



# *EL PROBLEMA EN SU CONTEXTO: TIEMPO Y CLIMA ESPACIAL*



Miguel Herraiz Sarachaga

Departamento de Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid

## DEFINIENDO EL PROBLEMA

Incremento de la actividad solar y de las tormentas geomagnéticas y de su impacto nuestra sociedad tecnológica



Necesidad de diferenciar y clarificar los conceptos

## Incremento de la actividad solar y de las tormentas geomagnéticas

Fenómeno **natural** que se enmarca en la influencia del Sol sobre la Tierra

**No es nuevo**

Aristóteles, S. IV A.C, Libro I, Meteorológicos, Cap. IV y V

Plinio, S. I. Historia Natural

Galileo, S. XVII

Gassendi, 1621

Mairan , 1726 (auroras en Francia)

Evento de Carrington, 1859

**Presente** en la comunidad científica **especializada**



## Y su impacto en la sociedad tecnológica ...

1859: Evento de Carrington. Impacto en el telégrafo  
Efectos en la Península Ibérica, (Marín-Vaquero 2010)

1923: Marconi. Efectos en la transmisión de o.e.m.

1989: Apagón de Canadá. Problemas en satélites



1994: Fallos en satélites canadienses de comunicaciones

2003: Tormenta de Halloween. Grandes pérdidas económicas  
aminoradas por alerta previa

2012: Estimación pérdidas debidas a fallos en la distribución  
eléctrica US;  $10^{12}$  \$ (Space Studies Board 2008)

## Meteorología Espacial

Condiciones del sol y el viento solar, la magnetosfera, la ionosfera, la magnetosfera y la termosfera, que pueden influir en el rendimiento y la fiabilidad de los sistemas tecnológicos terrestres y espaciales y dañar la vida humana y la salud



**Sol y viento solar**

Rayos cósmicos, basura espacial, meteoritos

# El desarrollo de la Meteorología Espacial sigue un camino similar al de la Meteorología terrestre

Estudio de  
fenómenos normales

Estudio de  
fenómenos extremos

Informe y Pronóstico

Climatología





# LA ACCIÓN DEL SOL SOBRE LA TIERRA



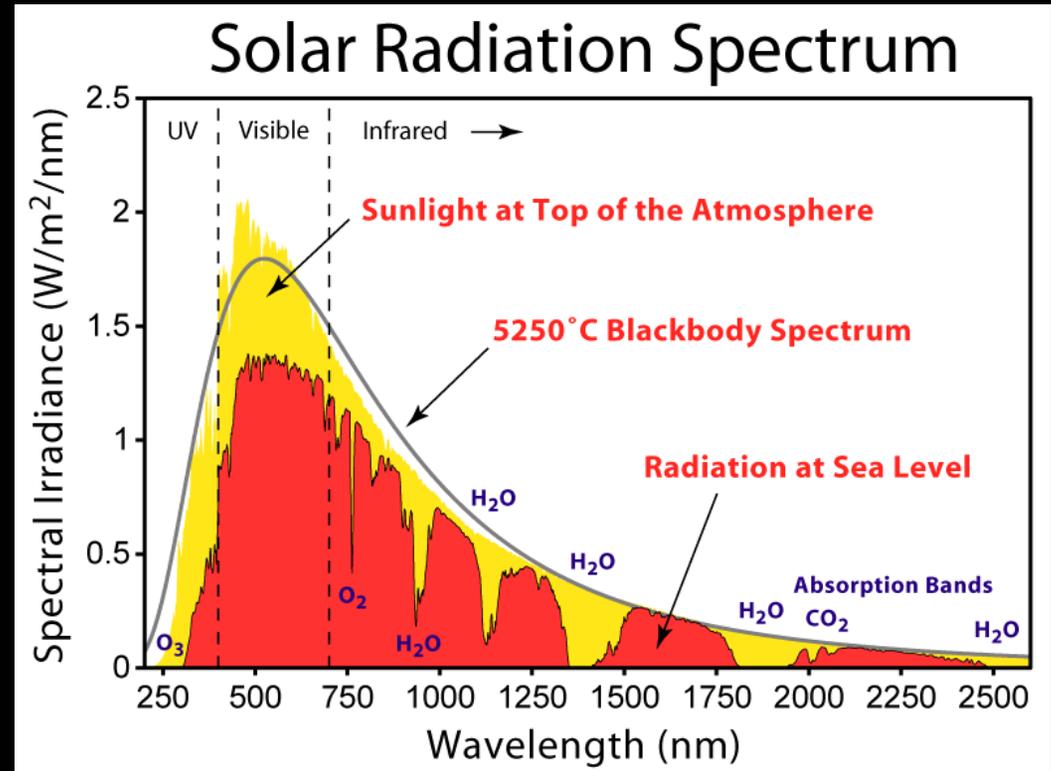
## CARACTERÍSTICAS

Acción a distancia (150 millones de kilómetros)

