



# ***UNA APROXIMACIÓN A LA SITUACIÓN ACTUAL DEL TIEMPO ESPACIAL Y SU ANÁLISIS***

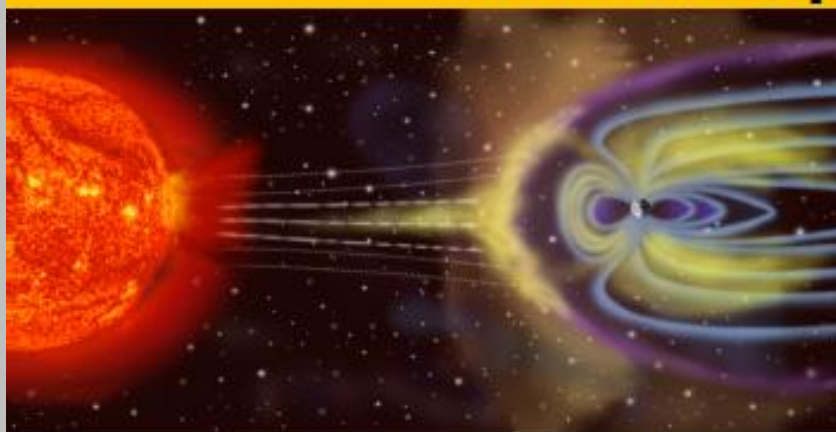
Miguel Herraiz Sarachaga

Catedrático de Física de la Tierra  
Universidad Complutense de Madrid



23 marzo, 2011

## Jornada técnica: Clima Espacial



### Objetivos:

- Describir y analizar los factores implicados en el desarrollo del clima espacial, así como su Peligrosidad, Vulnerabilidad y Riesgo.
- Analizar las medidas desarrolladas por las instituciones estatales e internaciones sobre las tormentas magnéticas.
- Analizar el registro histórico de tormentas magnéticas y sus efectos.
- Poner en común las posibles medidas preventivas y sistemas de alerta a aplicar por las entidades posiblemente afectadas.

### LUGAR DE CELEBRACIÓN:

Escuela Nacional de Protección Civil  
Camino de Salmedina S/N, Autovía  
de Valencia, Km.19  
Rivas – Vaciamadrid (Madrid)



SUBSECRETARÍA  
DIRECCIÓN GENERAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL  
Y EMERGENCIAS





## CONCLUSIONES de la conferencia en la I JORNADA

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



## Introducción

Actividad solar y geomagnética y sus efectos

Algunas respuestas al problema

Conclusiones y cuestiones abiertas



# Introducción



## Las referencias del problema

Evento de Carrington (1859).

La mayor tormenta registrada ( $Dst = -850nT$ ).

Primeros efectos en la tecnología

Tormenta del 13 Marzo, 1989. ( $Dst = -640nT$ ).

Apagón de Canadá. Fallos red eléctrica de Estados Unidos y Suecia. 1600 satélites afectados

¿ Qué sucedería si el Evento de Carrington se repite ? (Probabilidad 5% para los próximos 10 años; 12% Riley, 2012)



## Recordando el problema...

**S** Fenómenos magnéticos violentos muchas veces vinculados a  
**O** manchas solares

**L** Generación de Fulguraciones Solares (SF): Flujo Potencia  
Rayos X, W/m<sup>2</sup> , (A,B,C,M,X; 1-9)

Eyección de Masa Coronal (CME)

**M**  
**E**  
**D**  
**I**  
**O**

Modificación Viento Solar (densidad, velocidad, T, IMF)

**T**  
**I**  
**E**  
**R**  
**R**  
**A**

Variación Flujo Rayos X, Apagones de Radio (R1-R5)

Incremento flujo iones (>10MeV). Tormentas radiación solar (S1-S5)

Tormentas Geomagnéticas (G1- G5)



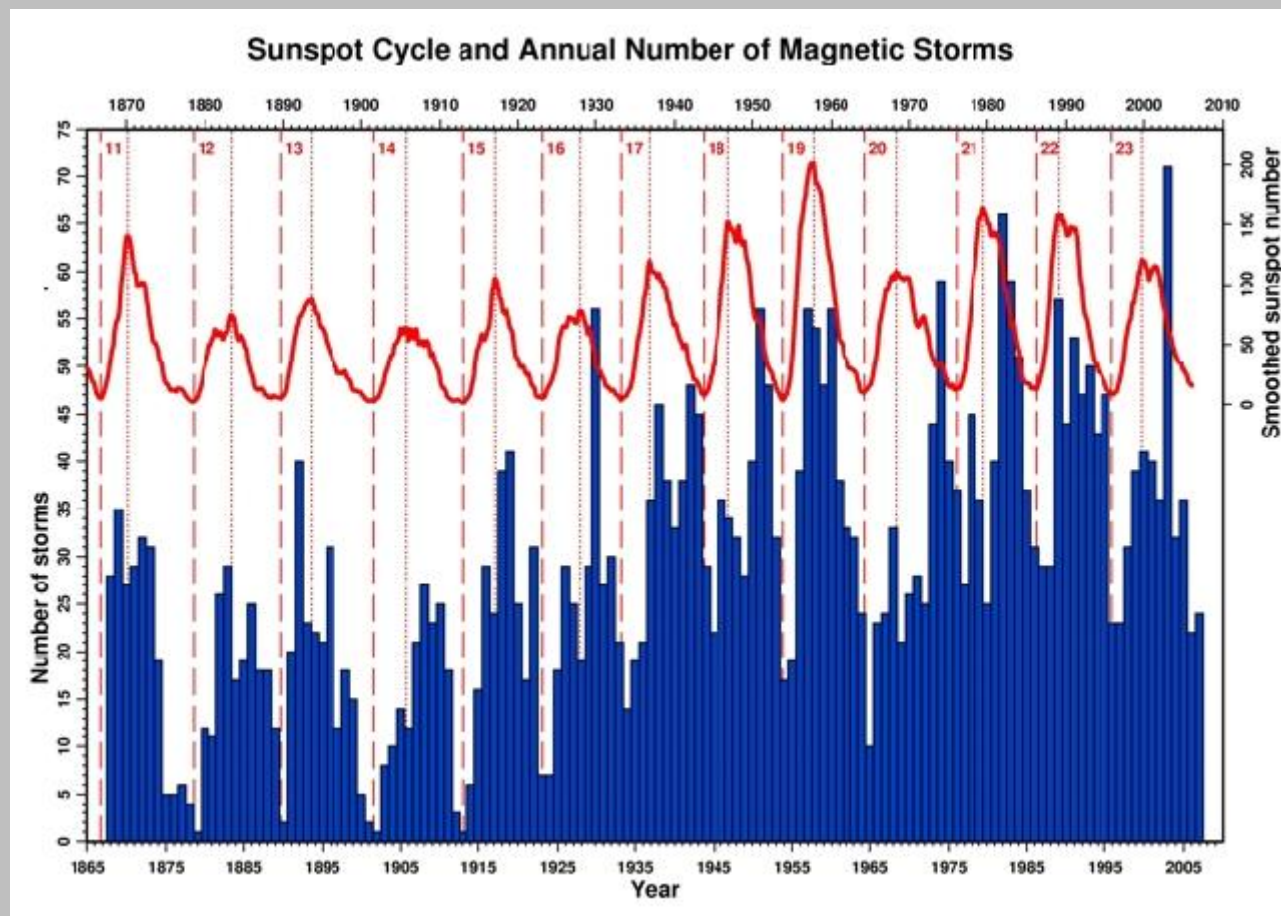
## Condiciones para la formación de una TG

Que la CME sea suficientemente energética

Que la CME golpee la Tierra

Que el IMF del Viento Solar tenga la orientación adecuada ( $B_z < 0$ )





**Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS),  
EARTH'S MAGNETIC FIELD by Susan Macmillan**



## 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 trasmisión 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 trasmisión.</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

