

Rayos cósmicos y clima espacial.

Dr. Luis Xavier González Méndez
LANCE/SCIESMEX IG, UNAM.



/sciesmex



@sciesmex

xavier@geofisica.unam.mx



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



LANCE

Laboratorio Nacional
de Clima Espacial



SCIESMEX
Servicio de Clima Espacial - MX

El Clima Espacial

El **Clima espacial** o **Meteorología del espacio** se define como las condiciones físicas del Sol, el medio interplanetario, el campo geomagnético, la atmósfera y la Superficie terrestre que se encuentran influenciadas por la interacción Sol-Tierra. Las variaciones en el Clima Espacial pueden provocar serias afectaciones en nuestra tecnología.

Los fenómenos derivados de la actividad del Sol alteran el entorno espacial de todo el sistema solar y, en particular, perturban la ionósfera y campo magnético de la Tierra. Dichas perturbaciones representan riesgos para el desarrollo humano puesto que afectan, de forma global, la tecnología e infraestructura espacial y terrestre.

Las manifestaciones de actividad solar que tienen repercusiones en Clima Espacial son:

- ▶ **Fulguraciones**
- ▶ **Estallidos de Partículas Energéticas Solares,**
- ▶ **Eyecciones de Masa Coronal**
- ▶ **Corrientes de viento solar formando Regiones de Interacción entre Corrientes.**

Cuando las partículas, campos magnéticos y radiación electromagnética, asociados con estos fenómenos, interaccionan con el campo geomagnético, la dinámica de la magnetósfera, ionósfera y atmósfera neutra de nuestro planeta son perturbadas.

CLIMA ESPACIAL

¿Cómo nos afecta?

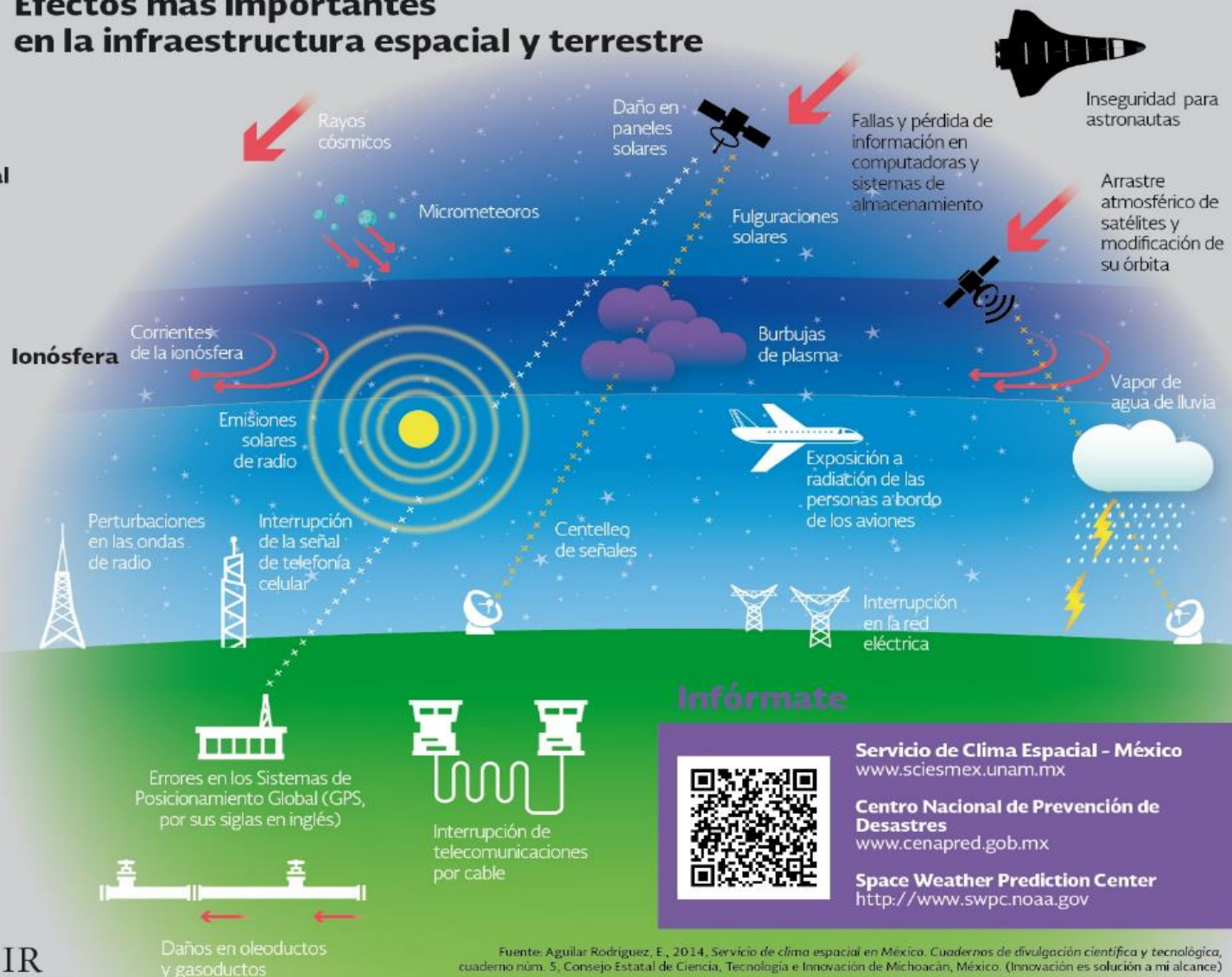
¿Qué es?

Un fenómeno global producido por la actividad solar que puede causar afectaciones a nuestra tecnología

Fenómenos asociados con las variaciones en el clima espacial

- 1 Eyecciones de masa coronal**
Nube de partículas cargadas eléctricamente que sale de la atmósfera solar
Efecto
Fallas en las órbitas de los satélites y daños en las corrientes eléctricas de alta tensión (apagones)
- 2 Fulguraciones solares**
El Sol emite rayos X, gamma, ultravioleta, luz visible, infrarrojos, microondas y ondas de radio.
Efecto
Interferencias en telecomunicaciones y radiocomunicaciones, fallas en los sistemas de posicionamiento global
- 3 Partículas energéticas solares**
Protones, neutrones y electrones acelerados por fulguraciones solares
Efecto
Daño en componentes de los satélites, dosis de radiación peligrosa para astronautas y afectaciones a las y los pasajeros de vuelos transpolares