Acción gravitatoria

Radiación solar

Emisión de materia:  
Viento solar



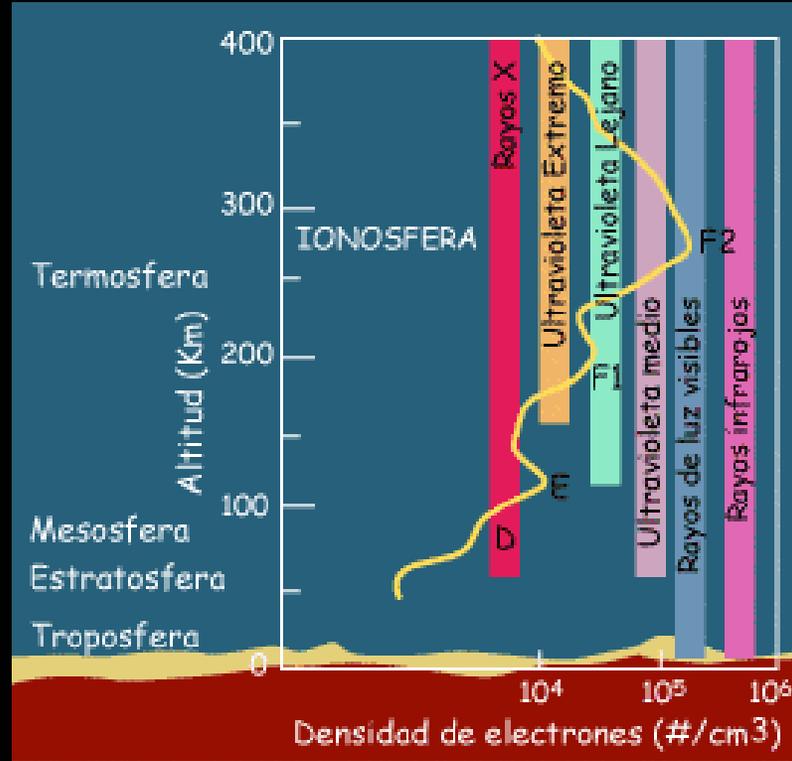
# Radiación Solar



# Atmósfera



# Ionosfera



Chapman y Ferraro, 1931

Biermann, 1951

El viento solar empuja  
la cola de los cometas

Parker, 1958

Emisión continua de plasma  
Protones, electrones, partículas  $\alpha$

Densidad: 10/cm<sup>3</sup>

Velocidad: 450 km/s

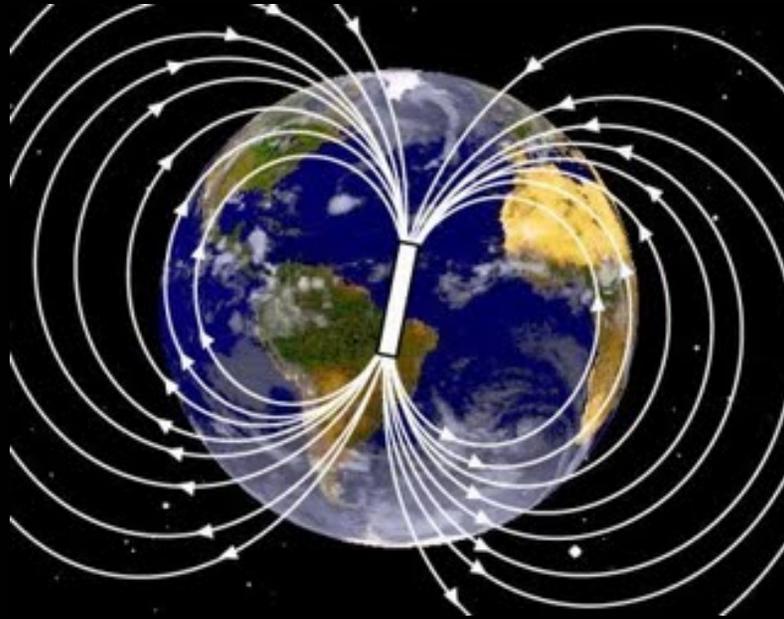
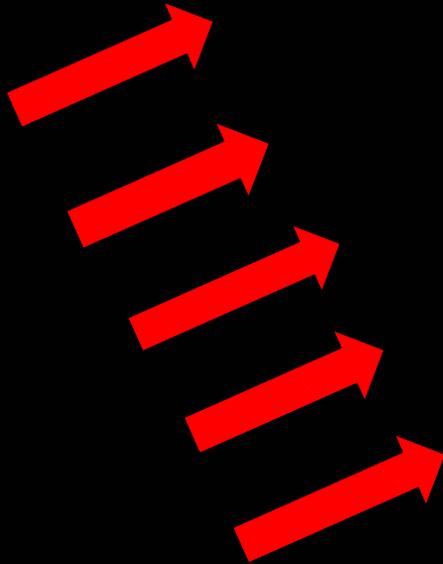
IMF: 5-6 nT