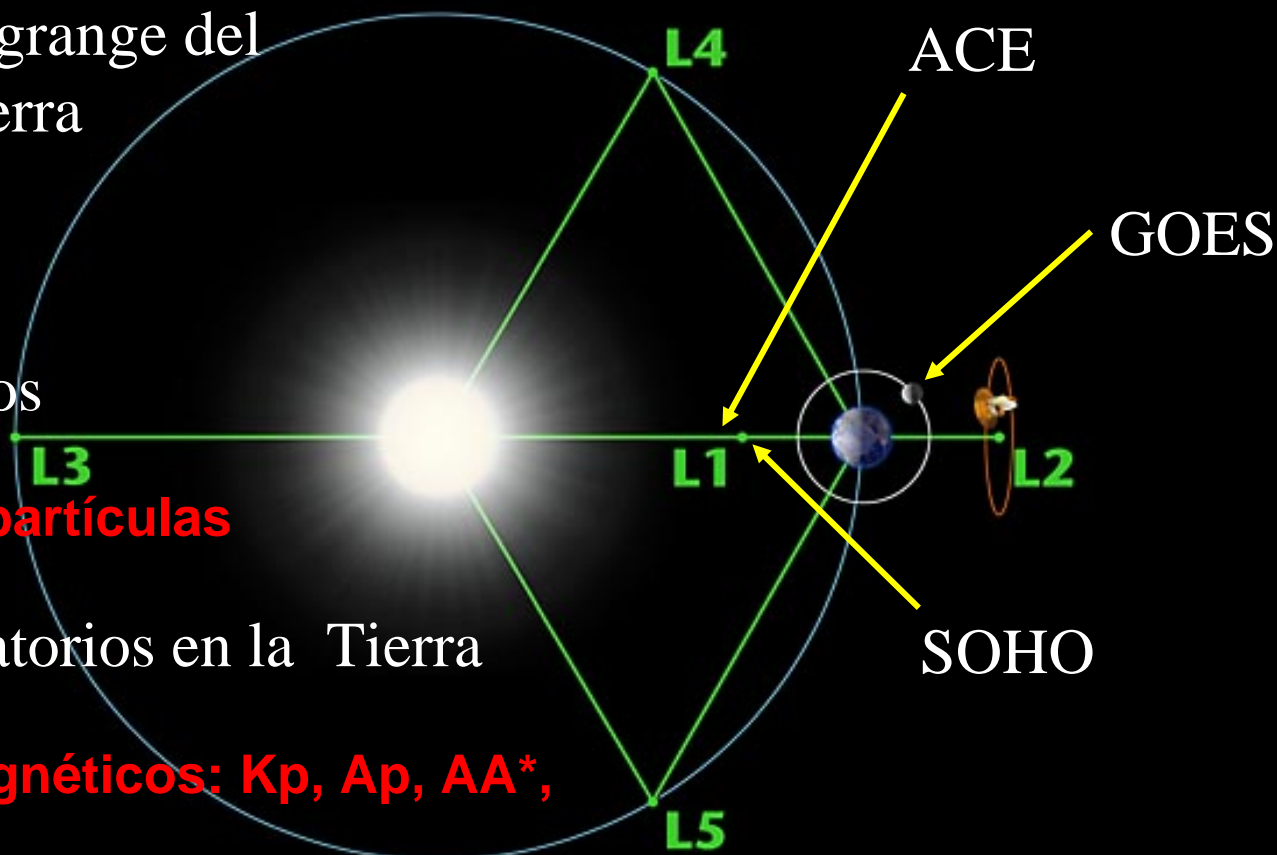
**Viento Solar**

Satélites geostacionarios

**Flujo rayos X, partículas**

Red de Observatorios en la Tierra

**Índices geomagnéticos: Kp, Ap, AA\*, Dst.**





## Sistema de Alerta

US Space Weather Prediction Center (Boulder, Colorado):  
Capacidad para emitir alertas de grandes tormentas con 10-60 minutos de anticipación y fiabilidad superior al 50% utilizando ACE (Hapgood, 2012 ).

Las alertas podrían realizarse hasta con 6 horas de adelanto con el nuevo sistema: Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO)

Amplia colaboración internacional: SWPC (NOAA); SWENET (ESA), SIDC/RWC (Bélgica), IPS (Australia), ...



## REGIONAL WARNING CENTERS

European Space Agency (Noordwijk, ESAC...)

