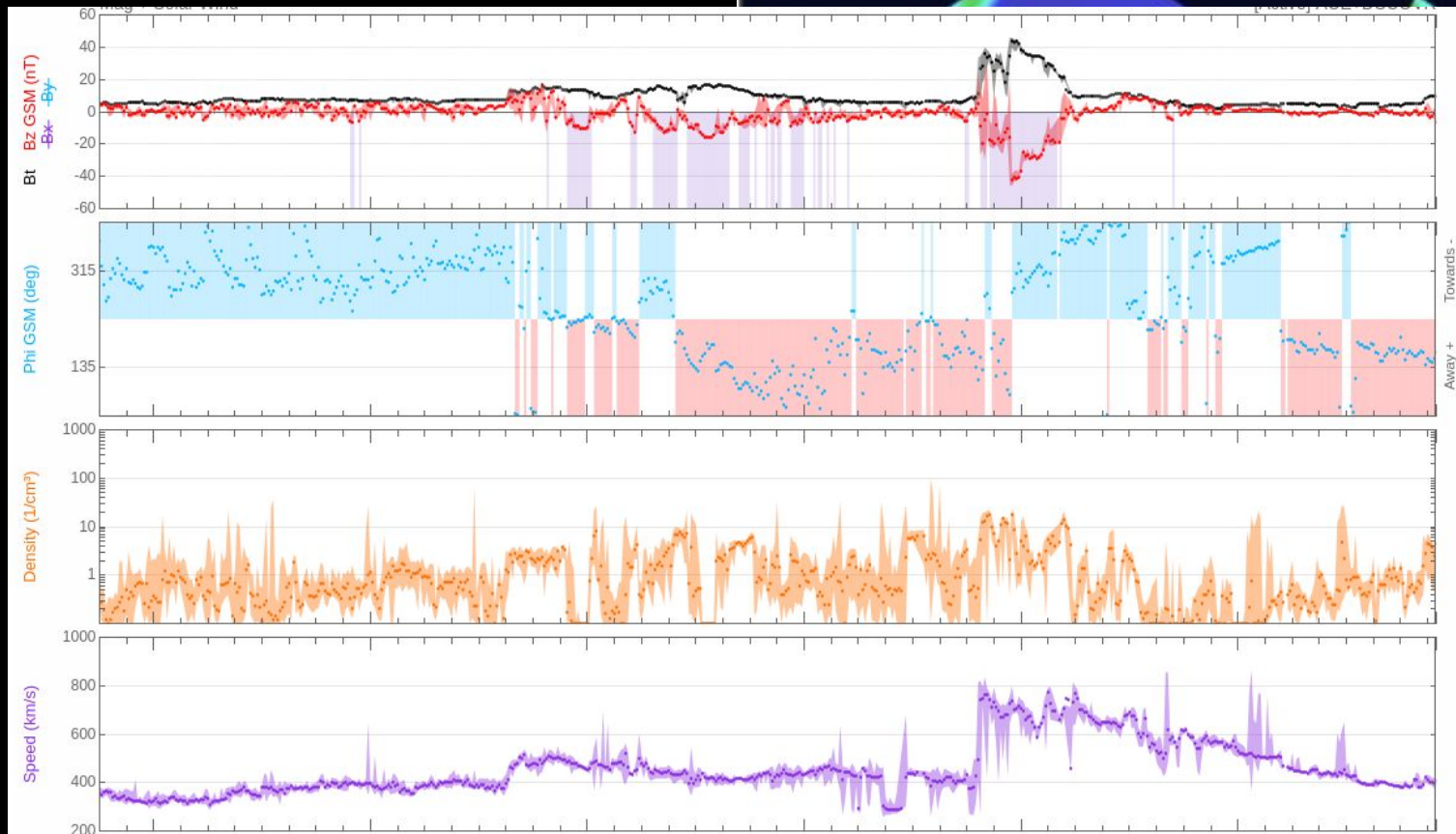
<https://www.swpc.noaa.gov/>

Heliosfera (simulación)



Heliosfera (observación)