## EMISIÓN DE MATERIA

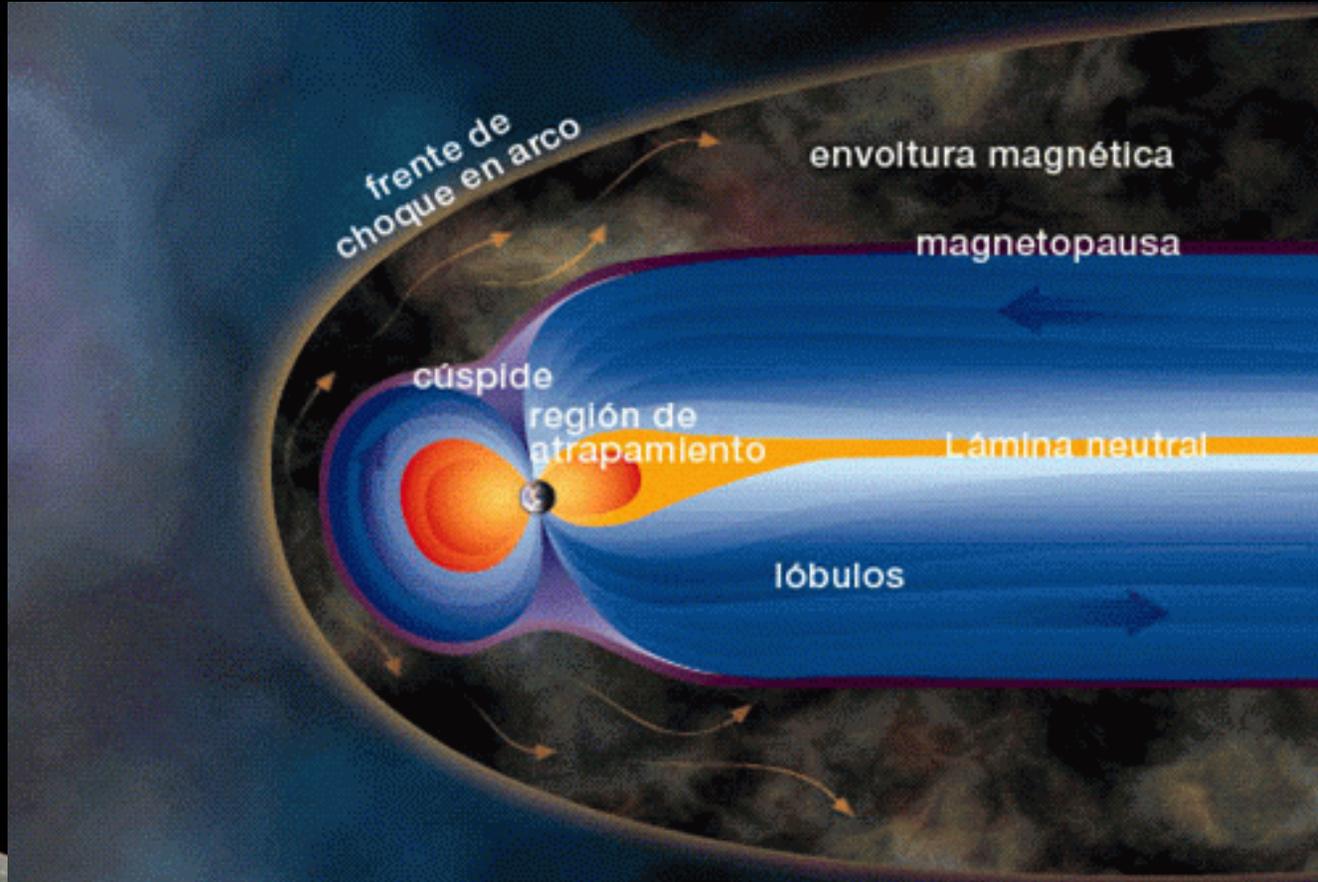


## Campo magnético de la Tierra

Viento solar

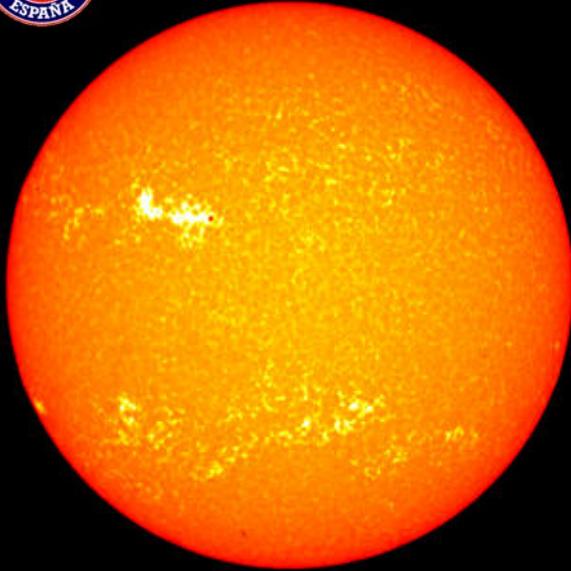


# El viento solar, al chocar con el CMT, crea la Magnetosfera, el escudo protector de la Tierra

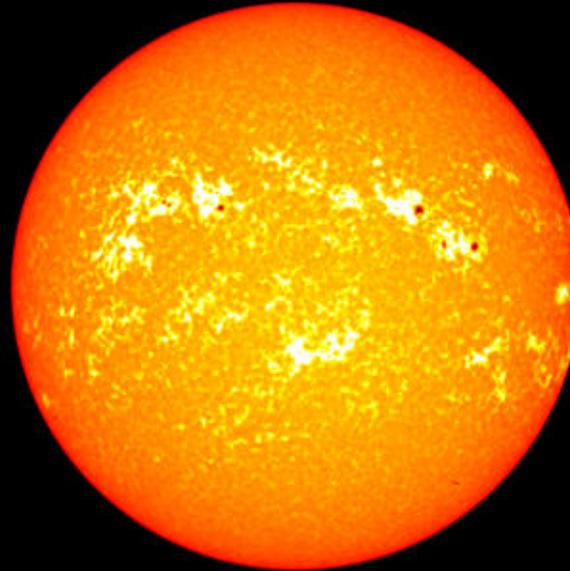


## ¿ Cómo es la actividad solar ?

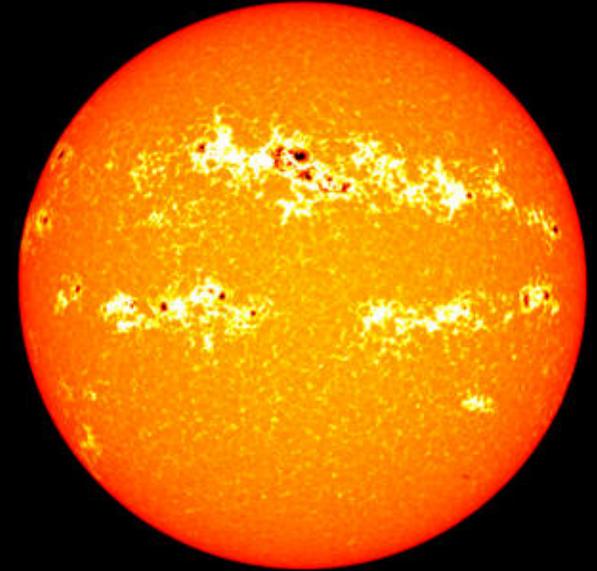
Extremadamente variable



Baja actividad



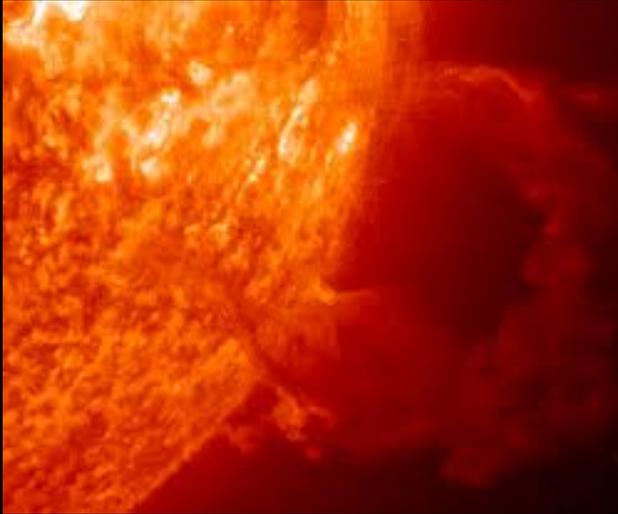
Moderada actividad



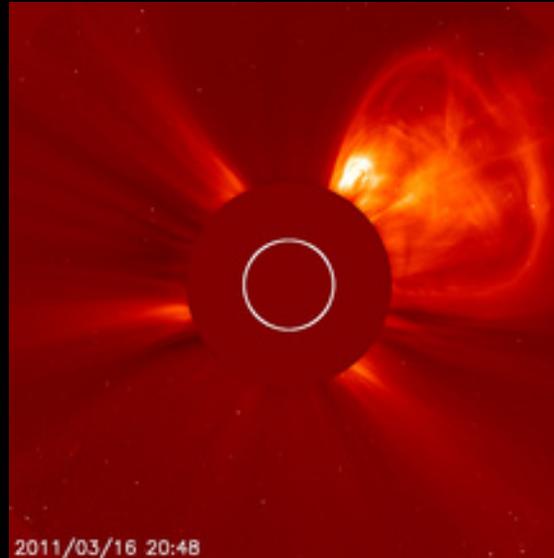
Alta actividad

Relación actividad - n° manchas solares