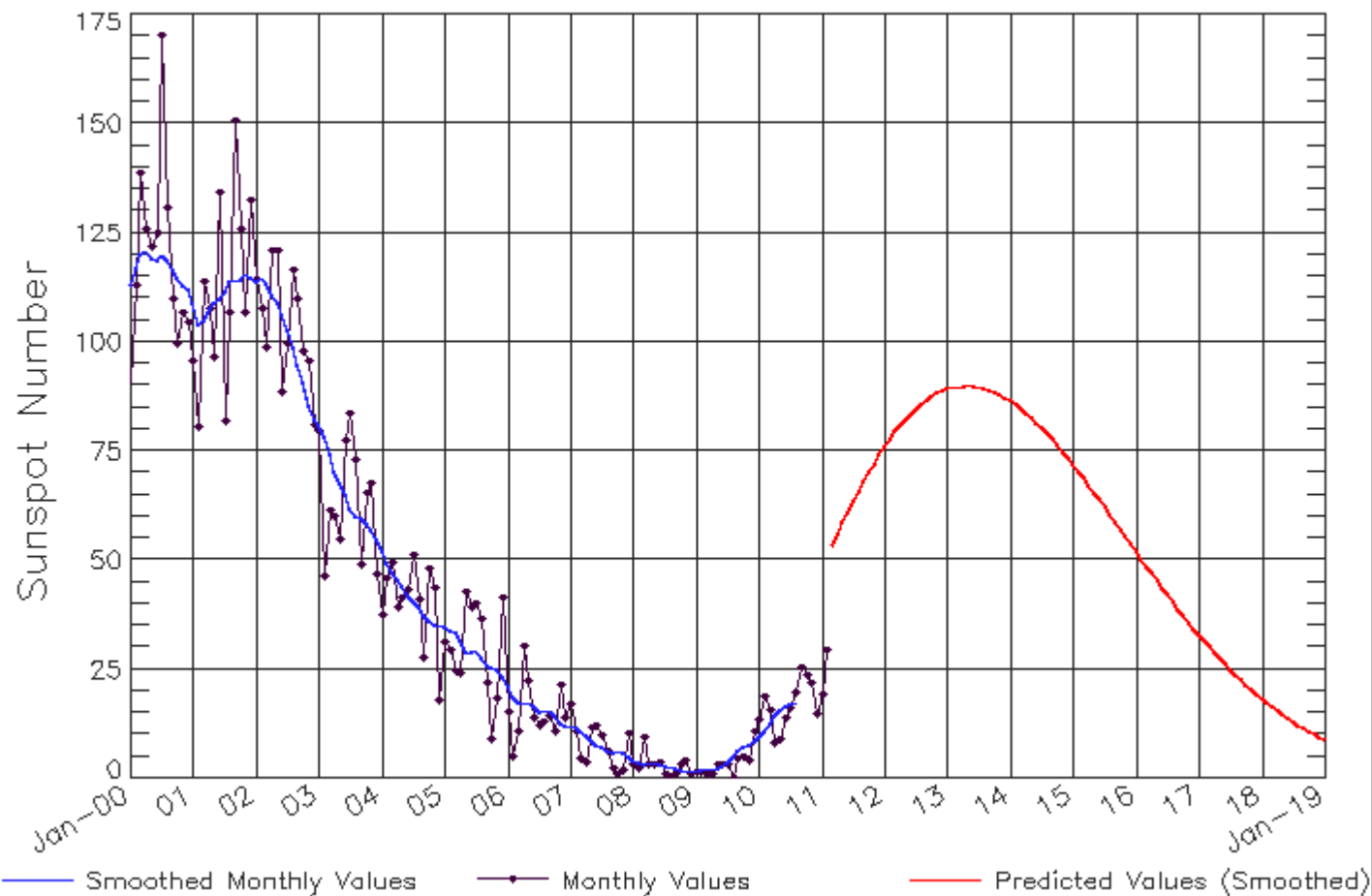


## Actividad solar y geomagnética y sus efectos



### ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression

Observed data through Feb 2011



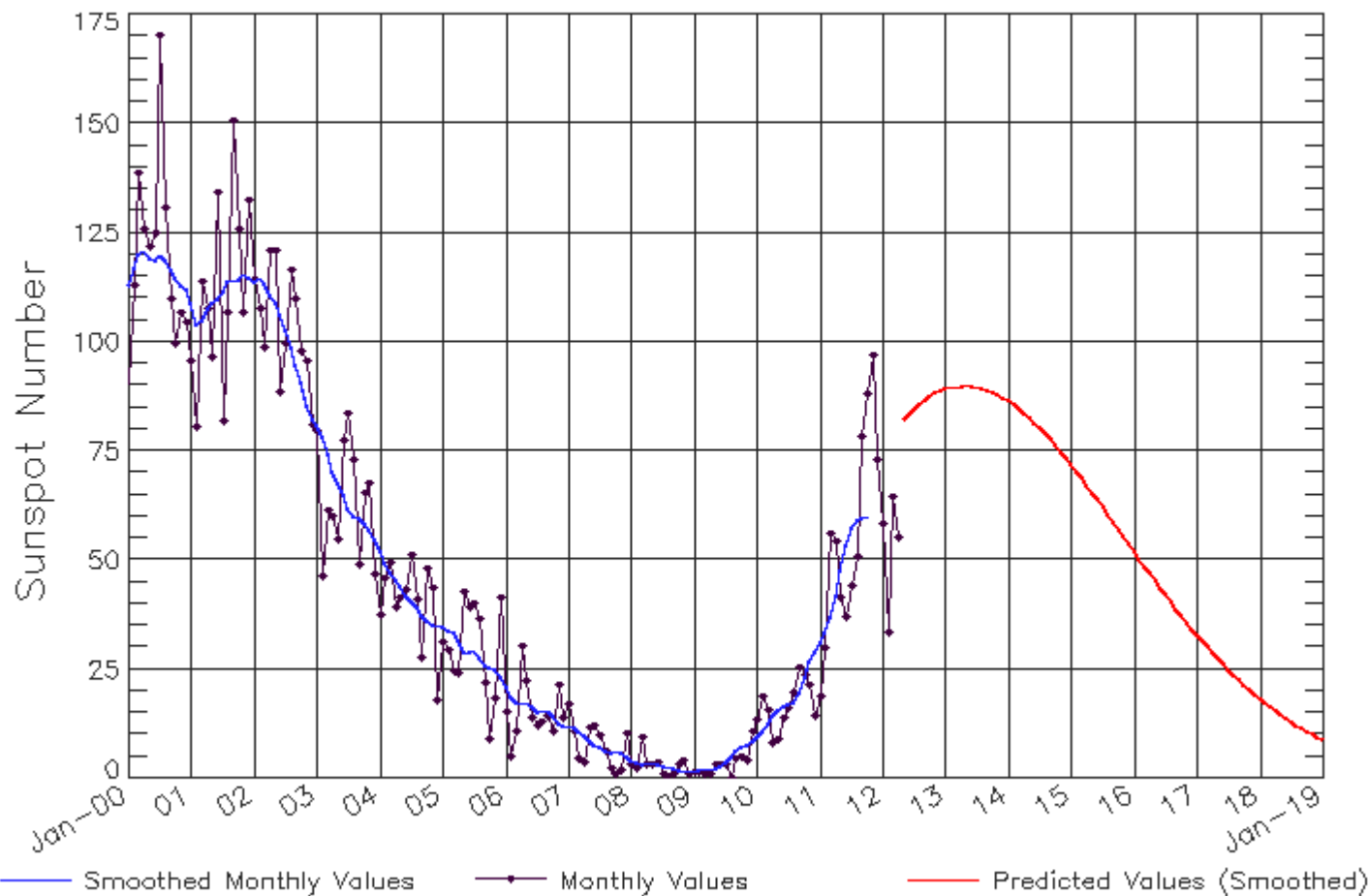
Updated 2011 Mar 9

NOAA/SWPC Boulder, CO USA



### ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression

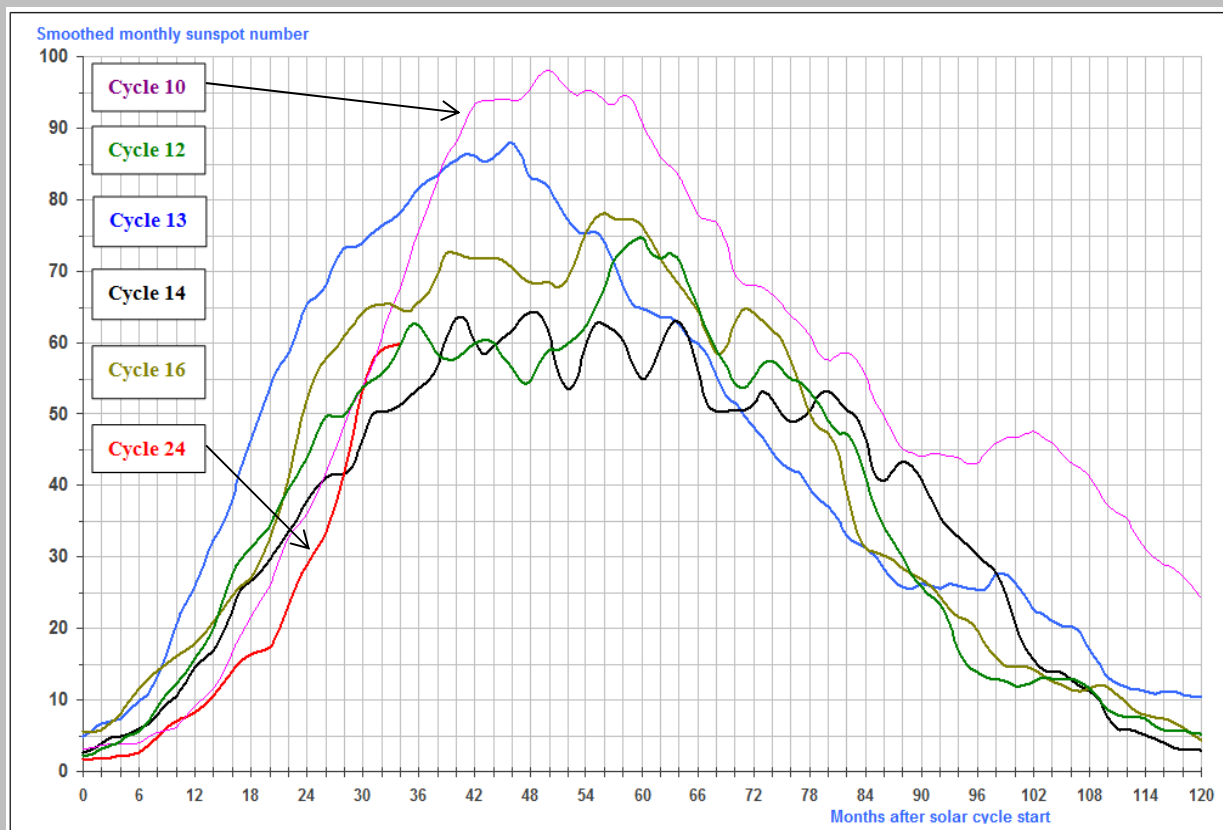