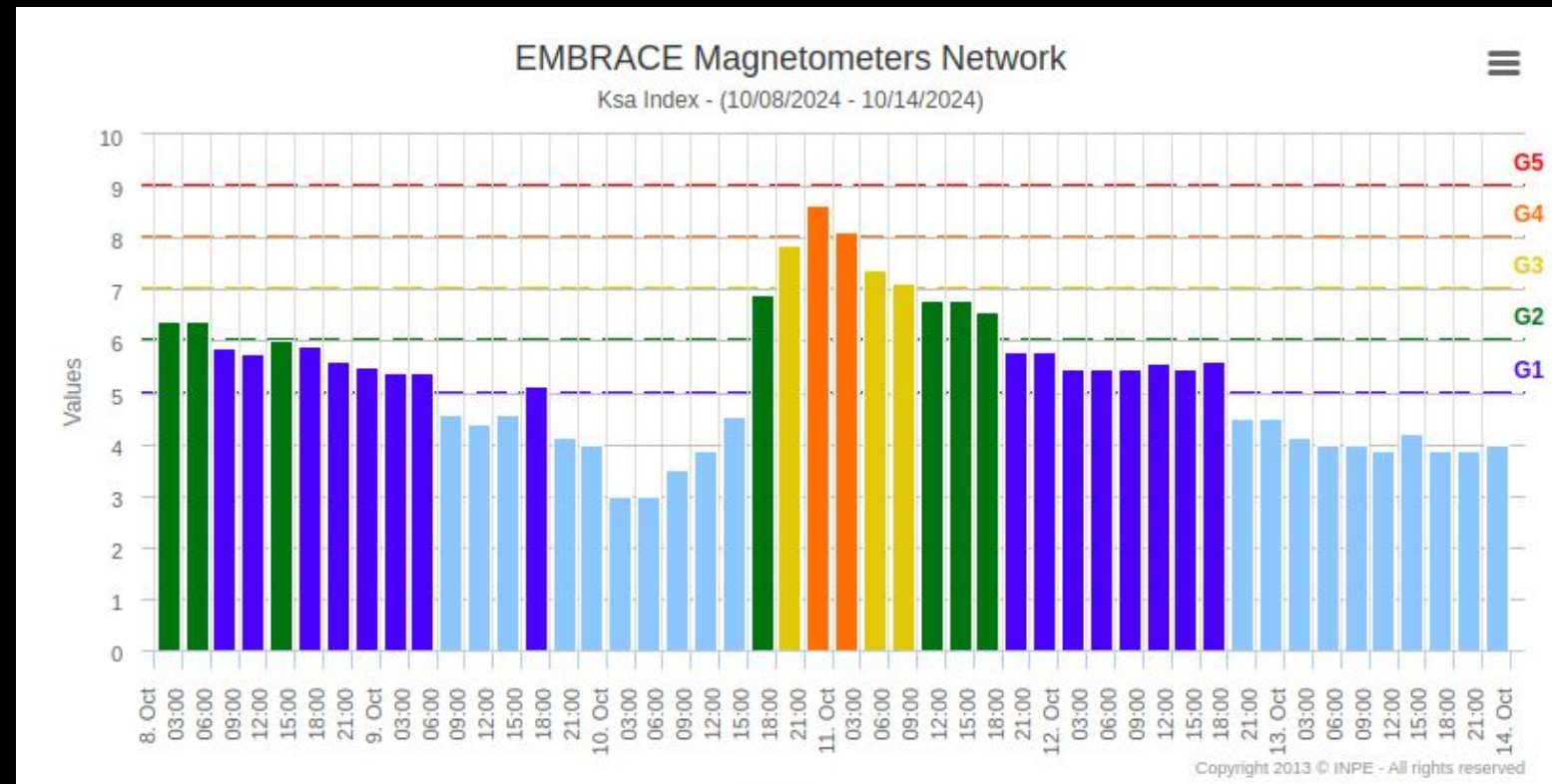
2024-10-10 10:00:00



04:00 UT Mode: CME Image Created: 2024-10-09 05:54 UT

<https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/index-summary/>

Magnetosfera



Fotos de las auroras observadas en octubre 2024



**Base
Marambio**

Tomada por personal científico del
LAMBI (Juan Ignacio Kersevan)



