

# Tormentas ionosféricas sobre Europa:

## Sistema de información rápida SIRPI

Marta Rodríguez-Bouza

Gracia Rodríguez-Caderot, Miguel Herraiz Sarachaga

Grupo de Estudios Ionosféricos y de Posicionamiento Global por  
Sátelite

Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I  
Universidad Complutense de Madrid



# Índice

- Introducción.
- Las tormentas ionosféricas.
- Descripción SIRPI.
- Resultados SIRPI.
- Conclusiones.

# Introducción.

Eventos solares:

Eyecciones de masa coronal, agujeros coronales y filamentos.



Efecto en el campo magnético terrestre:  
Tormentas geomagnéticas.

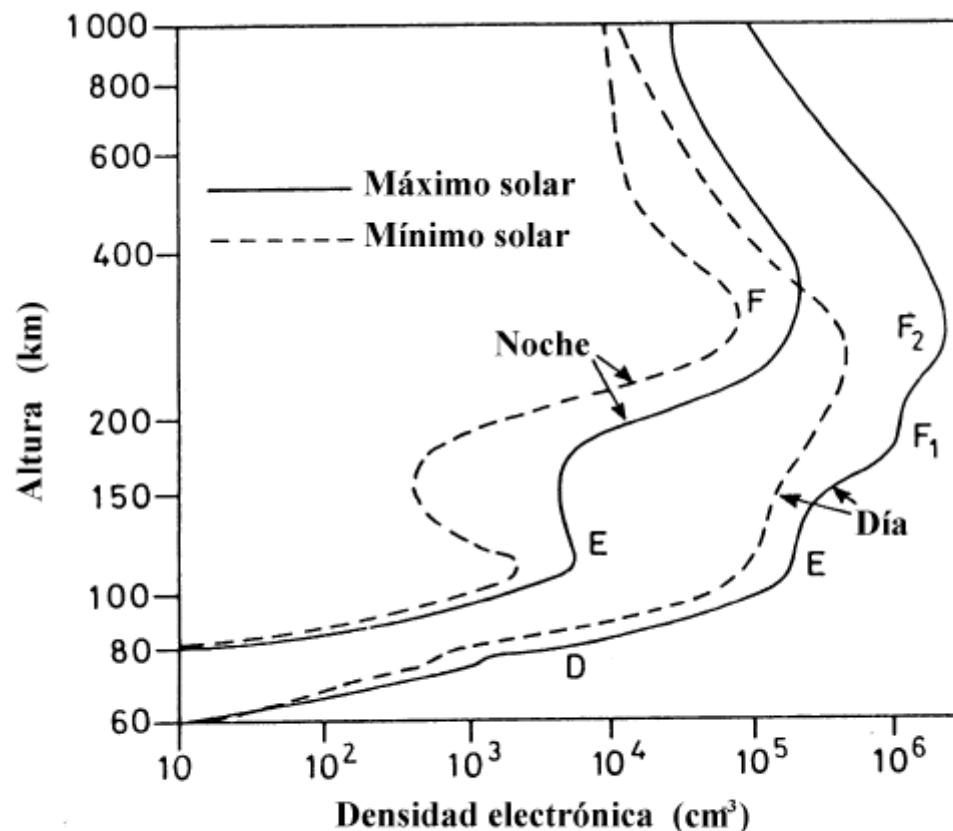


Efecto en la ionosfera.

# Introducción. La ionosfera.

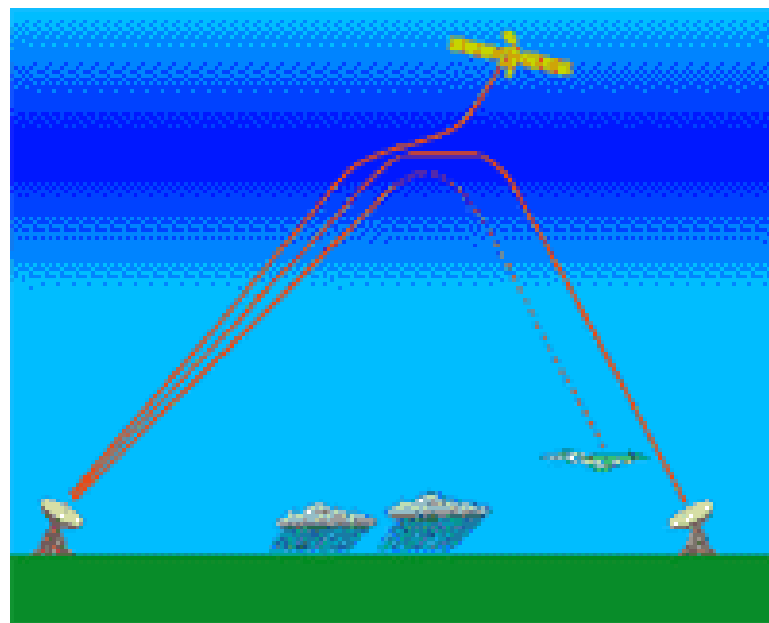
Capa de la atmósfera de la que existen iones positivos y electrones libres.