Observed data through Apr 2012



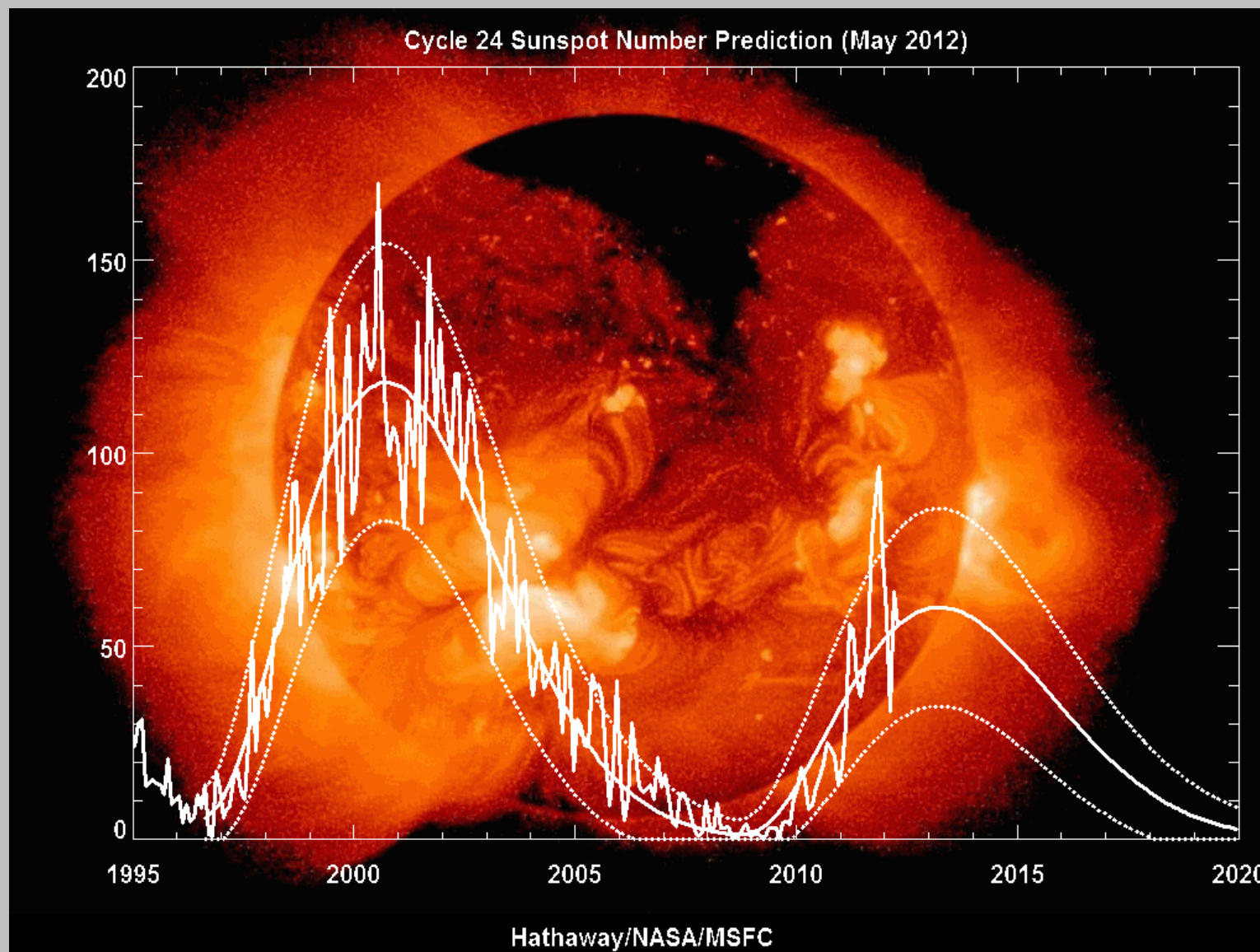
Updated 2012 May 7

NOAA/SWPC Boulder, CO USA



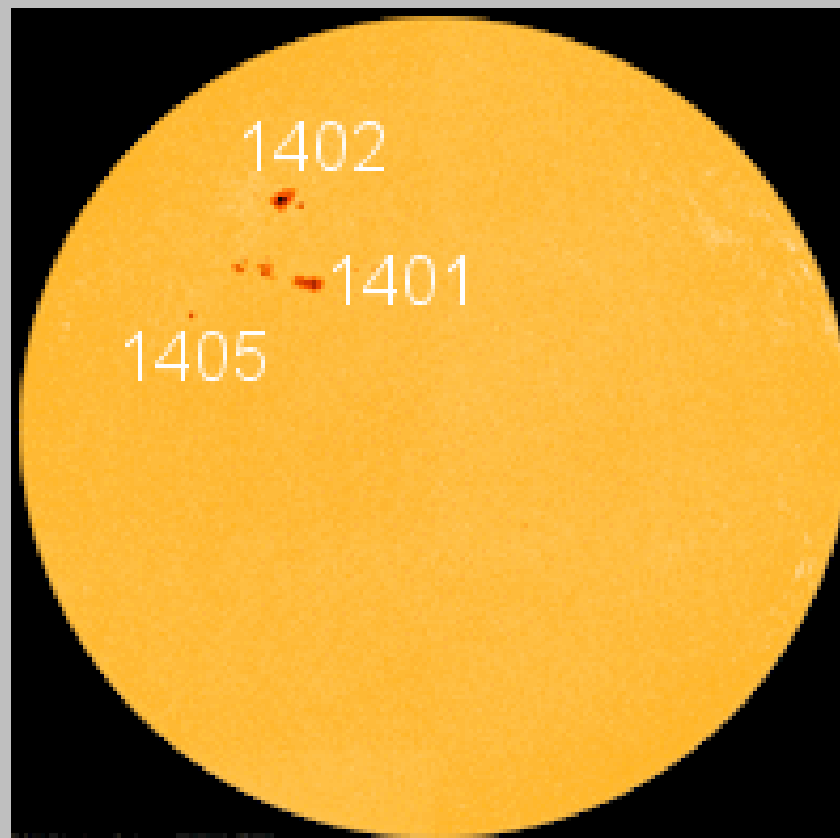


Ciclo de comienzo lento, similar al 10 (1855-1867)





## I. Serie de actividad solar, finales de **enero** de 2012.



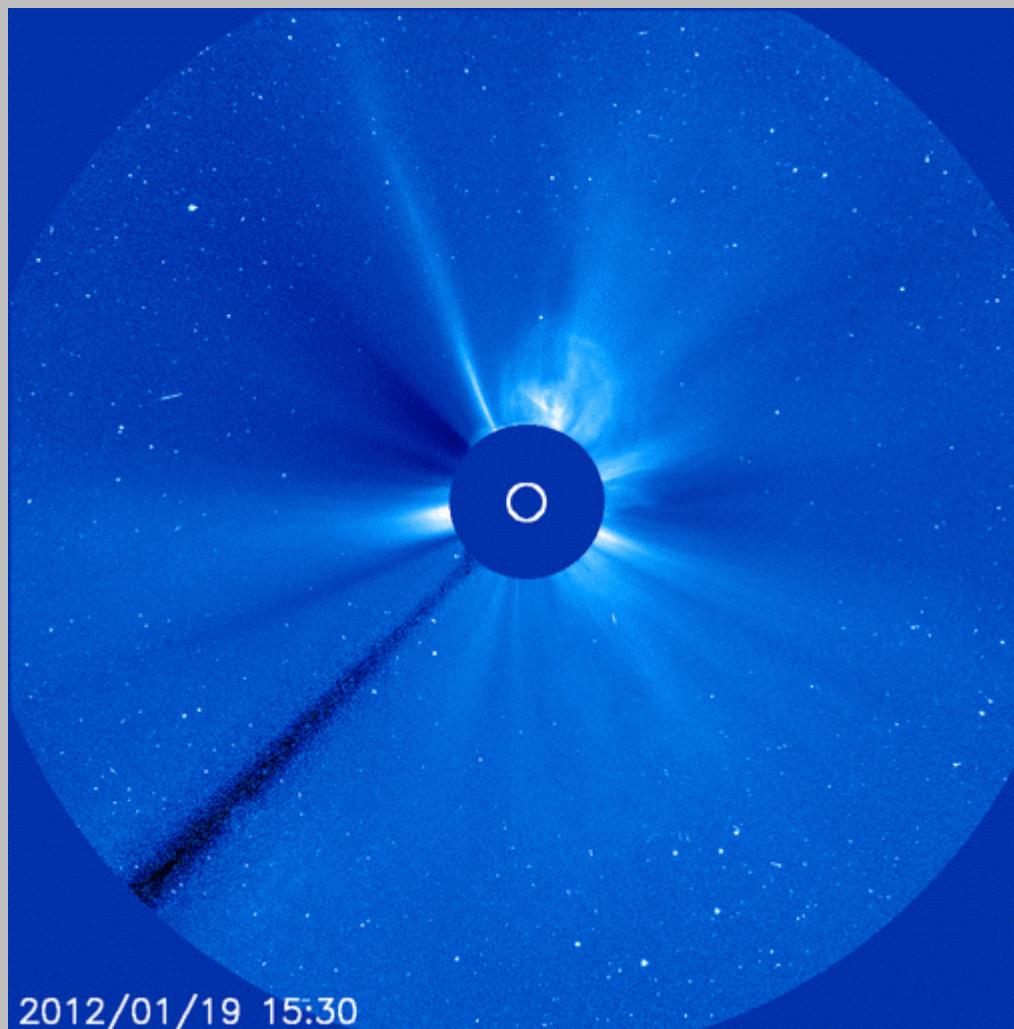
19 enero, 2012.