Efectos más importantes en la infraestructura espacial y terrestre



Infórmate



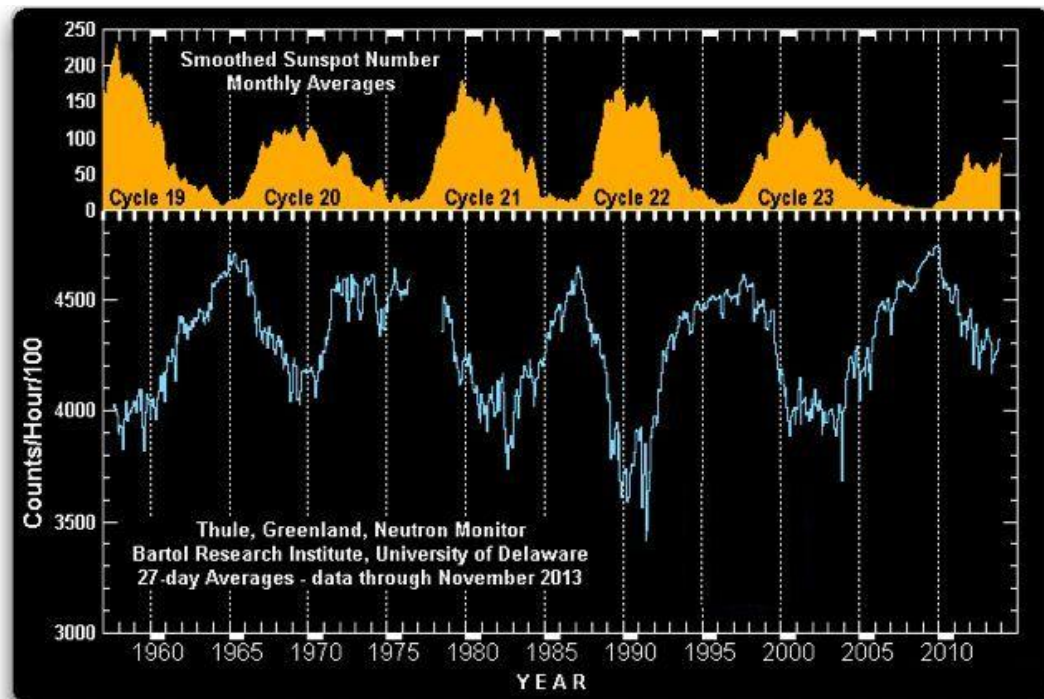
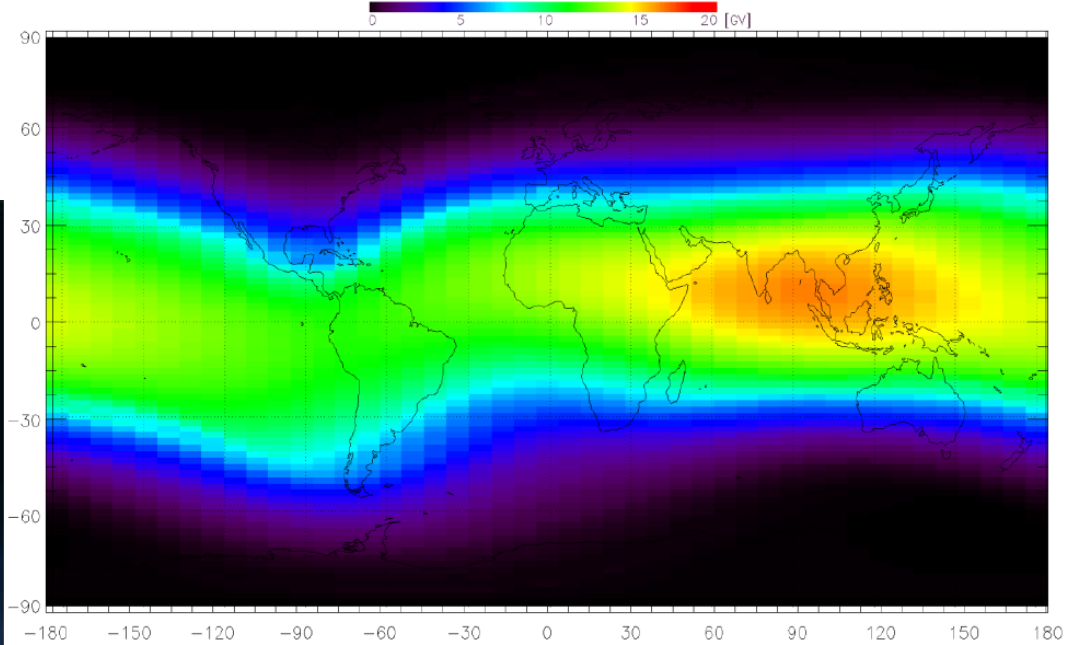
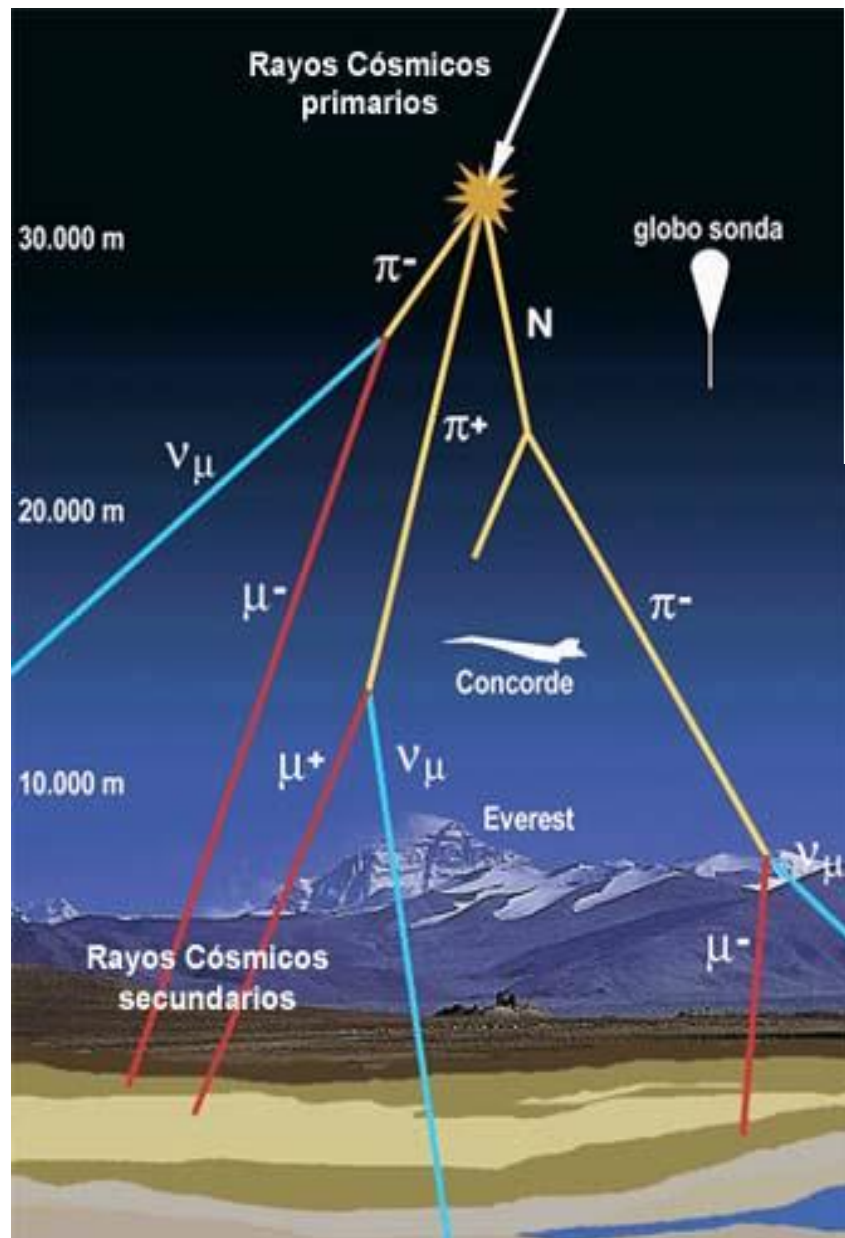
Servicio de Clima Espacial - México
www.sciesmex.unam.mx

Centro Nacional de Prevención de Desastres
www.cenapred.gob.mx

Space Weather Prediction Center
<http://www.swpc.noaa.gov>

Manifestación	Características
<p>Fulguraciones</p>	<p>Descripción: Liberación repentina de energía electromagnética (abrilantamiento). Energía: $\sim 10^{20} - 10^{25}$ J. Ocurrencia: $\sim 1-5$ por día en el máximo y < 1 por semana durante el mínimo. Clasificación: En orden de intensidad son tipo X (las mas intensas), M, C y B. Tiempo de arribo: 8 minutos (a la velocidad de la luz).</p>
<p>Partículas Energéticas Solares</p>	<p>Descripción: Partículas (principalmente protones, electrones y partículas alfa) provenientes del Sol impulsadas a altas energías. Energía: $\sim 10^3$ eV – 10^9 eV. Ocurrencia: Son causadas en algunos eventos intensos de ráfagas y EMCs. Clasificación: Partículas con energía > 40 MeV son un riesgo para la vida en el espacio. Tiempo de arribo: ~ 15 minutos – unas horas.</p>
<p>Eyecciones de Masa Coronal</p>	<p>Descripción: Explosión en la atmosfera solar donde se desprende una enorme cantidad de plasma coronal hacia el medio interplanetario a velocidades de $\sim 300 - 2000$ km/s. Energía: $\sim 10^{24}-10^{27}$ J. Ocurrencia: ~ 3.5 por día en el máximo y ~ 0.2 por día en el mínimo. Clasificación: Rápidas (velocidades mayores al viento solar ambiente) y lentas (velocidades menores al viento solar ambiente); las que se dirigen a la Tierra son tipo halo. Tiempo de arribo: $\sim 1 - 4$ días.</p>
<p>Regiones de Interacción de Corrientes</p>	<p>Descripción: Región del medio interplanetario donde interaccionan una corriente de viento solar lento y una de viento solar rápido. Energías: ~ 10 keV- 1 MeV.</p>

Modulación de RC



Precursores en los rayos cósmicos detectados en tiempo real.

Las perturbaciones del viento solar, la magnetosfera y los rayos cósmicos están estrechamente relacionados, ya que se generan por los mismos procesos activos en el Sol.

Los rayos cósmicos nos dan información sobre estos disturbios con suficiente antelación a su llegada a la Tierra.

Firmas características en los RC pueden ser seleccionados por métodos especiales de los datos de la red de monitores de neutrones y ser usados para los estudios de **clima espacial**.