## Fenómenos Solares Extremos

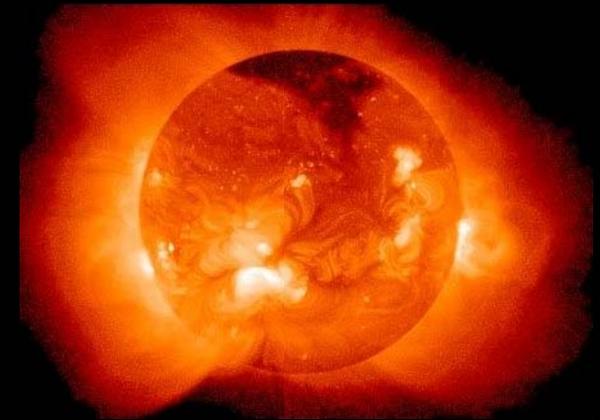


Fulguraciones solares

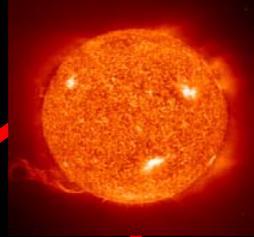


Eyecciones de MC

Agujeros coronales



# Fenómenos solares



Fulguraciones

Eyecciones de MC

Agujeros Coronales

**RADIACION ELECTROMAGNETICA**

*LLEGADA: INMEDIATA  
DURACION: MINUTOS, 1-2 HORAS*

**RAYOS X, EUV,,  
BLOQUEOS DE RADIO**

PERTURBACION DE SEÑALES DE RADIO  
RADIOCOMUNICACION TIERRA Y  
NAVIGACION SATELITAL, SATCOM,  
INTERFERENCIAS DE RADAR,  
DEBILITAMIENTO DE ONDAS CORTAS DE  
RADIO