SDO/HMI





19 enero, 16h30 UT, 1401 produce una CME de clase M3.



SOHO/LASCO





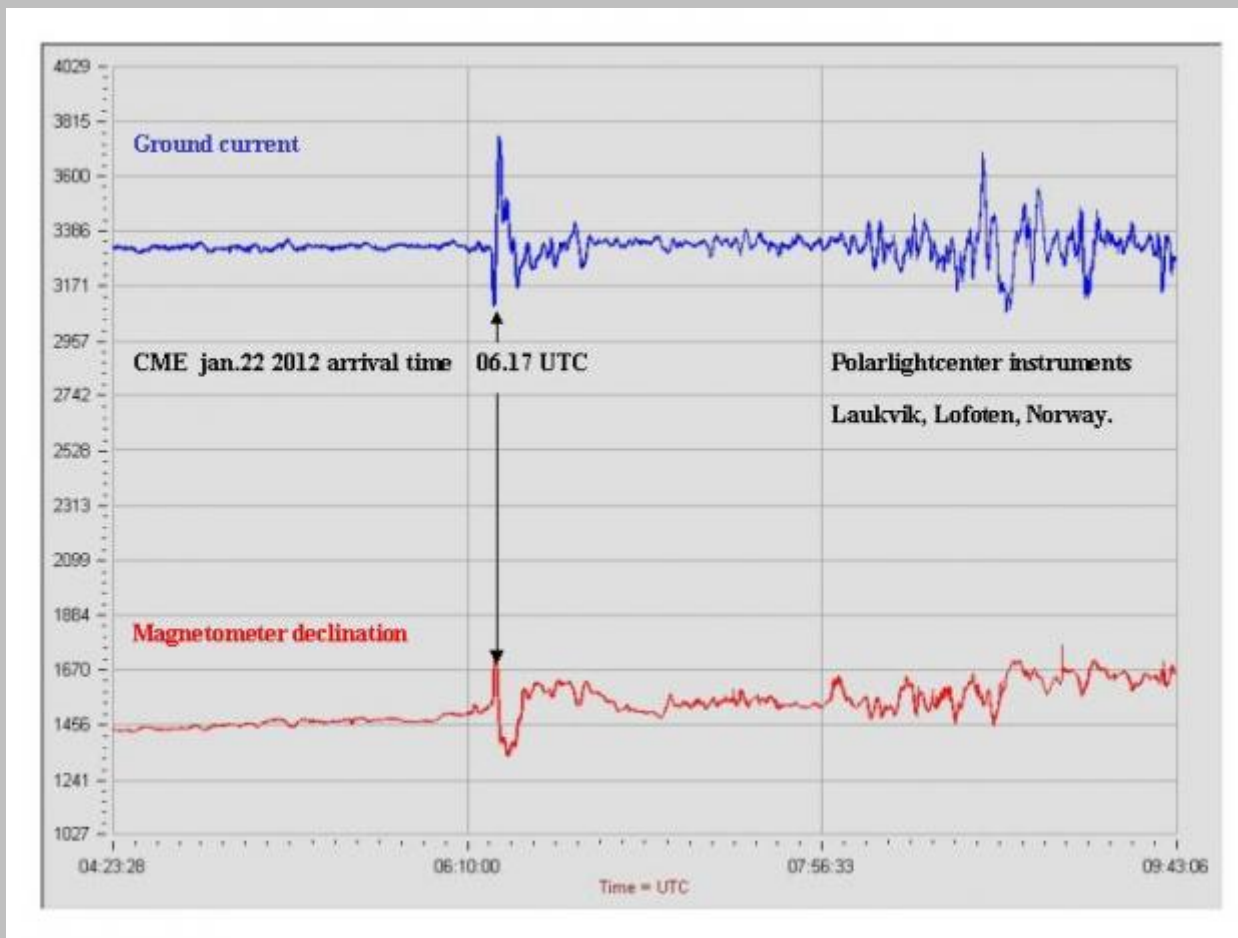
22 enero 2012. Chatanika, Alaska. Ronn Murray.



Tromso, Noruega.



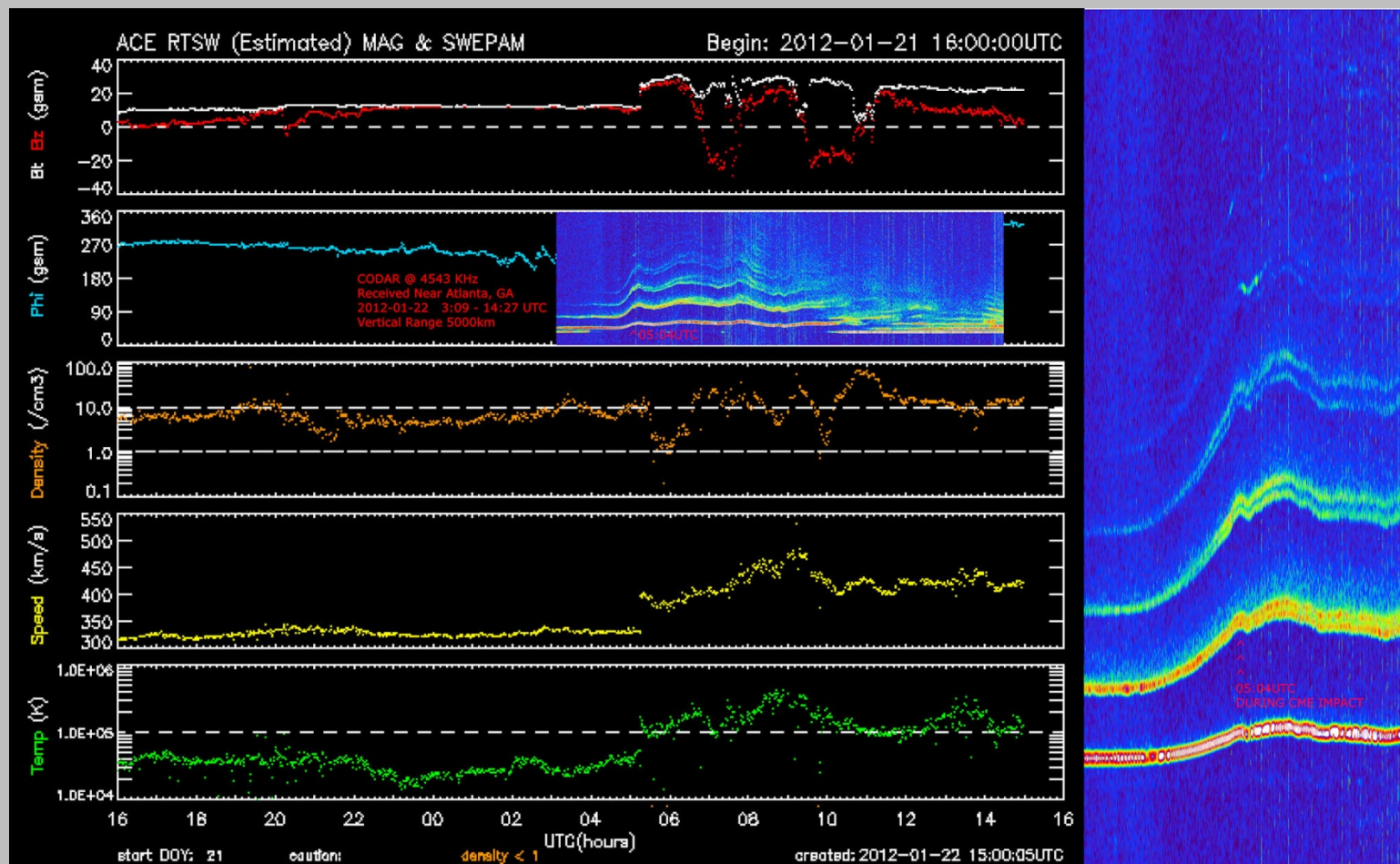
## Aparición de GICs en Noruega



Laukvik, Lofoten, Norway.