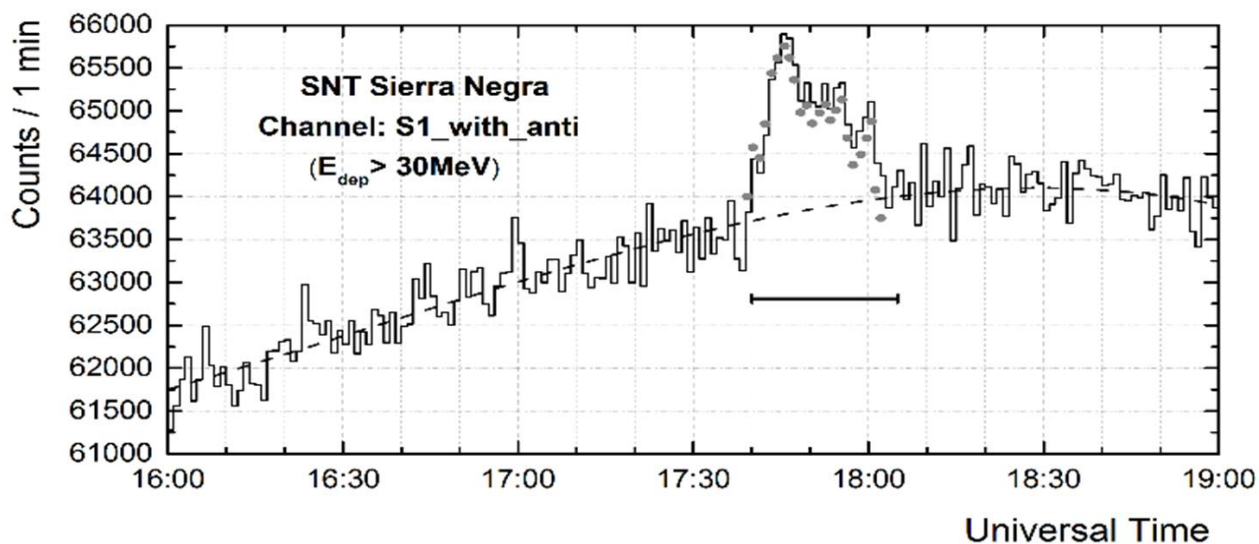
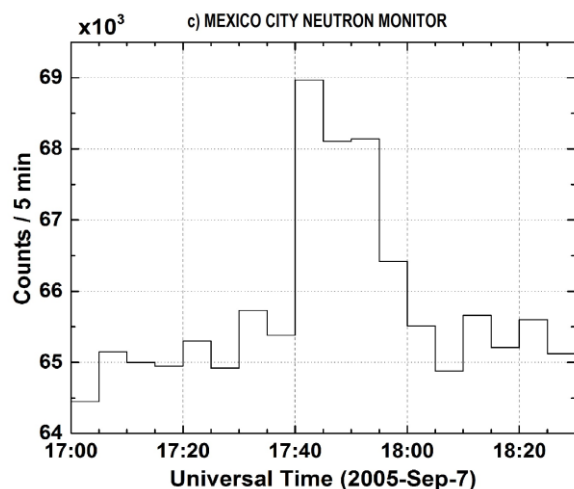
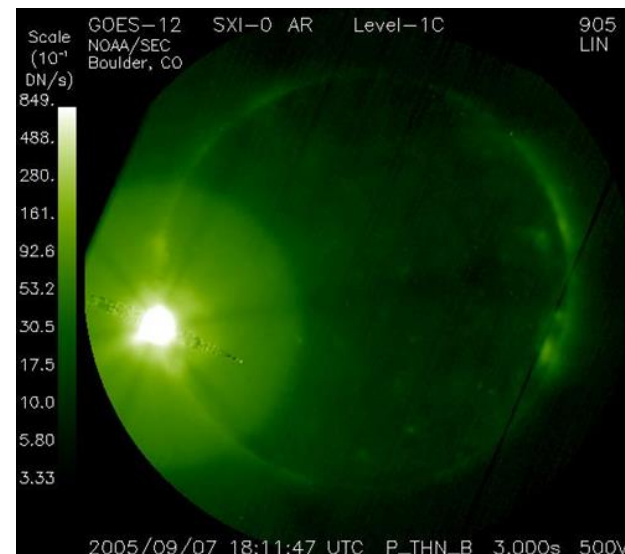
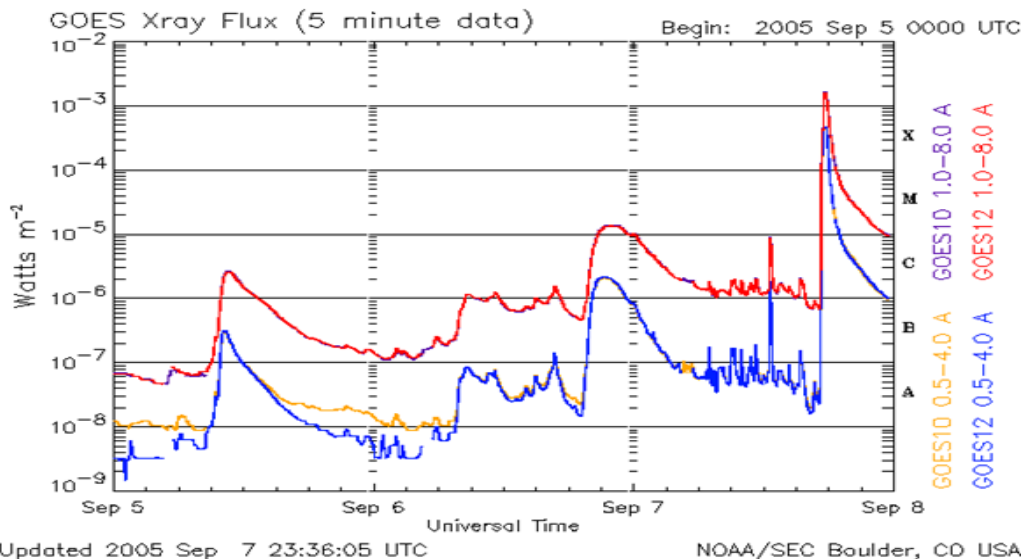
Eventos de partículas solares.

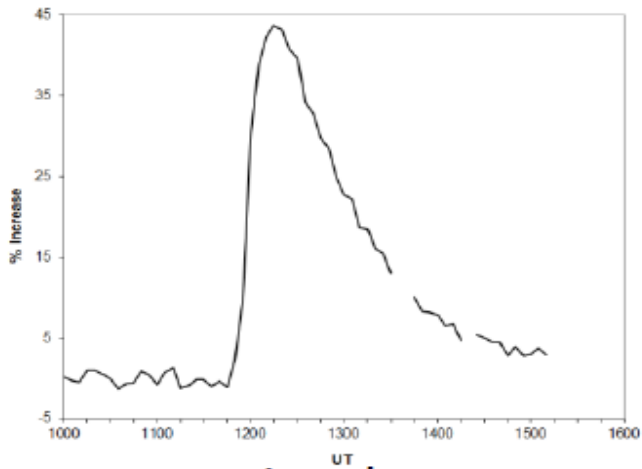
La detección temprana de un evento de partículas solares da una buena oportunidad de pronóstico preventivo del flujo de partículas peligrosas y puede proporcionar una alerta con una mínima probabilidad de falsa alarma.

El flujo de partículas no se puede grabar en los satélites con suficiente exactitud debido a su pequeña zona de detección. Sin embargo, puede ser medido por los detectores a nivel de tierra con alta significancia estadística.

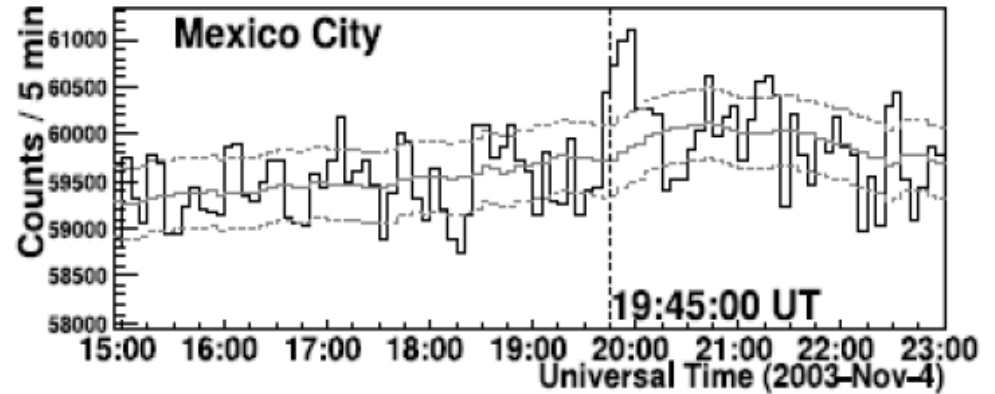
Partículas Energéticas Solares

Aceleradas en las fulguraciones solares y en las ondas de choque de las eyecciones de masa coronal.