La radiación solar produce la fotoionización.



# Introducción. La ionosfera.

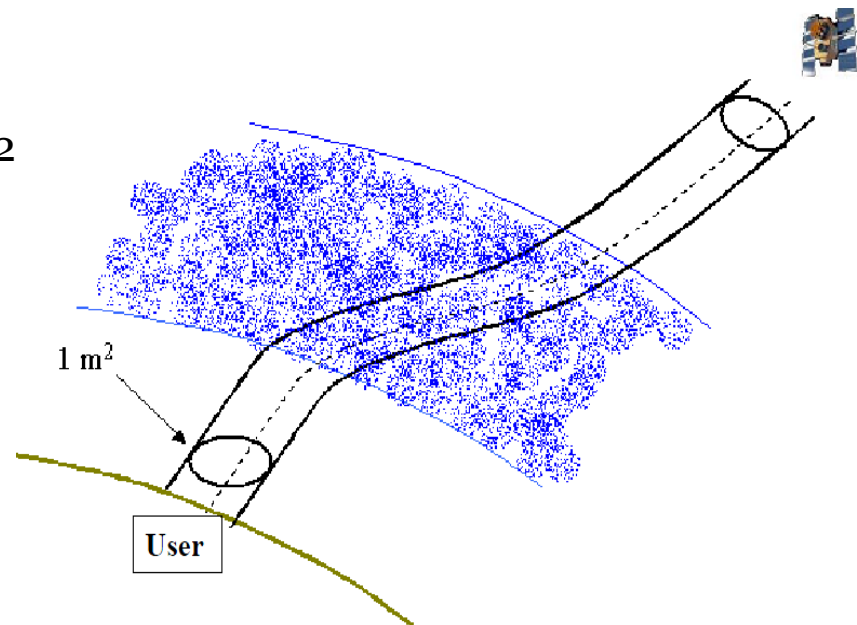
Región de la atmósfera donde la concentración de electrones es suficientemente alta como para tener un efecto importante en la propagación de ondas electromagnéticas.



# Introducción. La ionosfera.

*Contenido total de electrones*, TEC. Se define como el número total de electrones libres contenido en una columna de  $1\text{m}^2$  de base.

$$\text{TEC}_u = 10^{16} \text{electrones}/\text{m}^2$$



# ¿Qué es una tormenta ionosférica?

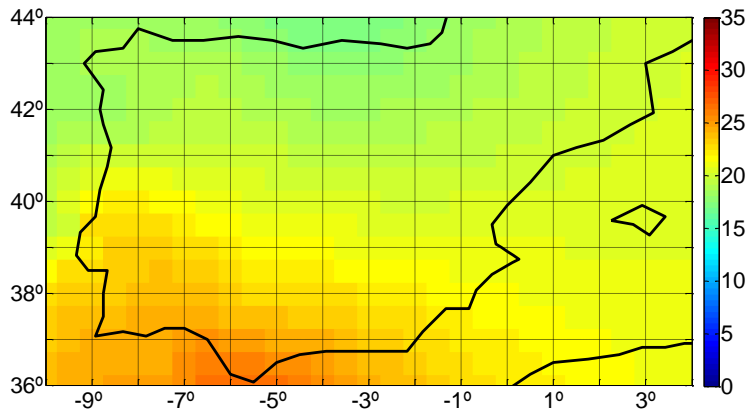
Perturbación del contenido total de electrones (TEC), del máximo de densidad electrónica y de la altura de este máximo en la capa F2, que puede ocurrir durante un tormenta geomagnética como resultado de distintos procesos dinámicos y químicos.

# Clasificación:

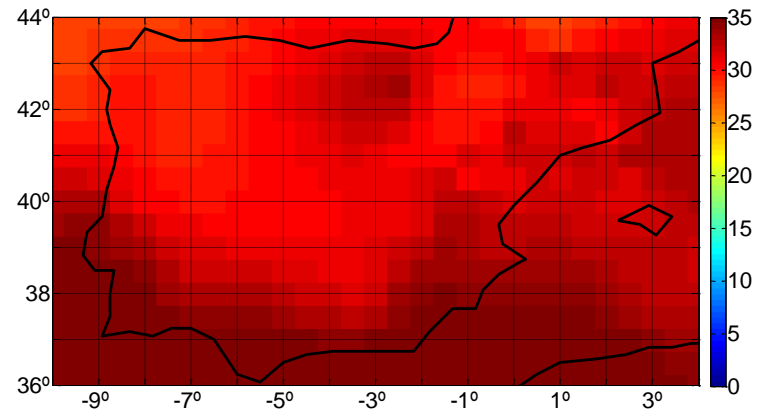
Tormentas ionosféricas positivas:

Aumenta la densidad electrónica.