Madrid, 29 de Mayo de 2012

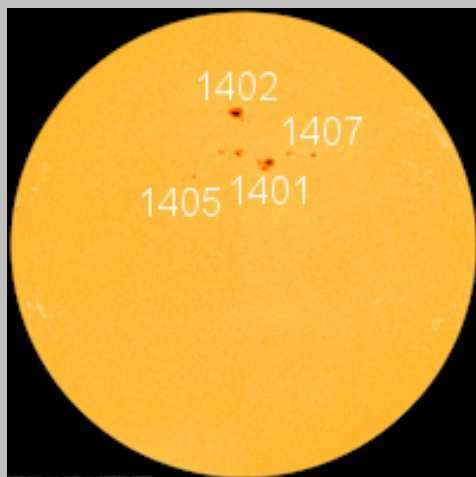
## Perturbaciones ionosféricas



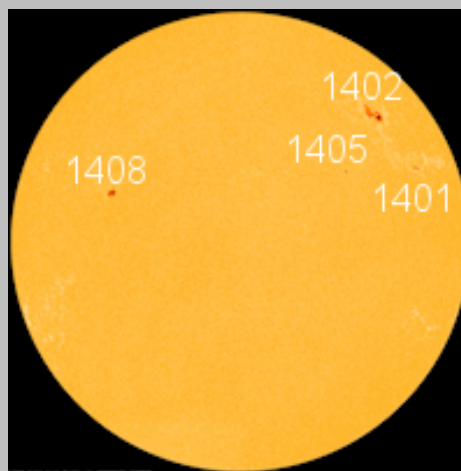
COastal raDAR (4.5 Mhz) , Atlanta Georgia



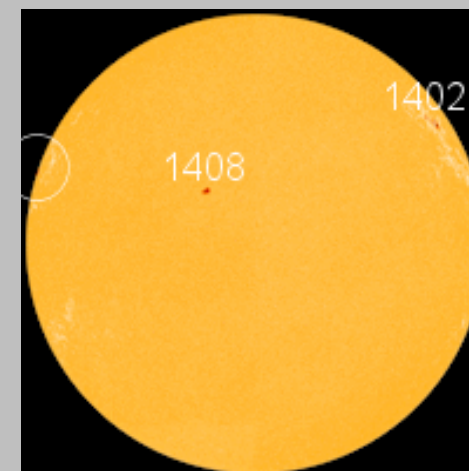
El grupo AR1402 produce un SF clase M9 pero no geoelectivo



21 enero, 2012.

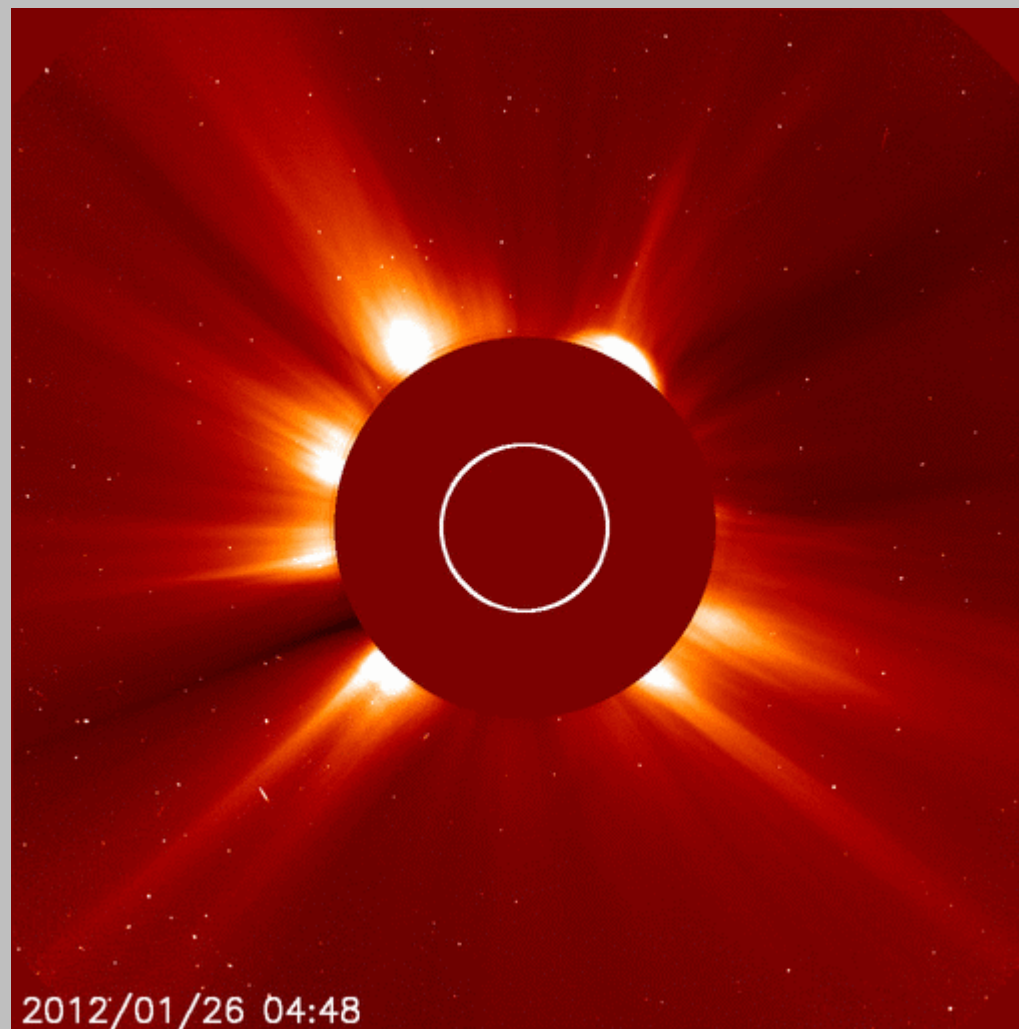


25 enero, 2012.



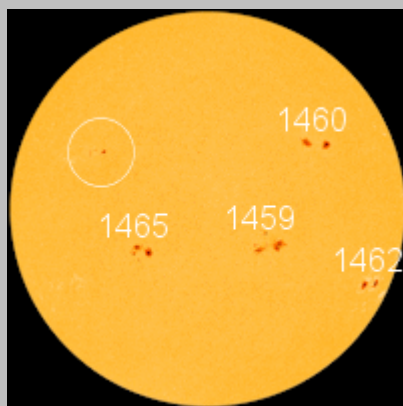
26 enero, 2012

SDO/HMI

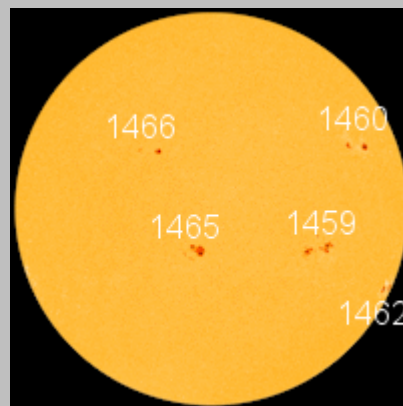


SOHO/LASCO

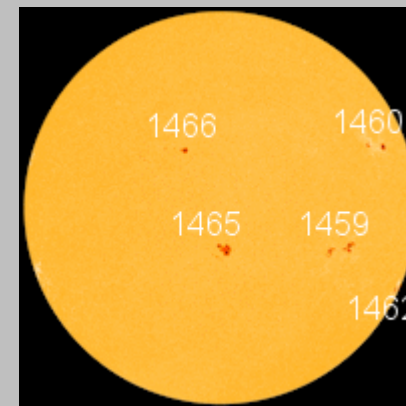
## II. Serie de actividad solar, finales de **abril** de 2012.