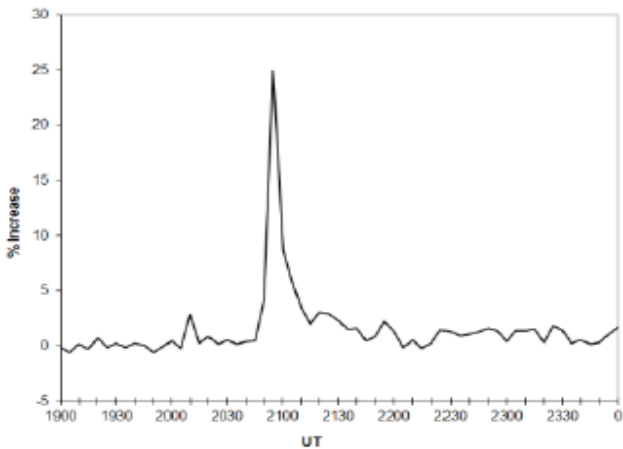




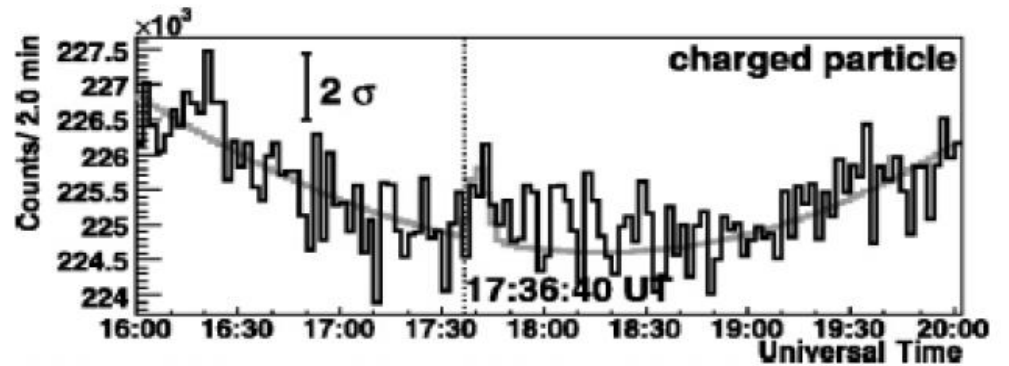
29 septiembre 1989



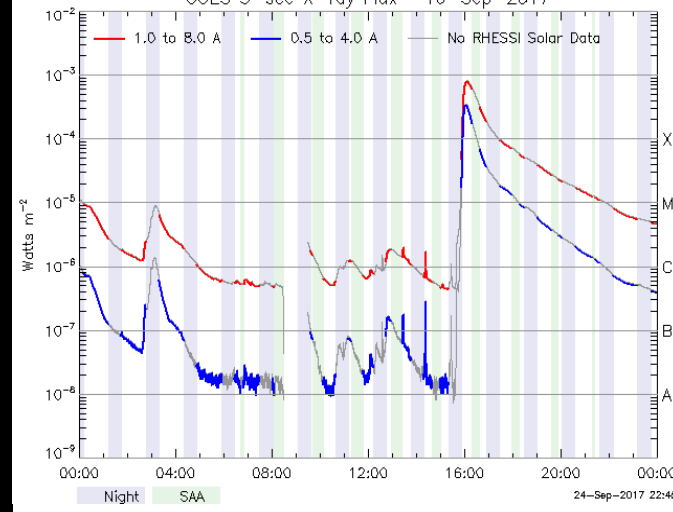
2



24 mayo 1990

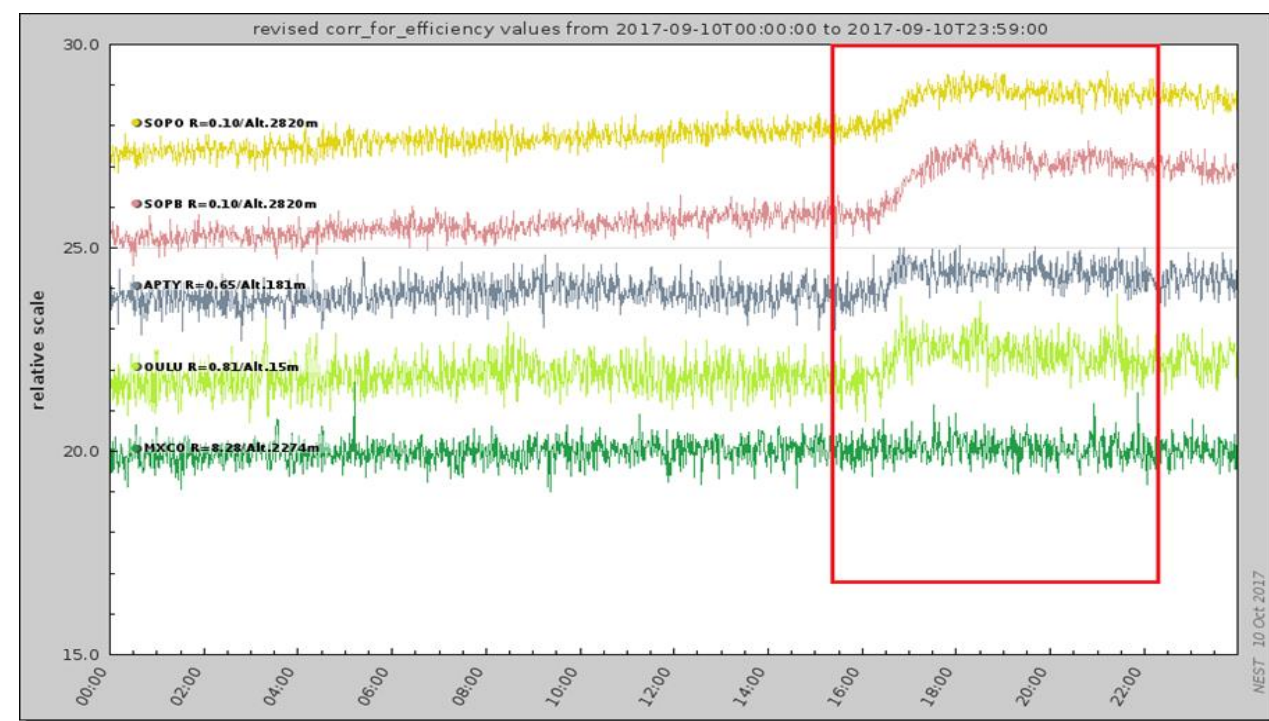


Con base en las cuentas totales de varias estaciones en tiempo real, se busca un aumento significativo en las cuentas totales de los datos de varias estaciones GLE.



30 seg, 1 min 10 seg

Partículas Energéticas Solares asociadas con la fulguración X alcanzan a la Tierra en zonas polares! NO tuvieron suficiente energía para llegar a la CDMX.



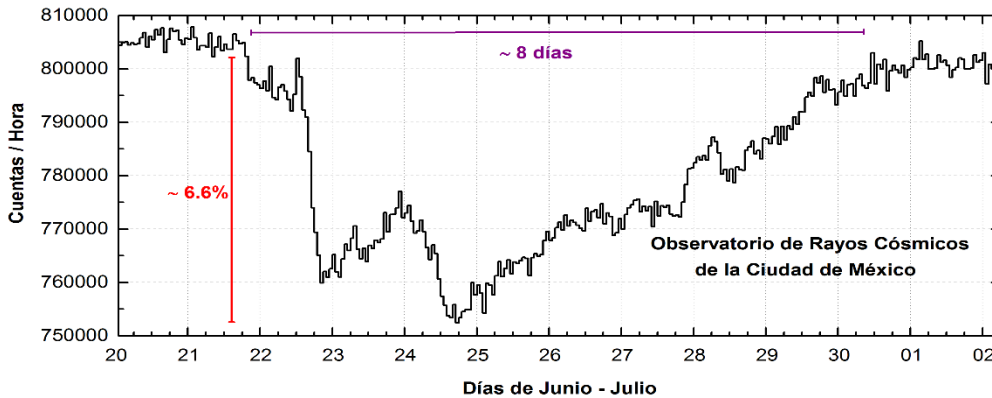
Tormentas Geomagnéticas - Heliosféricas.

Datos de RC en tiempo real pueden proporcionar una importante herramienta para el estudio de los transitorios coronales, su estructura y propagación desde la fuente hasta la Tierra

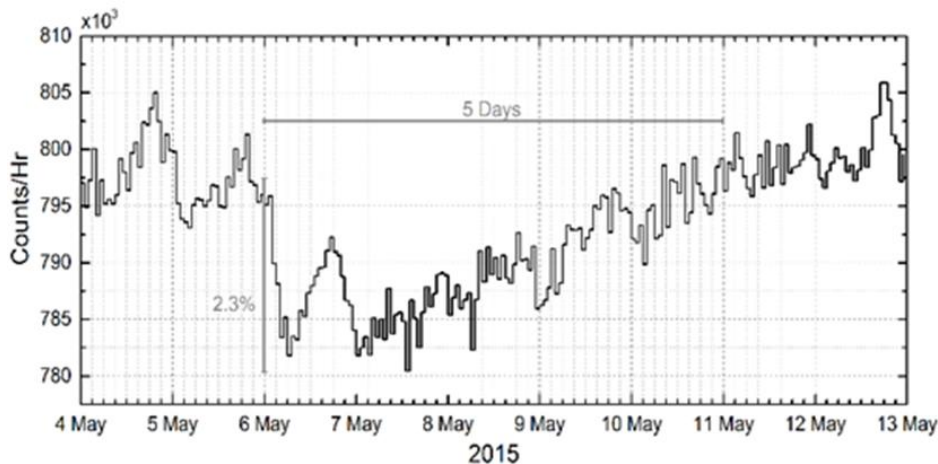
La más significativa manifestación de las perturbaciones es la llegada del choque, donde la densidad, cuentas y anisotropía de los RC varía significativamente.

Precursores pueden resultar de las partículas aceleradas que son reflejadas por el choque que se acerca.