**PARTICULAS DE ALTA ENERGIA**

*LLEGADA: 15 MIN - POCAS HORAS  
DURACION: DIAS*

**EVENTOS DE  
PROTONES**

DESORIENTACION DE SATELITES  
LECTURAS FALSAS EN SENSORES  
DAÑO A NAVIOS ESPACIALES  
FALLOS EN LA CARGA UTIL  
RADIACION EN AVIONES A GRAN ALTURA  
DEBILITAMIENTO DE ONDAS CORTAS DE  
RADIO

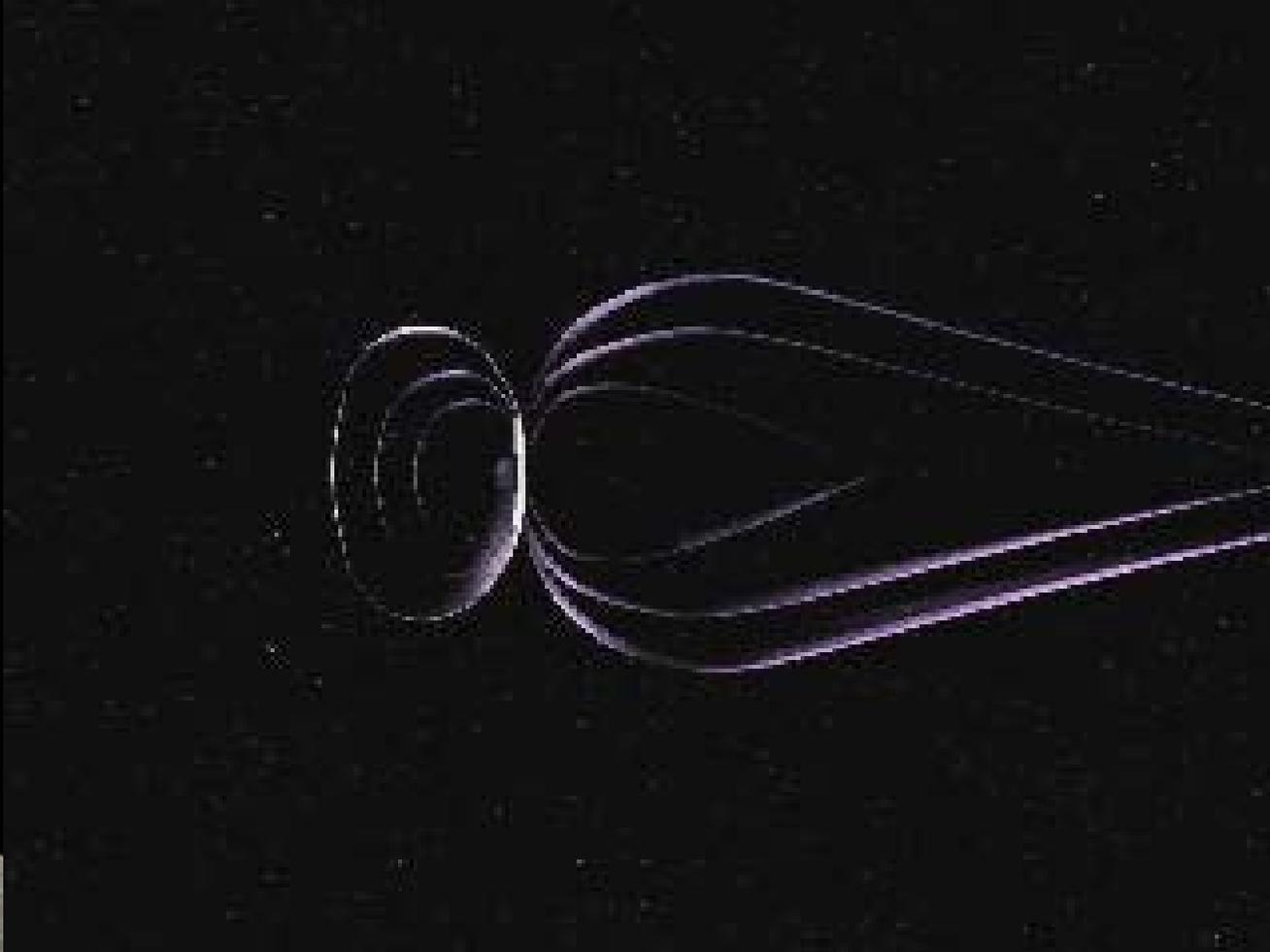
**PARTICULAS DE MEDIA-BAJA ENERGIA**

*LLEGADA: 2-4 DIAS  
DURACION: DIAS*

**TORMENTAS  
GEOMAGNETICAS**

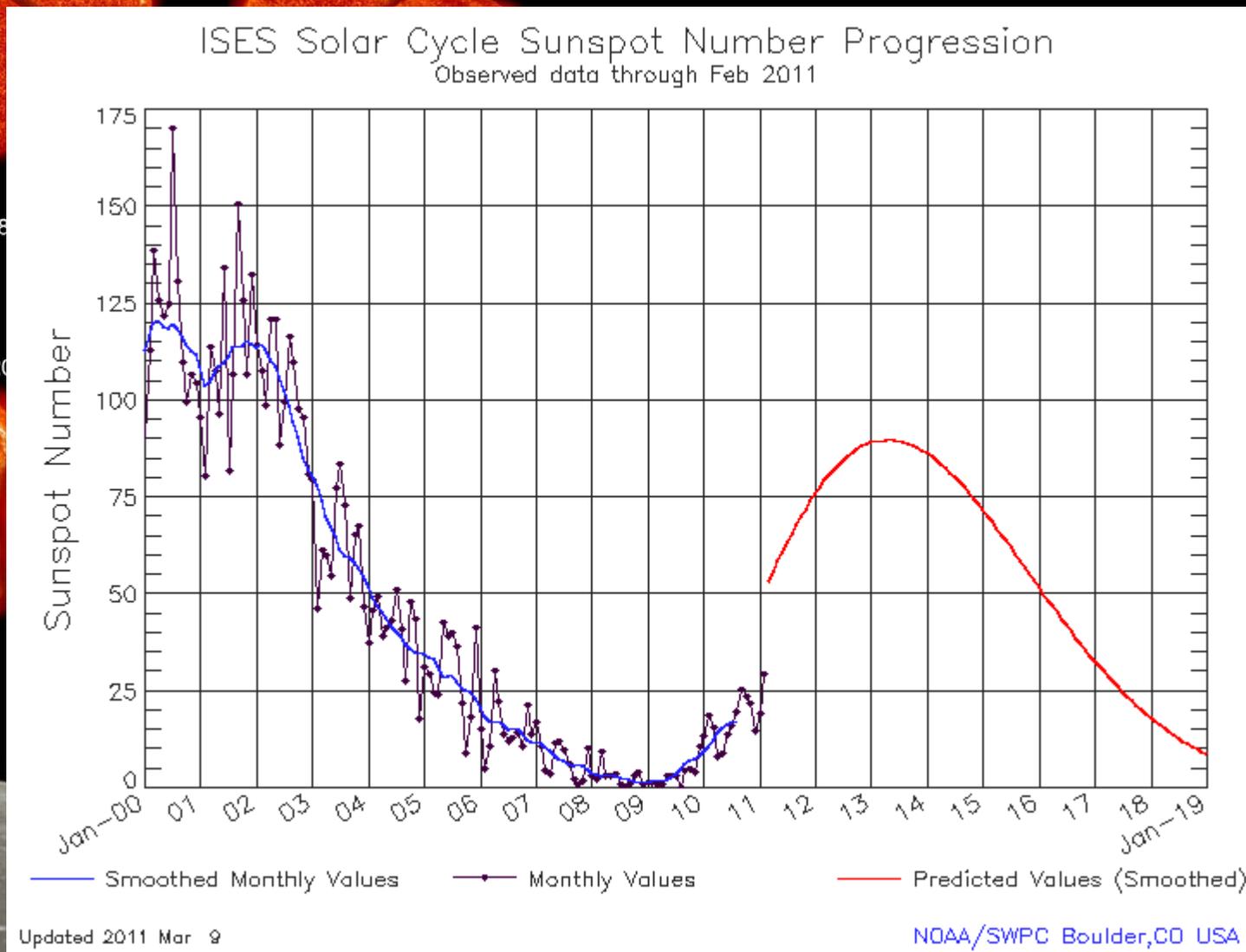
CARGA ELECTRICA Y ARRASTRE EN  
SATELITES Y VV. EE.  
ERRORES DE NAVEGACION  
ERRORES TRAYECTORIAS DE  
LANZAMIENTO  
INTERFERENCIAS DE RADAR  
ANOMALIAS RADIOPROPAGACION  
BLOQUEOS POTENCIA