Día tranquilo (10:50UT 11/11/12)



Día perturbado (10:50UT 13/11/12)



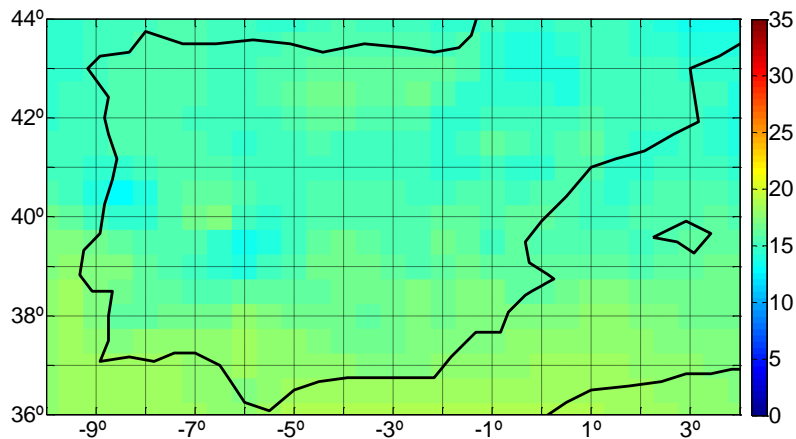


# Clasificación:

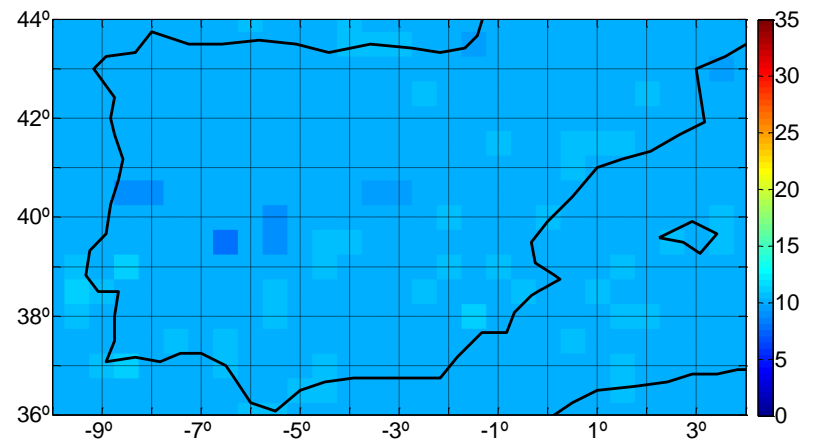
Tormentas ionosféricas negativas:

Disminuye la densidad electrónica.

Día tranquilo (00:00 UT 22/04/12)



Día perturbado (00:00 UT 24/04/12)



# ¿Por qué nos interesan las tormentas ionosféricas?

Las tormentas ionosféricas pueden generar importantes perturbaciones en los sistemas de posicionamiento global por satélite GNSS, y en las comunicaciones.

# ¿Por qué nos interesan las tormentas ionosféricas? Ejemplo:

III Jornadas Técnicas de Meteorológicas Espacial 26-Noviembre-2013

## Influencia en la Península Ibérica del evento solar del 22 de octubre del 2011

M. Rodríguez-Bouza, I. Rodríguez-Bilbao, I. Blanco-Cid,  
M. Herraiz, G. Rodríguez-Caderot, B. Moreno-Monge,  
S.M. Radicella, B. de la Morena, M. Piserra



FUNDACIÓN **MAPFRE**

# ¿Por qué nos interesan las tormentas ionosféricas? Ejemplo:

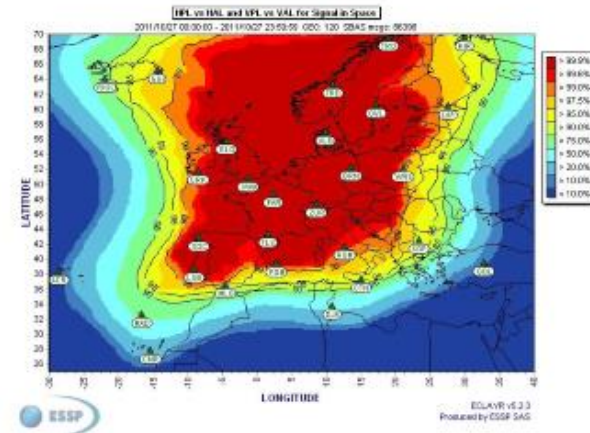
## Efectos en EGNOS

El sistema European Geostationary Navigation Overlay Service, EGNOS, es el Sistema de Aumento Europeo desarrollado para mejorar las prestaciones de GLONASS, GPS y GALILEO.