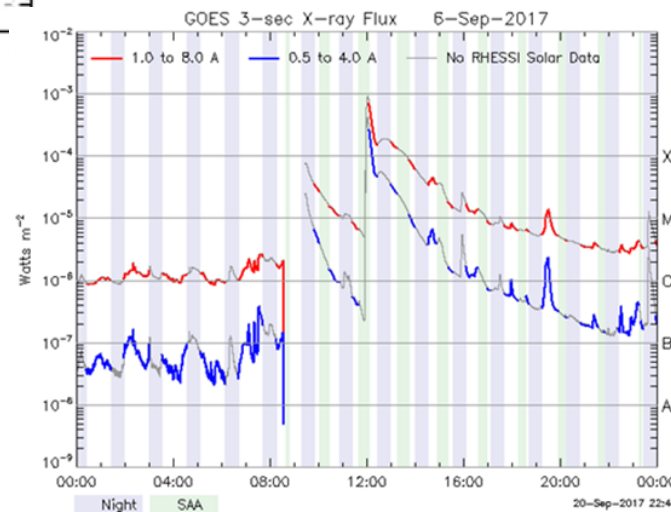
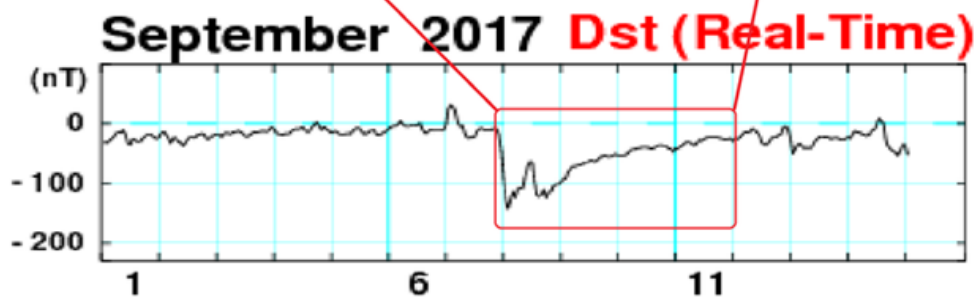
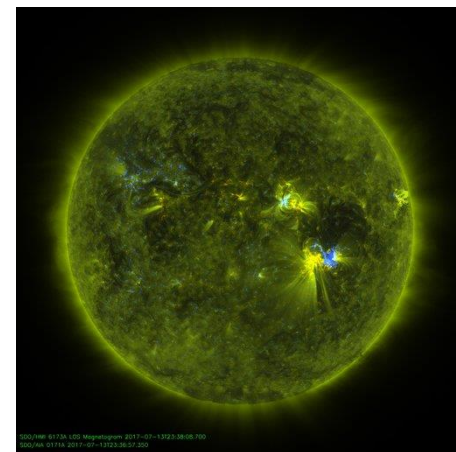
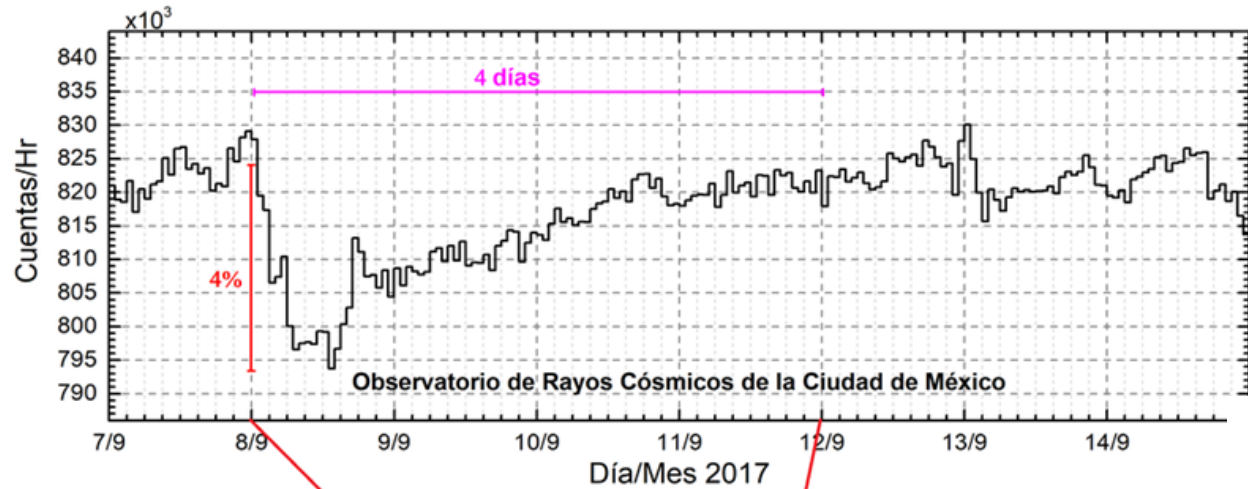
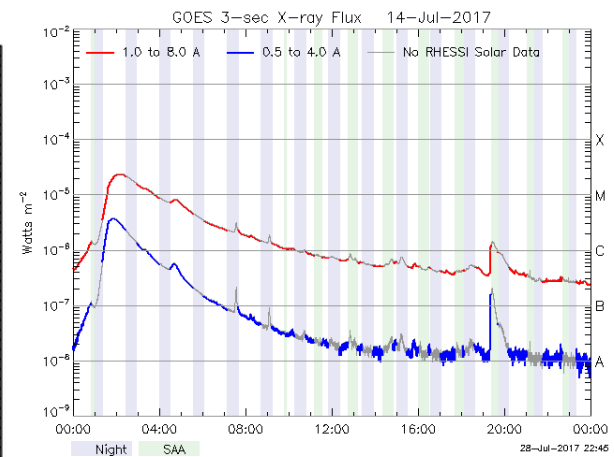
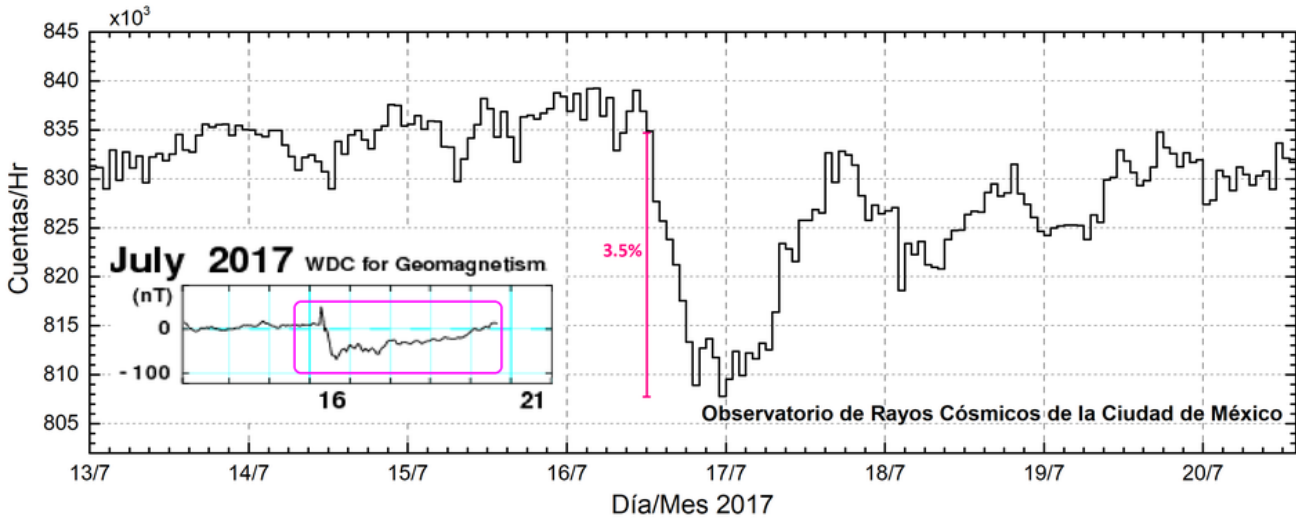
Otros precursores para variaciones de gran rango se pueden observar como una disminución de la intensidad de RC.