# La aparición de auroras refleja el nivel de actividad del Sol

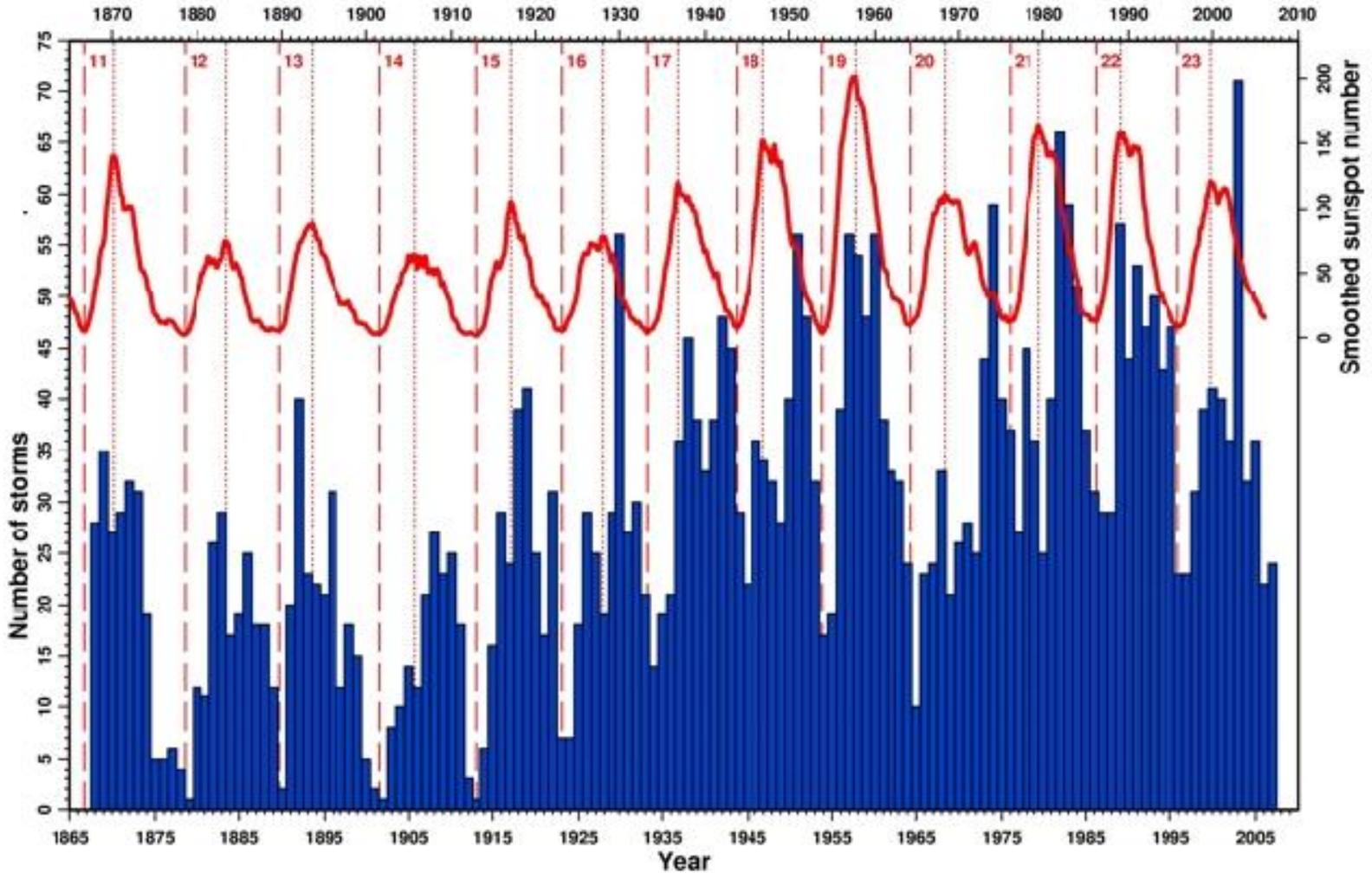




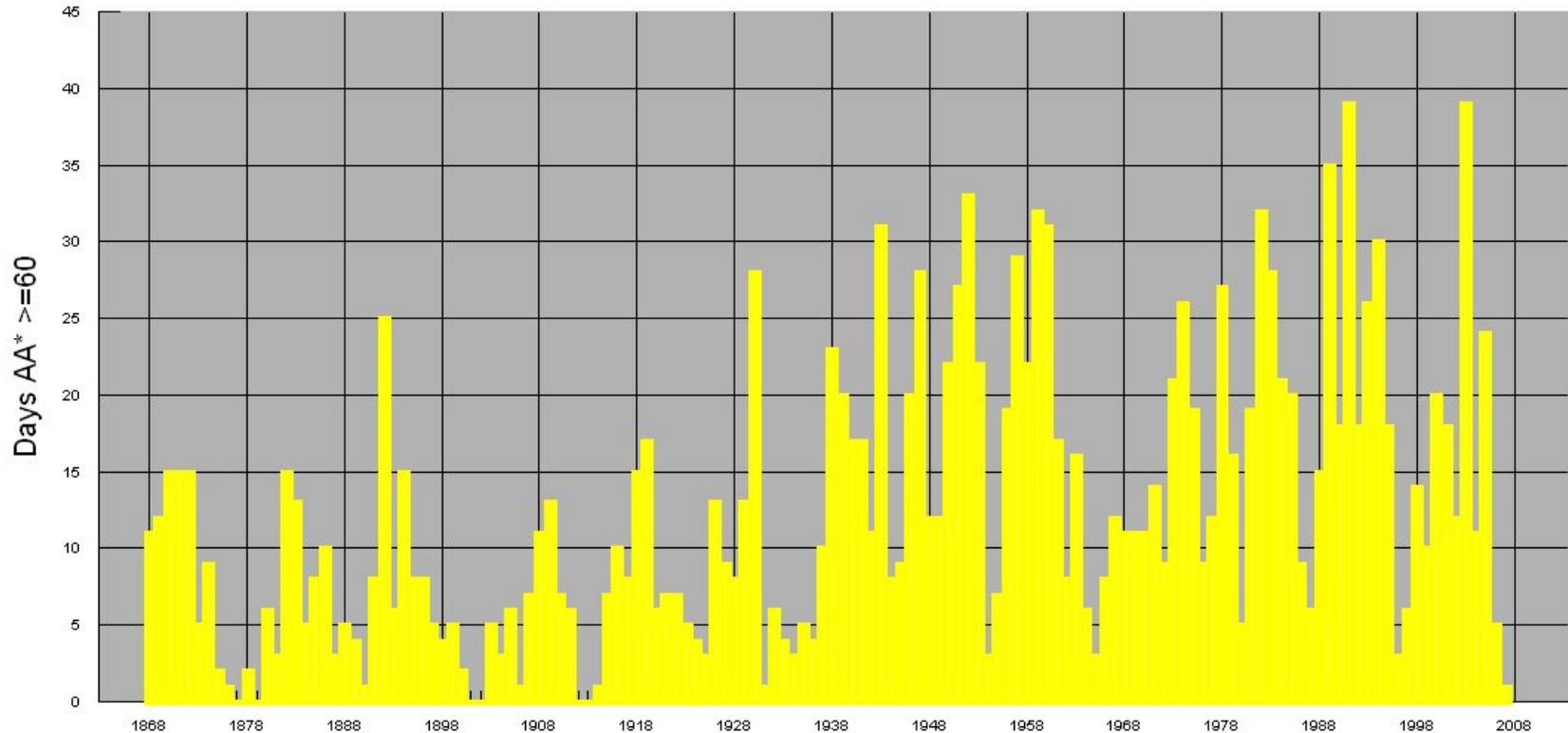
# Ciclo solar: 11 años



### Sunspot Cycle and Annual Number of Magnetic Storms



## Annual Number of Days AA\* $\geq 60$ 1868 - 2007



<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/aastar.html>



## Escala de Clima Espacial de NOAA

Categoría		Efectos	Parámetro Físico	Frecuencia Promedio (1 ciclo = 11 años)
Escala	Descriptor	La duración del evento influye en la severidad de los efectos		
		<b>Tormentas Geomagnéticas</b>	Valores de Kp* determinados cada 3 horas	Número de tormentas para el valor de Kp señalado; (tormentas días)
G 5	Extremo	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Amplios problemas de control del voltaje y de los sistemas de protección. Algunas redes de transmisión pueden colapsar, y los transformadores pueden llegar a sufrir daños.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Inducción de carga eléctrica superficial extensiva, dificultades con la orientación, problemas con los enlaces y el seguimiento de satélites.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> La corriente inducida en las redes de combustibles es de cientos de amperes, en extensas áreas se bloquean las ondas de radio de alta frecuencia (HF) por varios días, se afecta la navegación por satélites durante un intervalo similar, se bloquea por horas la navegación por señales de baja frecuencia, y pueden verse auroras en zonas como Florida y el sur de Texas ( típicamente 40° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp - 9	4 por ciclo (4 días por ciclo)
G 4	Severo	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Posibilidad de amplios problemas de control del voltaje y de los sistemas de protección, irregular funcionamiento de la red de transmisión.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Posibilidad de inducción de carga eléctrica superficial y de dificultades con el seguimiento, se podrían requerir correcciones a los problemas de orientación.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> La inducción eléctrica en las redes de distribución de combustibles afecta las medidas preventivas, hay bloqueos esporádicos de señales de radio de HF, se afecta durante varias horas la navegación por satélites, se afecta la navegación por baja frecuencia, la aurora ha sido observada hasta en Alabama y el norte de California ( típicamente 45° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp - 8, incluyendo a 9-	100 por ciclo (60 días por ciclo)
G 3	Fuerte	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Se podrían requerir acciones de control del voltaje, se disparan en falso las alarmas de protección.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Posibilidad de inducción de carga eléctrica en los componentes, puede ocurrir un incremento de la razón de decaimiento de satélites de órbitas bajas, podrían requerirse correcciones de la orientación.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Intermitencia en la navegación por satélites y por señales de baja frecuencia, señales de radio de HF intermitentes, la aurora ha sido observada hasta en Illinois y Oregon ( típicamente 50° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp - 7	200 por ciclo (130 días por ciclo)
G 2	Moderado	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Pueden producirse alarmas de voltaje en los sistemas de distribución de altas latitudes. Tormentas de larga duración pueden producir daño en transformadores.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Se requieren acciones correctivas por el centro de control, los cambios en el decaimiento de los satélites afectan los cálculos de órbitas.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> La propagación de señales de HF se desvanece a altas latitudes, la aurora se ha visto hasta en New York e Idaho ( típicamente 55° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp - 6	600 por ciclo (360 días por ciclo)
G 1	Menor	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Débiles fluctuaciones de potencia.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Afectaciones menores a la operación de satélites.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Los animales migratorios se ven afectados a este y a niveles superiores. La aurora se ve comúnmente a altas latitudes (Norte de Michigan y Maine)**.</p>	Kp - 5	1700 por ciclo (900 días por ciclo)