21 abril, 2012.



23 abril, 2012.



24 abril, 2012

SDO/HMI



## II. Serie de actividad solar, finales de **abril** de 2012.

Space Weather Message Code: WARK07

Serial Number: 37

Issue Time: 2012 Apr 24 0204 UTC

WARNING: Geomagnetic K-index of 7 or greater expected

Valid From: 2012 Apr 24 0205 UTC

Valid To: 2012 Apr 24 0600 UTC

Warning Condition: Onset

NOAA Scale: G3 or greater - Strong to Extreme

NOAA Space Weather Scale descriptions can be found at  
[www.swpc.noaa.gov/NOAAscales](http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales)

Potential Impacts: Area of impact primarily poleward of 50 degrees Geomagnetic Latitude.  
Induced Currents - Power system voltage irregularities possible, false alarms may be triggered on some protection devices.

Spacecraft - Systems may experience surface charging; increased drag on low Earth-orbit satellites and orientation problems may occur.

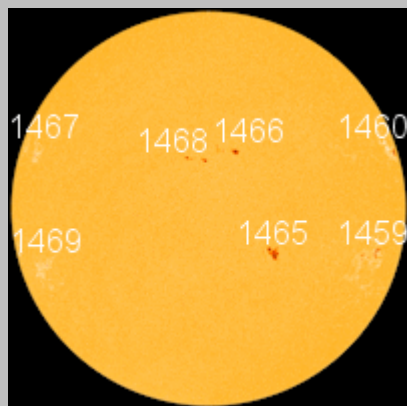
Navigation - Intermittent satellite navigation (GPS) problems, including loss-of-lock and increased range error may occur.

Radio - HF (high frequency) radio may be intermittent.

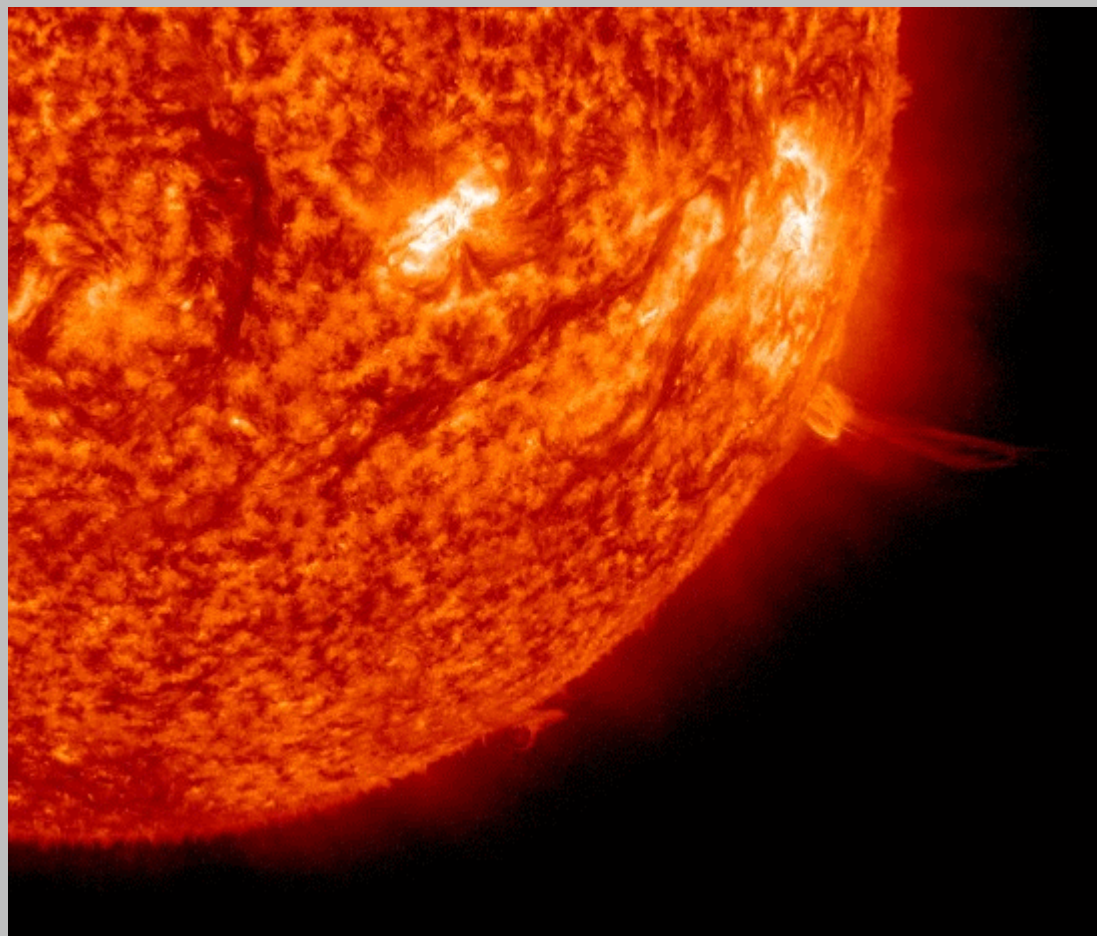
Aurora - Aurora may be seen as low as Pennsylvania to Iowa to Oregon.



26 abril de 2012.



26 abril, 2012.



SDO/HMI

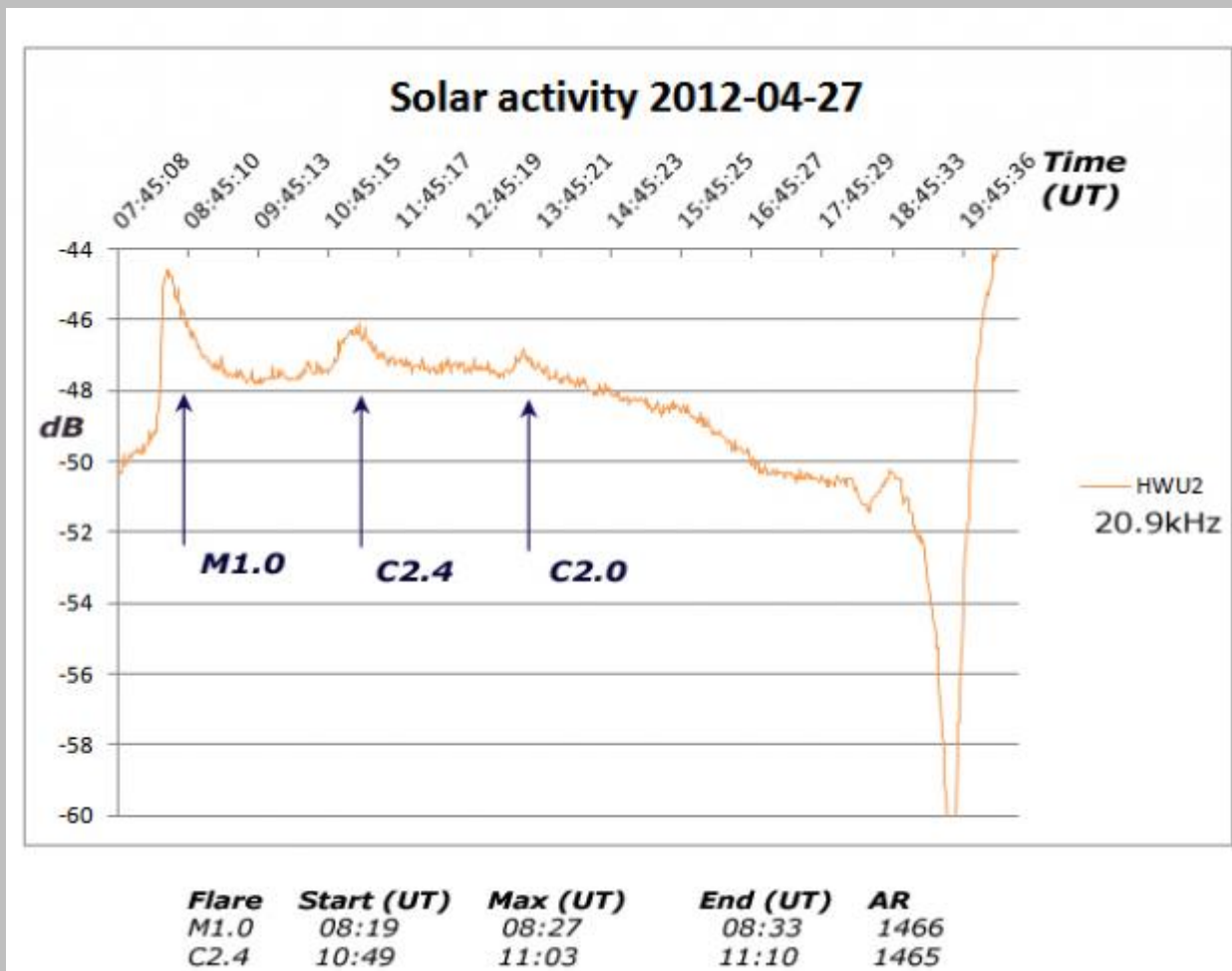


Alberta, Canada.