Decrecimientos Forbush

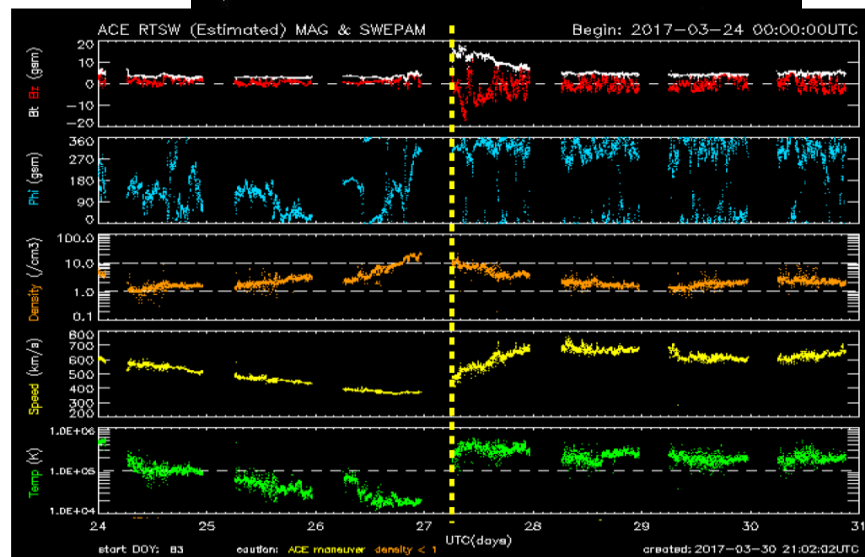
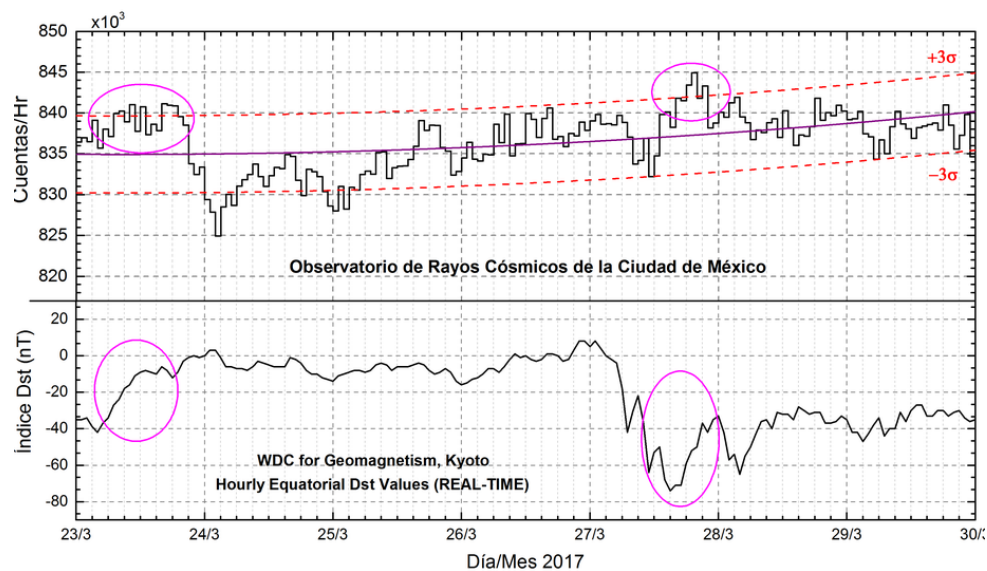
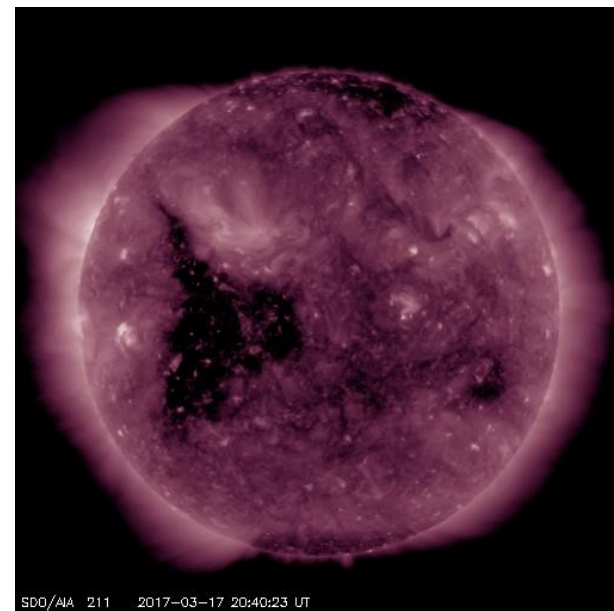
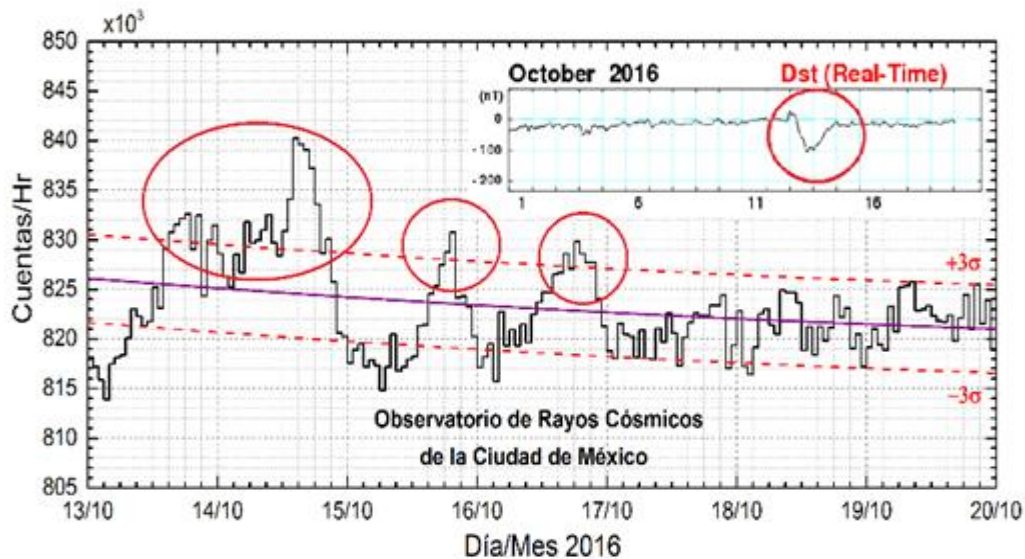


Caída repentina de las cuentas de rayos cósmicos galácticos debido a la influencia de las líneas de campo magnético de las eyecciones de masa coronal o regiones de interacción corrotantes.



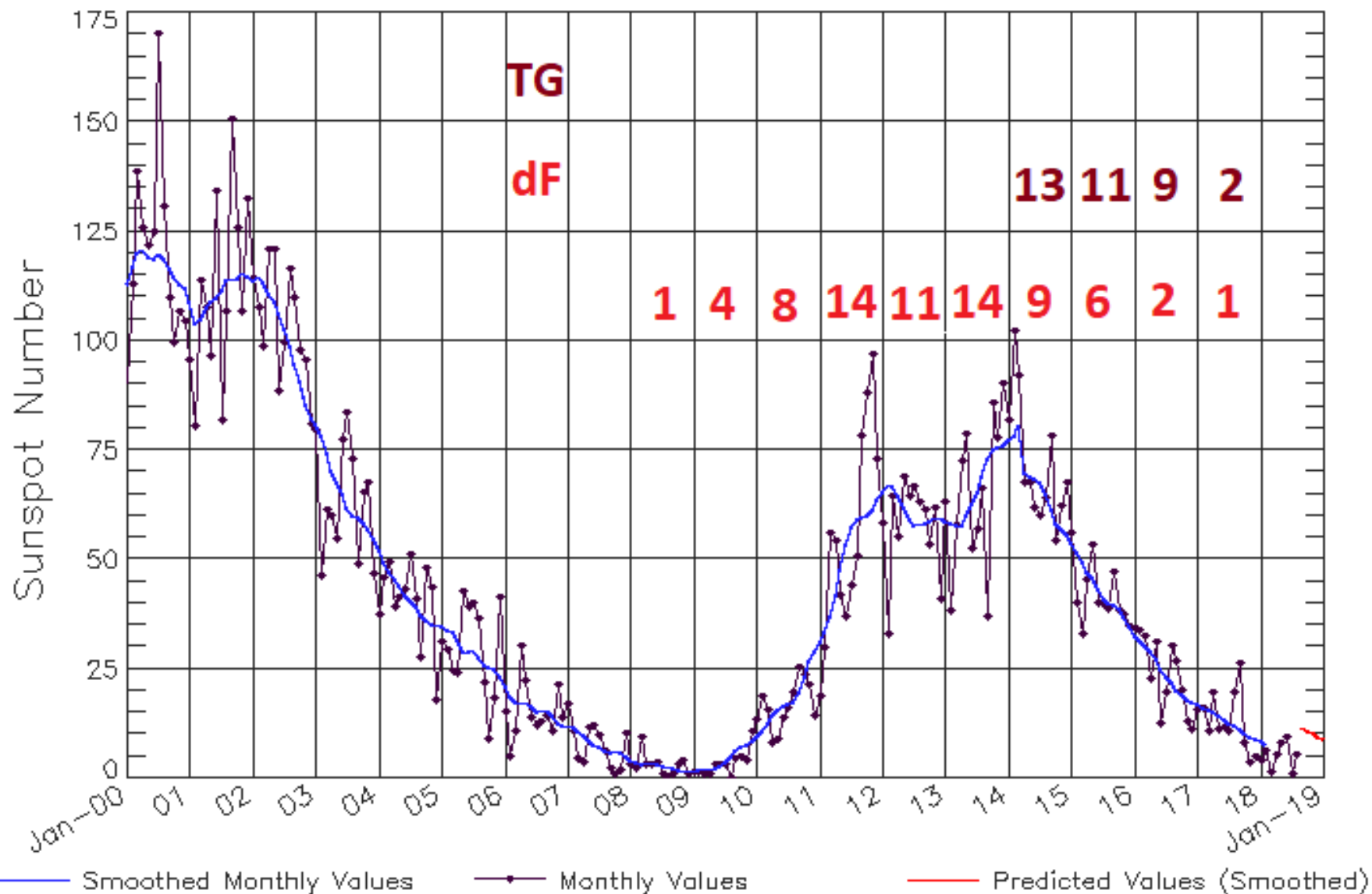
Tormentas Geomagnéticas

Variaciones en los registros de rayos cósmicos galácticos debido a la afectación de la intensidad de las líneas de campo geomagnético por emisiones solares, que provoca el cambio de la rigidez umbral.