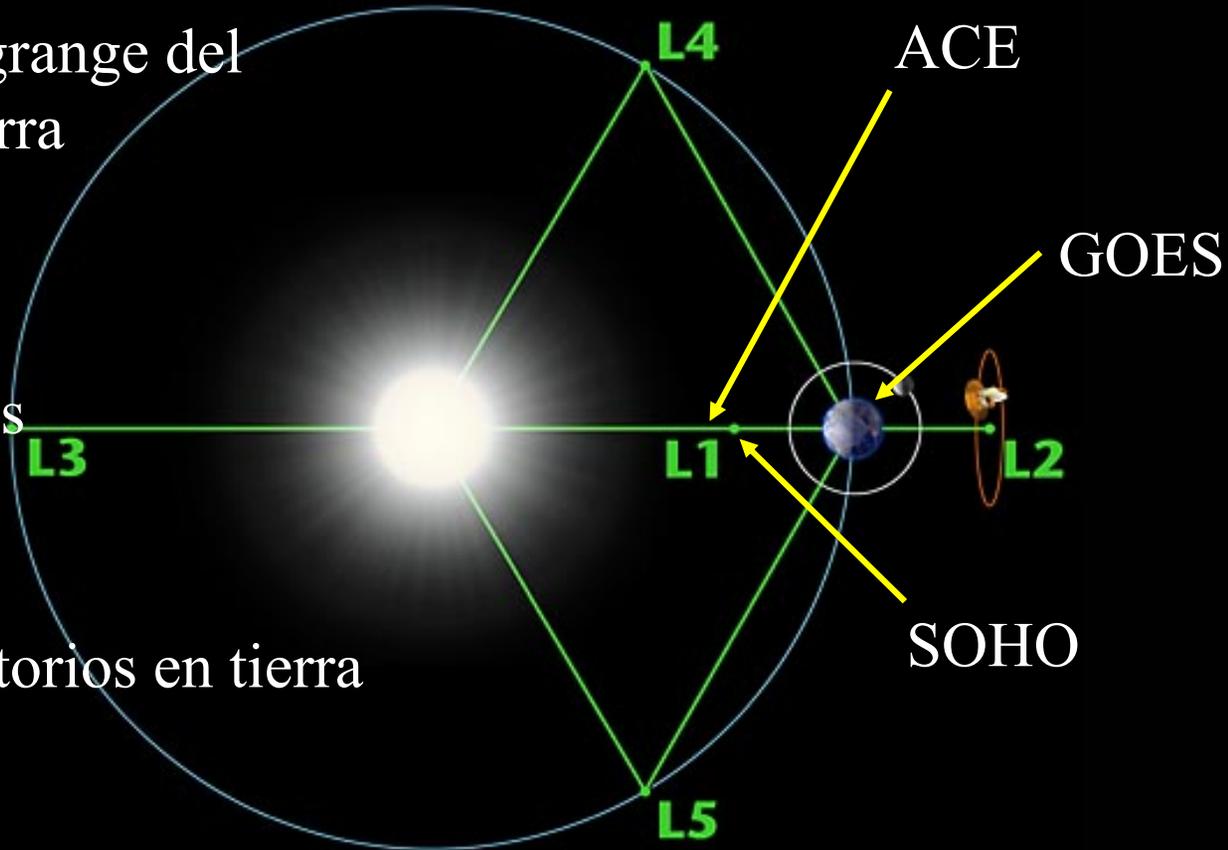
\* puede ser substituido por otras medidas, como el DST. \*\* Para determinar la posibilidad de observar la aurora en lugares específicos, utilice el valor local de la latitud geomagnética (vea [www.sec.noaa.gov/Aurora](http://www.sec.noaa.gov/Aurora))

## Sistema de detección

Satélites situados en el punto L1 de Lagrange del Sistema Sol-Tierra

Satélites geoestacionarios

Red de Observatorios en tierra



ACE

IMF Bz

19-21 Noviembre, 2003

ACE

Velocidad viento solar

ACE

Densidad viento solar



Componente CM paralela eje rotación Tierra

Goes 10

Goes 10

Flujo de protones: 4-9; 9-15; 15-40 MeV

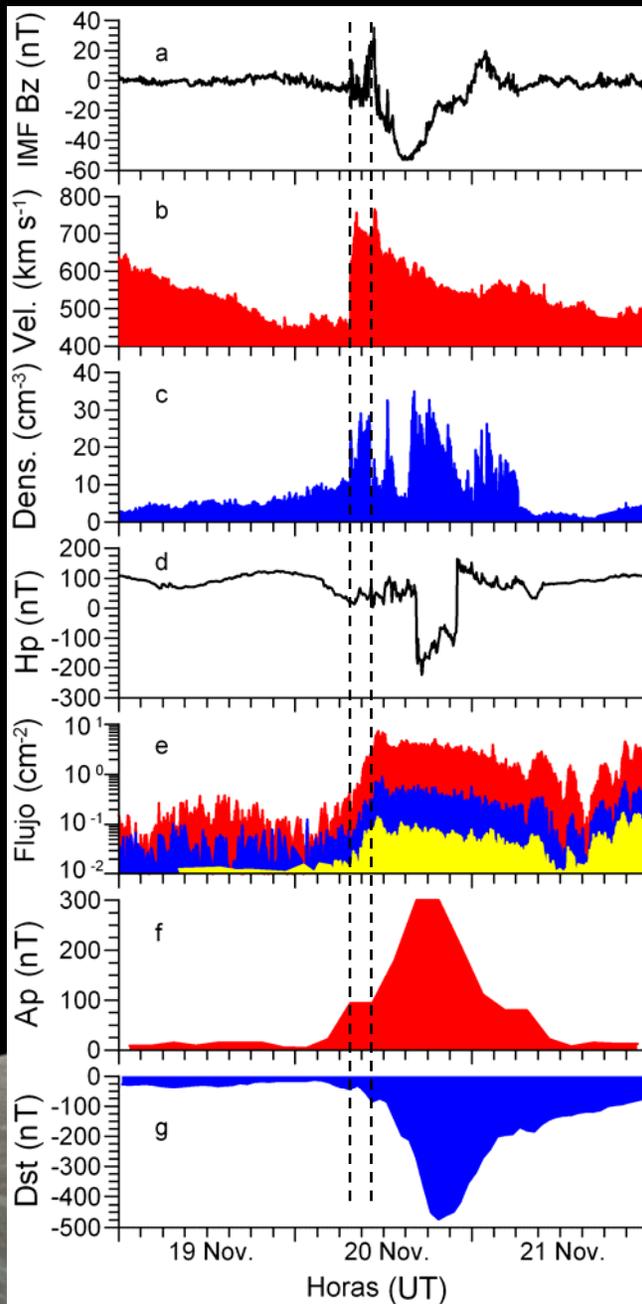
Obser.

Índice Ap

Obser.