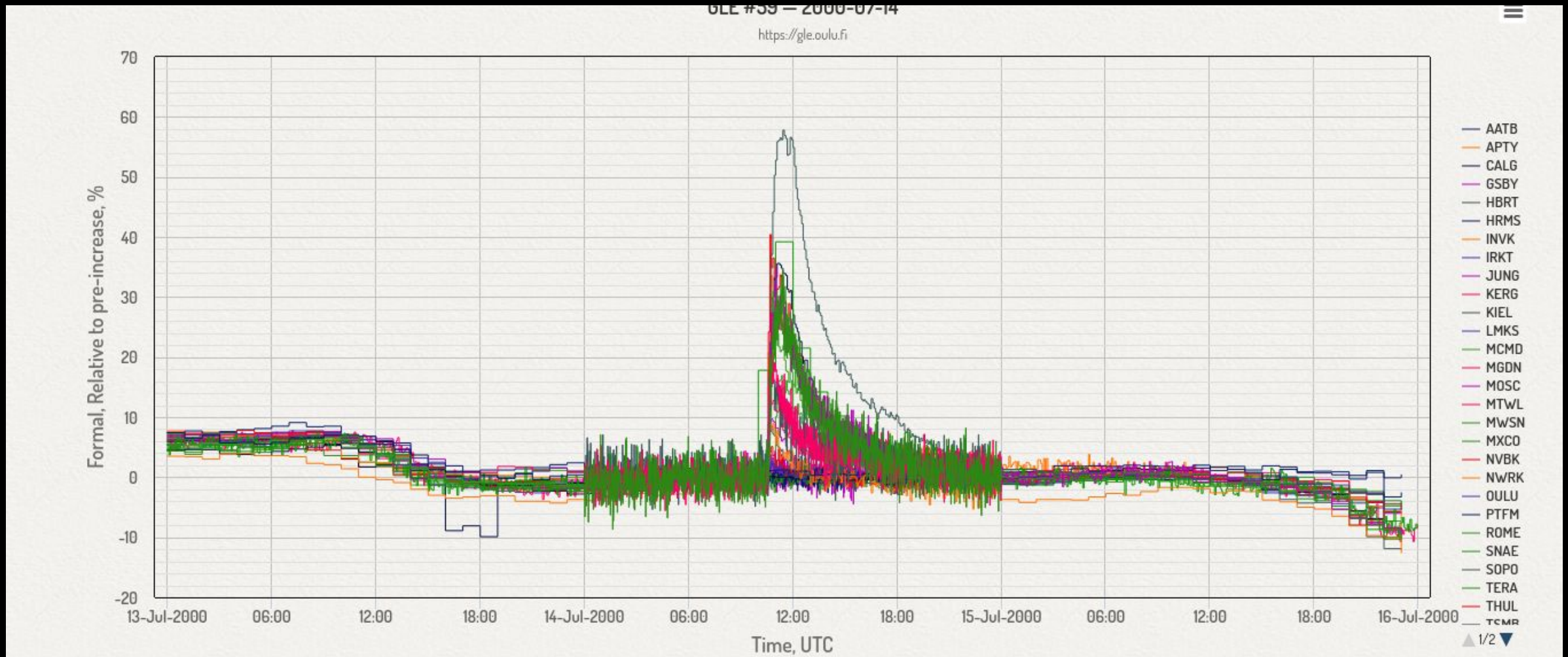
Meteorología del Espacio

Tormentas geomagnéticas

Tormentas de radiación solar

Bloqueos de radio

Otros eventos transitorios: Intensificaciones a nivel del suelo o GLEs (Ground Level Enhancements)



Muchas Gracias por su atención

Contacto:

lamp@at.fcen.uba.ar

Corte de cinta del nuevo laboratorio
21 de Marzo 2024 (Aniversario de la base)



seguí nuestras redes sociales



spaceweather.at.fcen.uba.ar



lampspaceweatherar5575



lamp_spaceweather_ar



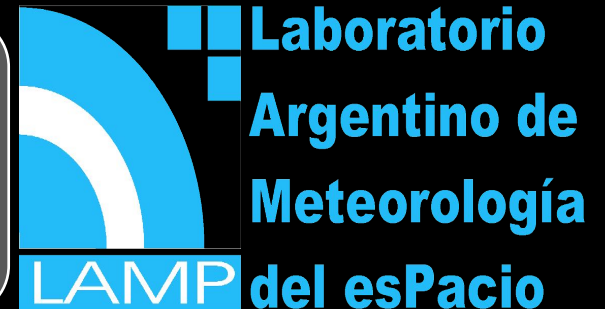
lamp.spaceweather.argentina



lamp-spaceweather-ar

http://www.iafe.uba.ar/u/lamp/grupo_landing_page.html

spaceweather.at.fcen.uba.ar



Diapositivas adicionales

http://www.iafe.uba.ar/u/lamp/grupo_landing_page.html

spaceweather.at.fcen.uba.ar



Cosmic rays detector (LAMP instrument)

San Martin Station

68°07'48"S 67°06'09"W

Rigidity cut off: 1.69 GV

Temporal resolution: 1 hour

Low level threshold: 3%

Moderate level threshold: 4%

(continuous measurements since 2024)
calibration phase

Cosmic rays detector (LAMP instrument)

Marambio Station

64°14'S 56°38'W

Rigidity cut off: 2.1 GV

200 m asl

Temporal resolution: 1 hour

Low level threshold: 3%

Moderate level threshold: 4%

(continuous measurements since 2019)



Instrumentation development

Cosmic ray detector based on
Water-Cherenkov effect, part of
the LAGO collab

Meteorological station

Magnetometer

Telemetry system (real-time
data)