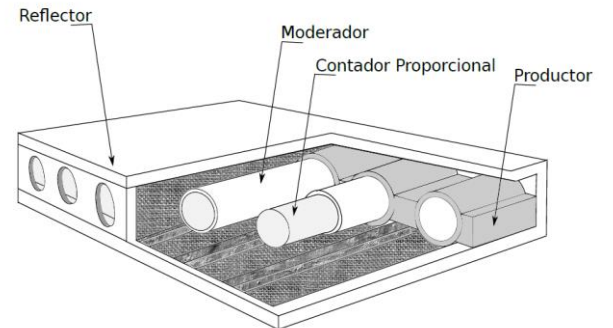
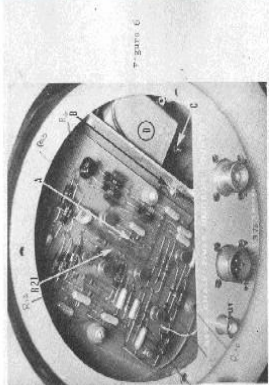


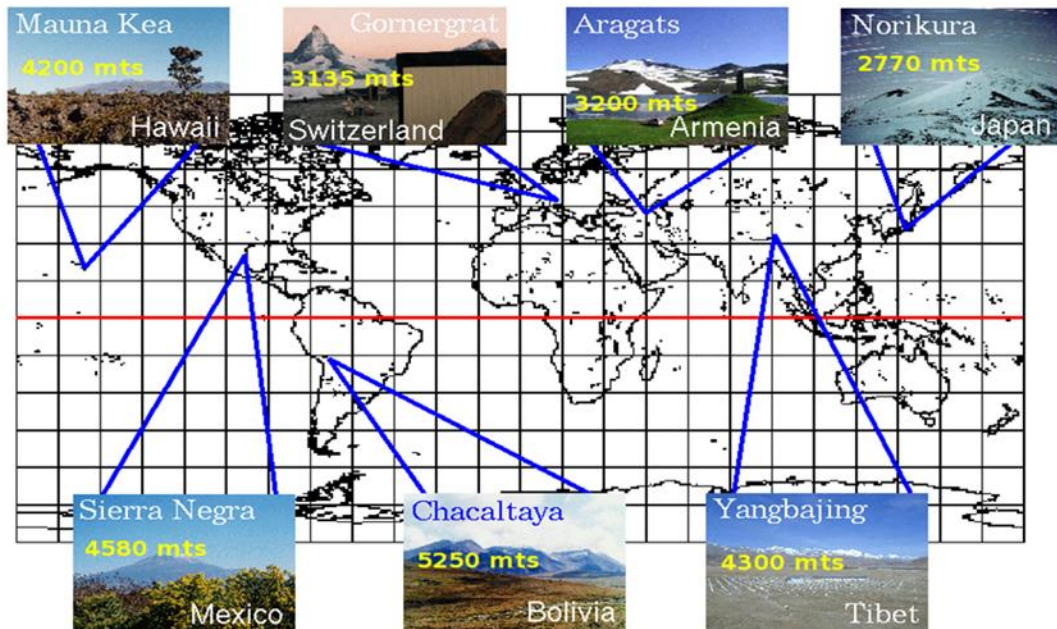
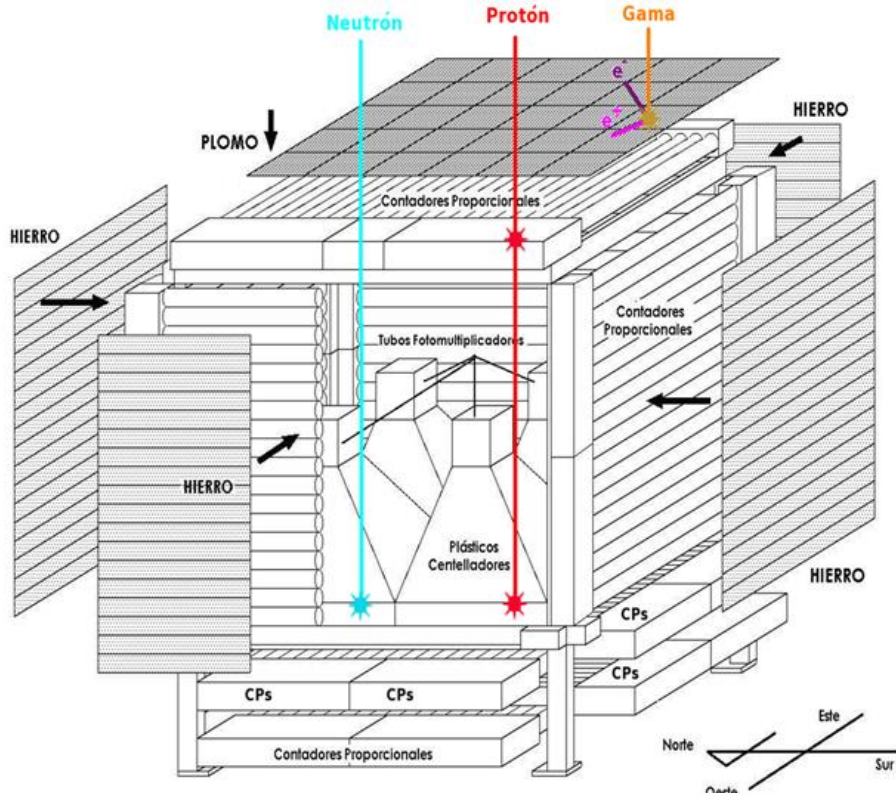
ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression

Observed data through Aug 2018



EI ORC-CDMX





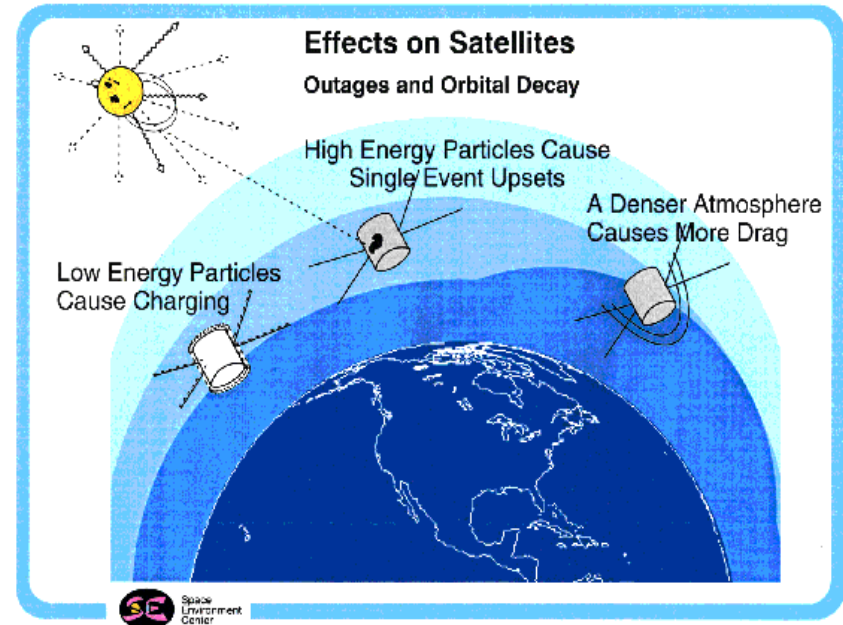
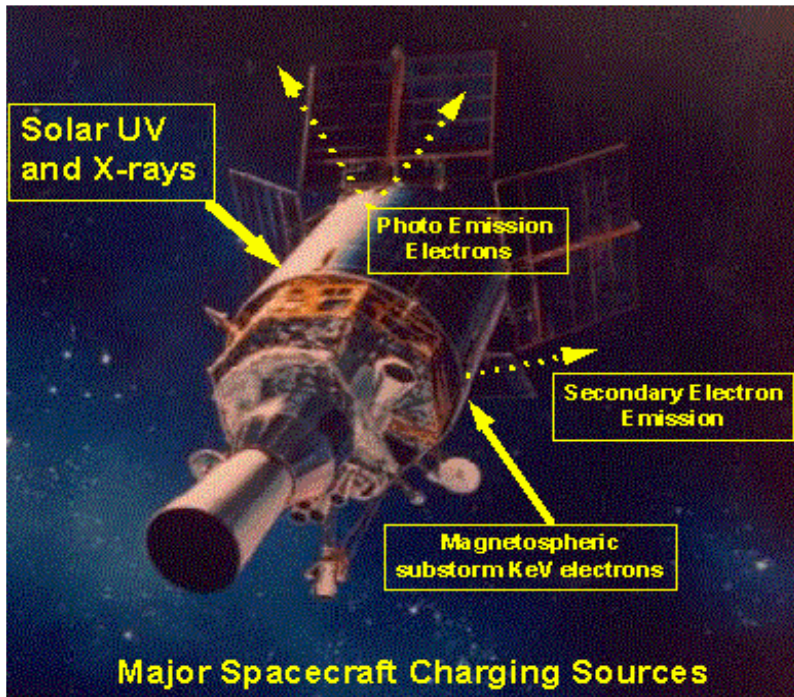
El ORC-SN.

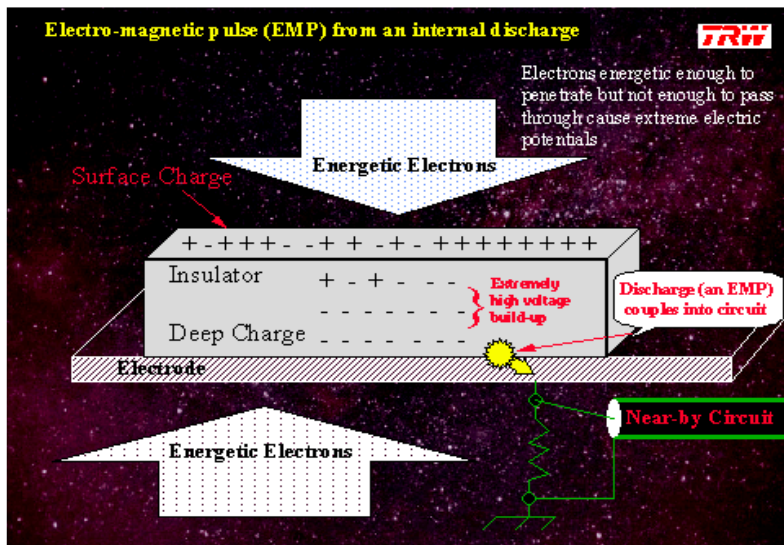
Afectaciones por partículas energéticas solares.