Giants Causeway, Irlanda (M. McKenna)

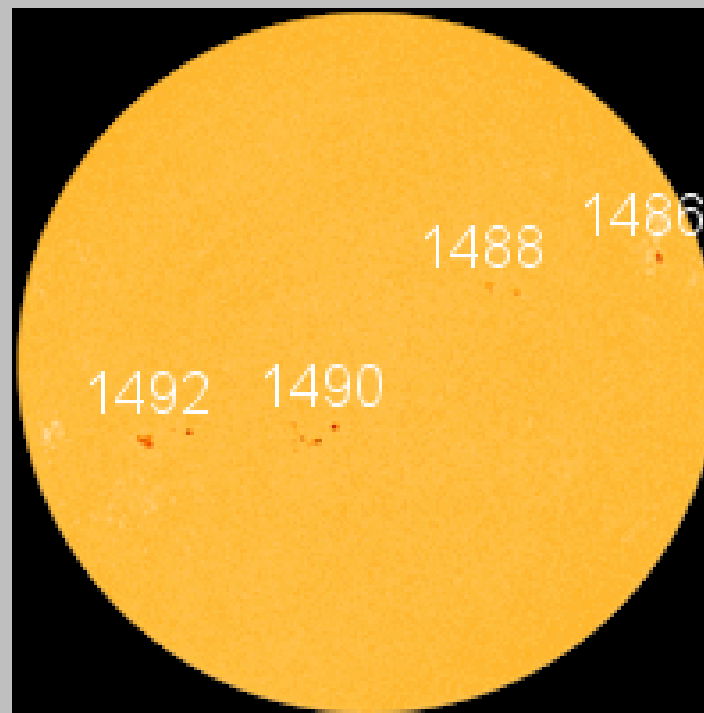


1465 ss.

D. Gradwell, Birr Irlanda (VLF)



28 mayo, 2012





## Algunas respuestas al problema



## Interés de los medios

La WMO se ha  
la Cooperación y  
de los riesgos eme

Una de las mayores tormentas solares de los últimos años se acerca a la Tierra. Está previsto que alcance la Tierra entre este jueves y mañana viernes. En las últimas horas se han producido llamaradas de gran intensidad. Podrían provocar problemas en las comunicaciones y el sistema eléctrico (08/03/2012)

La **tormenta solar** que hoy golpea la Tierra-su pico máximo ha llegado poco después de las tres de la tarde- ha comenzado a hacerse notar. Según informa la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera (NOAA) de EE.UU., **algunos vuelos que atravesaban el polo norte han sido desviados** de su ruta y otros aviones que volaban en altas latitudes **han disminuido el número de pies** para evitar los efectos de la potente llamarada, la más fuerte que recibe el planeta desde el año 2005. El «bombazo» enviado por el Sol, de clase M8,7 -muy cerca de la intensidad máxima- liberará una **impresionante tormenta geomagnética** que puede causar problemas en los satélites de comunicaciones

(ABC, 24/01/2012)

Realizados por la NASA y por la Organización para  
la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), para declarar este fenómeno como "uno

**La tormenta solar del fin del mundo**

**26/02/2010**



## Iniciativas Sociales

16 Abril 2011: Creación del Observatorio del Clima Espacial.

«Tarea de Creación seguimiento y divulgación de las noticias del clima espacial pero también de monitorización de los acontecimientos, análisis y materiales encaminados a la prevención» (M.A. Rodríguez)

Sistema de Alerta Civil , SACE, ante los EMPs



## Actividades Semana de la Ciencia

17 Noviembre 2011  
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

23 Noviembre 2011  
Facultad Físicas UCM

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

semana de la ciencia mirar

# La Tierra amenazada por las tormentas magnéticas

**LAS TERTULIAS DEL GEOFORO**

**Miguel Herraiz Sarachaga**  
Catedrático de Física de la Tierra  
Director del Dpto. de Geofísica y Meteorología UCM

Moderador: D. José Luis Barrera Morate

**Jueves, 17** de noviembre de 2011, a las 19:30 h.  
Salón de actos del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos  
C/ Raquel Meiler, 7, Local El Carmen, LS - Ventas, L2J Madrid  
91 553 24 03 - [www.icog.es](http://www.icog.es) - [icog@icog.es](mailto:icog@icog.es)

**ASISTENCIA LIBRE**



## Iniciativas legislativas (1)



BOLETÍN OFICIAL  
DE LAS CORTES GENERALES

### SECCION CORTES GENERALES

X LEGISLATURA

Serie A:  
ACTIVIDADES PARLAMENTARIAS 27 de marzo de 2012 Núm. 31

#### ÍNDICE

##### Control de la acción del Gobierno

PROPOSICIONES NO DE LEY/MOCIONES

###### Comisión Mixta para la Unión Europea

	Páginas
161/000442 (CD) Proposición no de Ley presentada por el Grupo Parlamentario Socialista, sobre la mejora de las condiciones de seguridad de los buques de cruceros, como consecuencia del accidente sufrido por el buque «Costa Concordia» .....	2
161/000461 (CD) Proposición no de Ley presentada por el Grupo Parlamentario Socialista, sobre el desarrollo de las infraestructuras energéticas necesarias para la integración de España en el mercado único europeo .....	4
161/000462 (CD) Proposición no de Ley presentada por el Grupo Parlamentario Socialista, sobre la necesidad de un protocolo de seguridad europeo para la prevención tecnológica derivada de fenómenos naturales solares .....	5

20 de marzo, 2012  
Grupo Parlamentario Socialista.

Proposición no de Ley sobre la necesidad de un protocolo de seguridad europeo para la prevención tecnológica derivada de fenómenos naturales solares para su debate en la Comisión Mixta para la Unión Europea

(Boletín Cortes Generales, 27 marzo, 2012)





## Iniciativas legislativas (2)



20 Marzo, 2012

«Decálogo de buenas prácticas,  
tormenta solar severa:  
¿cómo prevenirla?»

Dirección General de Justicia e  
Interior de la Junta de Extremadura  
Protección Civil de Extremadura



## Aportaciones científicas

2 Febrero, 2012

Información sobre el Estado Actual del Campo Magnético  
Terrestre,

J. M. Tordesillas

Instituto Geográfico Nacional

21 Abril, 2012

Geomagnetically Induced Currents in a Power Grid of northeastern  
Spain

Joan Miquel Torta, Lluís Serrano, Joan R Regué, Albert M Sánchez,  
Elionor Roldán

SPACE WEATHER, doi:10.1029/2012SW000793



## Conclusiones y cuestiones abiertas



Desde la I Jornada, la sociedad española ha ganado en conocimiento acerca del Clima Espacial y sus efectos y se ha mejorado la percepción del problema. Esta percepción comienza a extenderse a las empresas implicadas

¿Lo conseguido es suficiente?

Buena parte de ello se debe a la I Jornada pero la iniciativa social ha jugado un papel importante...

¿Qué puede hacerse para mejorar la implicación de la sociedad?

Ya ha habido acciones oficiales orientadas a la prevención

¿Cómo extenderlas a ámbitos más concretos y hacerlas eficientes?



**MUCHAS GRACIAS  
POR SU ATENCIÓN**