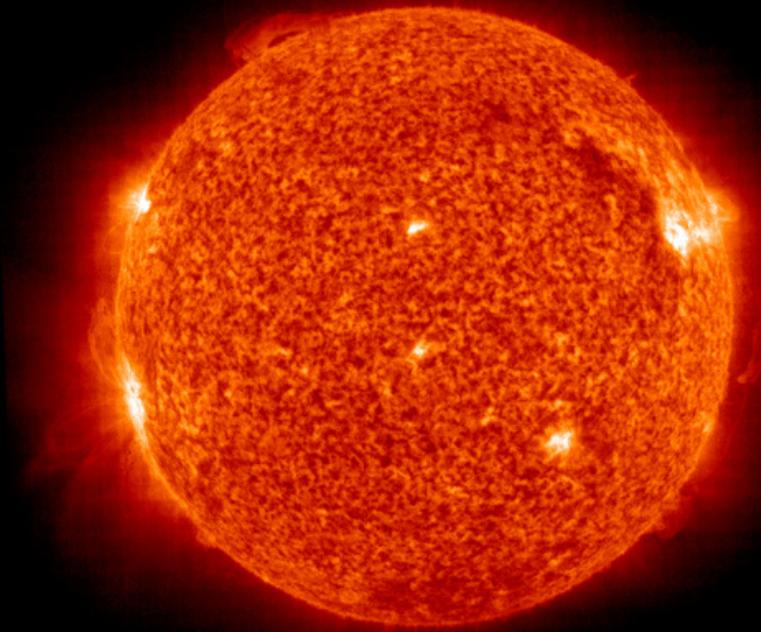
Índice Dst

BLANCH, 2009

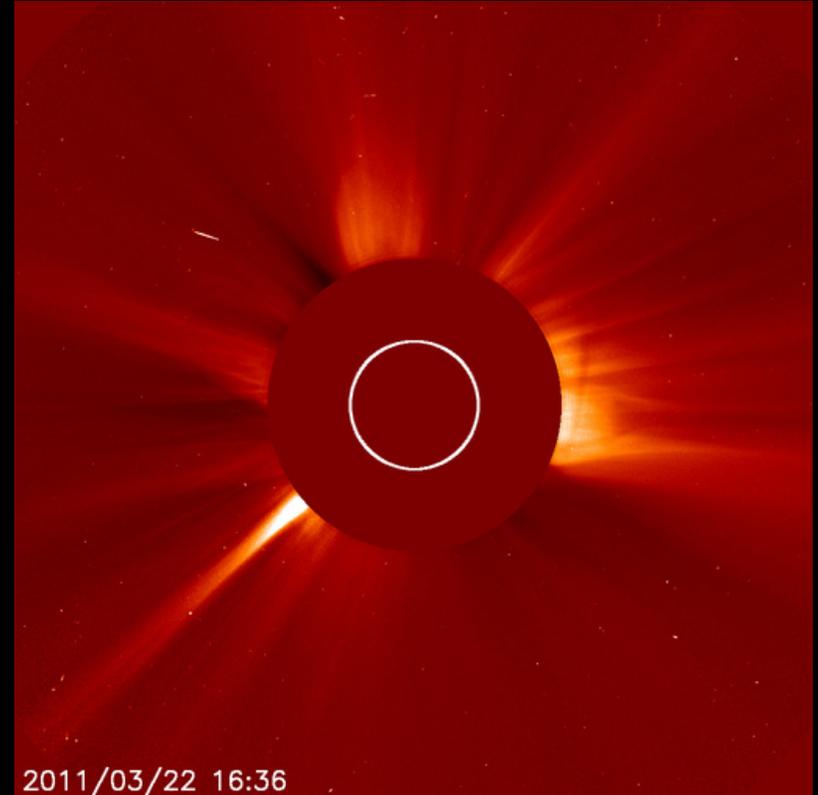


Qué tiempo hace hoy ?

SOHO



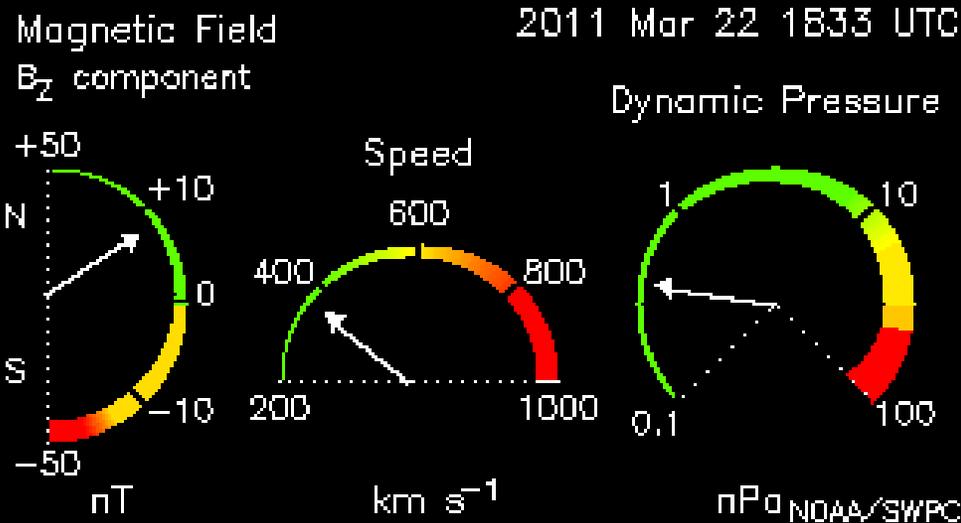
2011/03/22 13:19



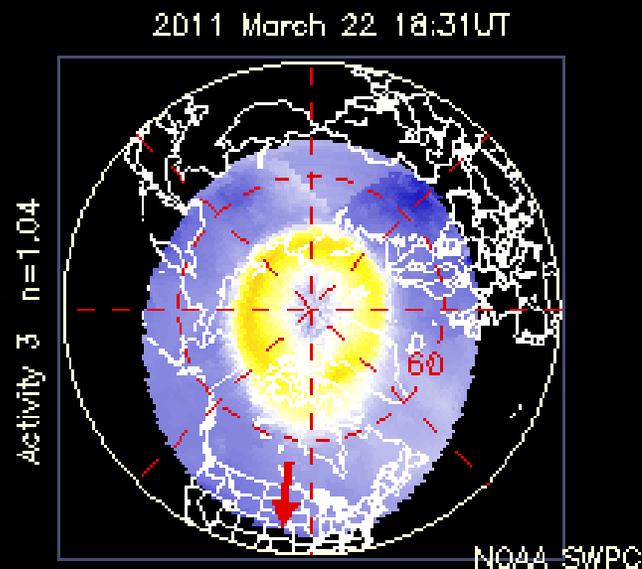
2011/03/22 16:36

<http://www.swpc.noaa.gov/SWN/index.html>

## Estado del viento solar



## Actividad auroral



## Información sobre tormentas

	<u>ult. 24 h</u>	<u>actualmente</u>
Tormentas geomagnéticas	ninguna	ninguna
Tormentas solares	S1	ninguna
Bloqueos de radio	ninguno	ninguno

<http://www.swpc.noaa.gov/SWN/index.html>

## CONCLUSIONES

Nos enfrentamos a un problema de origen natural  
Cuyas características se pueden conocer de antemano

Que, probablemente, tenderá a agravarse en los  
próximos meses



Con efectos extraordinariamente importantes para nuestra  
vida marcada por la dependencia tecnológica ...

Efectos que pueden ser atenuados tomando medidas  
preventivas



**Muchas gracias por su atención !!!!!**