Afectación en Satélites y Naves

Efecto de los electrones

Causan carga electrostática, alteración y descomposturas en los componentes de los satélites y naves, lo que provoca fallas (alteración de la posición) y descargas que afectan la electrónica.





La descarga puede afectar la electrónica, causando variaciones en los datos, falsos comandos e incluso daños en los componentes.

Pueden ocurrir dos tipos de carga: la **superficial** y la **interna**. Ambas implican interacciones complejas entre el medio ambiente espacial, los materiales y los sistemas micro-electrónicos.

La Carga superficial es causada por electrones de baja energía que interactúan sólo con los materiales superficiales del satélite o nave. La diferencia de potencial puede ser de varios kV y puede incrementarse entre diferentes superficies.

La carga interna es causada por electrones de alta energía que penetran a los componentes de las naves y/o satélites y depositan carga en los materiales aislantes. Las descargas dañan materiales sensibles. Este fenómeno requiere de uno a dos días de constante flujo de electrones para acumular suficiente carga y ser dañina.

Los electrones también pueden causar ionización que dañan los dispositivos micro-electrónicos, a través de la acumulación de carga atrapada en un aislante. Se incrementa el consumo de energía del dispositivo y se incrementa el ruido en la señal.

Protones y núcleos más pesados

Los protones energéticos y núcleos más pesados son el fondo de rayos cósmicos galácticos; sin embargo, cuando ocurre una fuerte fulguración solar se pueden emitir grandes flujos de partículas que llegan a la Tierra y pueden afectar el clima espacial (Partículas energéticas solares).

Además de la influencia de los electrones, el flujo de protones y núcleos más pesados provoca:

- Daños en la estructura cristalina de los dispositivos micro-electrónicos.
- Reducen el rendimiento de los transistores y dispositivos opto-electrónicos (celdas solares).
- Degradan la eficiencia de los componentes.

Date	Event	Satellite	Orbit	Cause (probable)	Effects seen
8 March 1985		Anik D2	GEO	ESD	Outage
October 1989	CME-driven storm	TDRS-1	GEO	SEE	Outage
July 1991		ERS-1	LEO	SEE	Instrument failure
20 January 1994	Fast solar wind stream	Anik E1	GEO	ESD - note: all three satellites were of same basic design	Temporary outage (hours)
		Anik E2	GEO		6 months outage, partial loss
		Intelsat K	GEO		Temporary outage (hours)
11 January 1997	Fast solar wind stream	Telstar 401	GEO	ESD	Total loss
19 May 1998	Fast solar wind stream	Galaxy 4	GEO	ESD	Total loss
15 July 2000	CME-driven storm	Astro-D (ASCA)	LEO	Atmospheric drag	Total loss
6 Nov 2001	CME-driven storm	MAP	Interplanetary L2	SEE	Temporary outage
24 October 2003	CME-driven storm	ADEOS/MIDORI 2	LEO	ESD (solar array)	Total loss
26 October 2003		SMART-1	HEO	SEE	Engine switch-offs and star tracker noise
28 October 2003		DRTS/Kodama	GEO	ESD	Outage (2 weeks)
14 January 2005		Intelsat 804	GEO	ESD	Total loss
15 October 2006	Fast solar wind stream	Sicral 1	GEO	ESD	Outage (weeks)
5 April 2010	Fast solar wind stream	Galaxy 15	GEO	ESD	Outage (8 months)
13 March 2012	CME-driven storm	Spaceway 3	GEO	SEE?	Outage (hours)
7 March 2012		SkyTerra 1	GEO	SEE/ESD?	Outage (1 day)
22 March 2012		GOES15	GEO	ESD?	Outage (days)

12. SOLAR COSMIC RAY EVENTS AND SATELLITE ANOMALIES

Results are shown in Figs. 15-17.

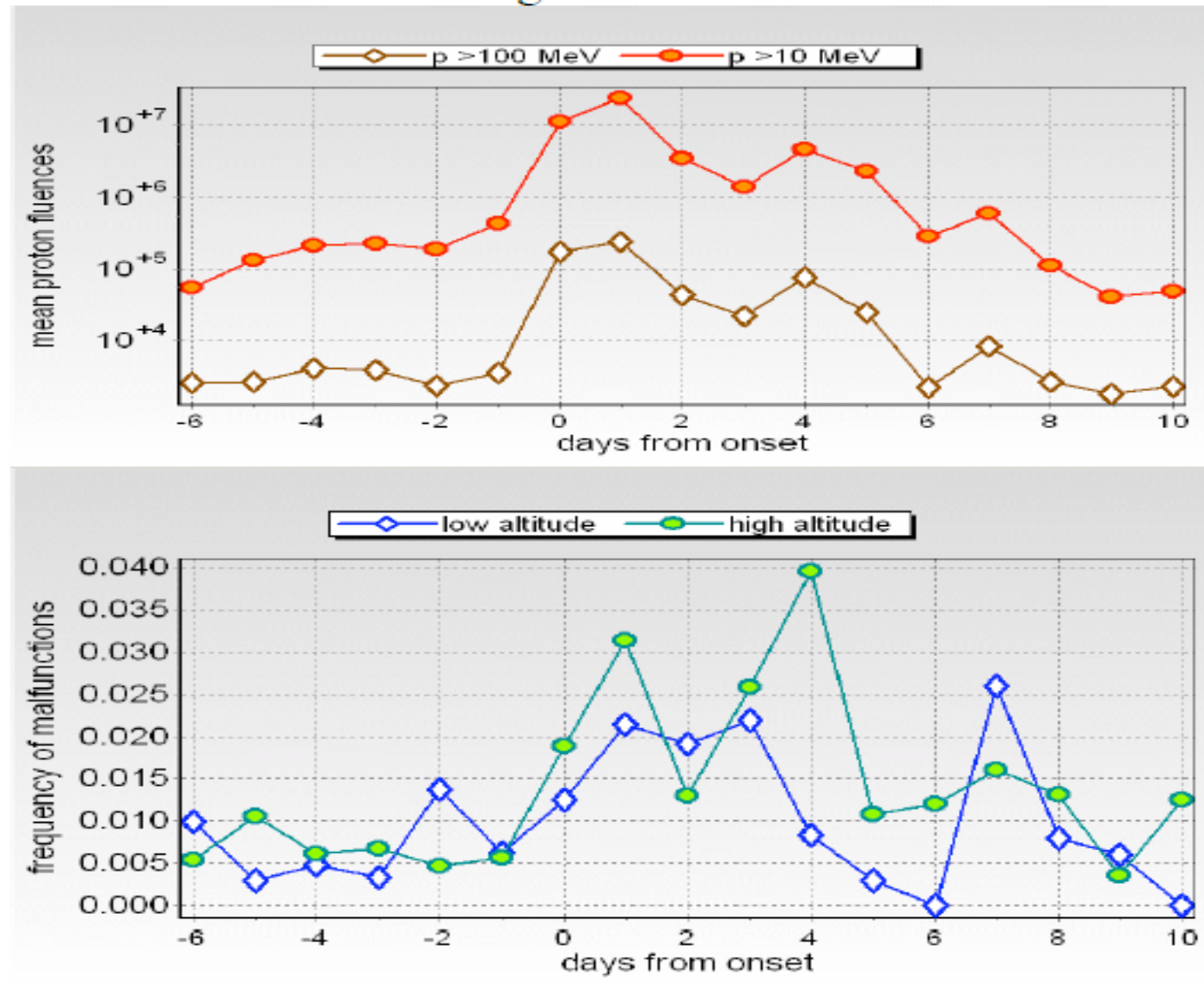


Figure 15. Solar proton events and satellite anomalies.

Posible Afectación en Aviones

- Las partículas energéticas solares chocan con los átomos en la atmósfera superior y genera una cascada de partículas secundarias.
- La radiación de partículas a la altura de un vuelo comercial es ~300 veces mayor que al nivel del mar, ya que la atmósfera absorbe las partículas secundarias en función a su energía. De este modo, un flujo significativo de partículas puede tener un impacto en la tripulación y pasajeros de aeronaves debido a la mayor exposición de radiación ionizante.
- Muchos estudios muestran que la radiación ionizante puede ser perjudicial para la salud humana en exposiciones grandes (laboratorio).
- En condiciones normales, el campo geomagnético confina el efecto de la radiación de partículas energéticas solares a rutas de alta latitud, pero para eventos solares muy energéticos, las partículas pueden ingresar por zonas más cercanas al ecuador.
- Se ha comenzado a colocar medidores de radiación a bordo de aviones comerciales para dilucidar la influencia de las partículas en los equipos de aviación y salud de pasajeros (estudios a gran escala).
- Si una emisión de partículas energéticas solares impacta la Tierra y genera radiación secundaria ionizante que se detecta en distintos puntos del planeta, es conocida como GLE, ésta radiación puede afectar a los pasajeros de vuelos cercanos a los polos.
- Se reportaron fallas en el piloto automático y en respuesta de los circuitos, que coincidieron con flujos de partículas solares en Australia.

GRACIAS



SCiESMEX

Servicio de Clima Espacial - MX

www.sciesmex.unam.mx

LANCÉ

Laboratorio Nacional
de Clima Espacial



/sciesmex



@sciesmex