La tormenta afectó al Servicio APV-1 que asegura una exactitud vertical de 20m y horizontal de 16m produciéndose una degradación del sistema los días de la tormenta.

## Efectos en EGNOS

27/10/2011



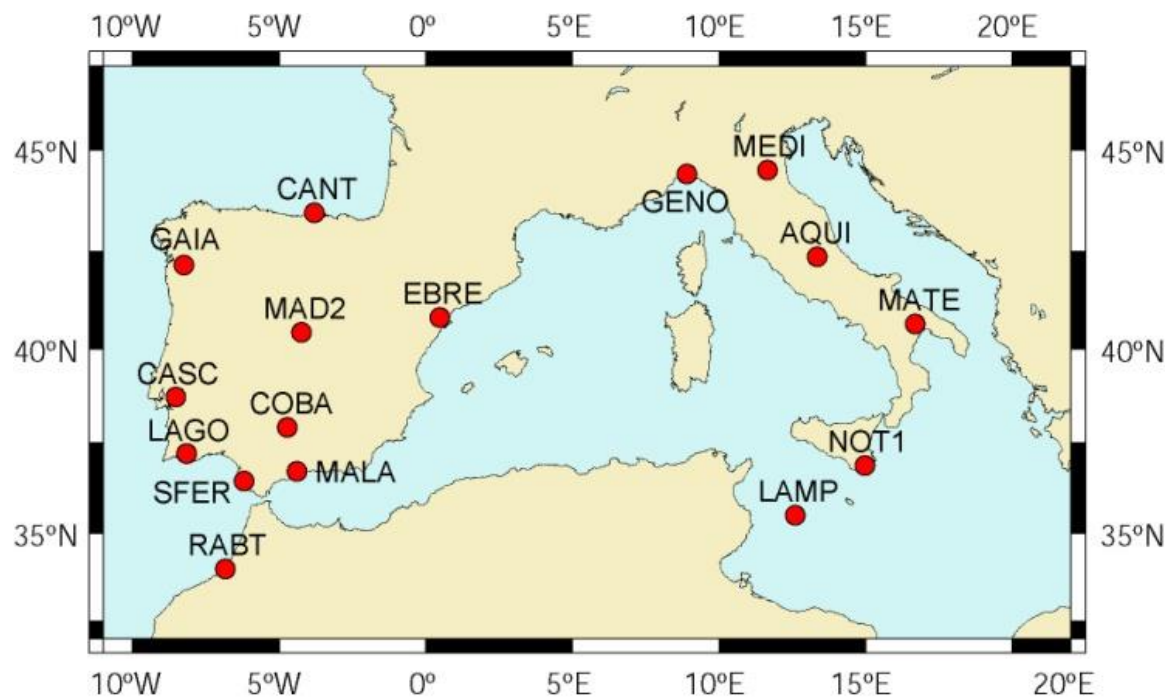
# Sistema de Información Rápida de Perturbaciones Ionosféricas, SIRPI.

Prototipo de sistema de información sobre ocurrencia de tormentas ionosféricas en el Sur de Europa.

No es un sistema de predicción.

El objetivo del sistema es avisar de la existencia de una tormenta ionosférica ocurrida en la región de estudio.

# Región de estudio:



# Funcionamiento de SIRPI:

El Sistema de aviso consta de 4 etapas:

## 1. Descarga de archivos:

### ➤ Archivos RINEX:

- 16 estaciones.
- Día de interés.
- 10 días previos.



176 fichero cada día.

### ➤ Archivos de Navegación:

- GPS y GLONASS.
- Día de interés.
- 11 días previos.
- Día posterior.

# Funcionamiento de SIRPI:

El Sistema de aviso consta de 4 etapas:

1. Descarga de archivos:

**2. Procesado para la obtención del vTEC:**

➤ vTEC cada minuto sobre cada estación para los 10 días.

Los archivos RINEX se procesan con un algoritmo que proporciona los valores del contenido total vertical de electrones considerando que la ionosfera es una capa delgada situada a 350km de altura.



# Funcionamiento de SIRPI:

El Sistema de aviso consta de 4 etapas:

1. Descarga de archivos:

2. Procesado para la obtención del vTEC:

**3. Obtención de parámetros característicos:**

➤ vTECmedio (10 días previos)

➤  $vTEC_{rel} (\%) = (vTEC - vTEC_{medio}) / vTEC_{medio}$

# Funcionamiento de SIRPI:

El Sistema de aviso consta de 4 etapas:

1. Descarga de archivos:
2. Procesado para la obtención del vTEC:
3. Obtención de parámetros característicos:
4. **Comparación con el valor umbral:**

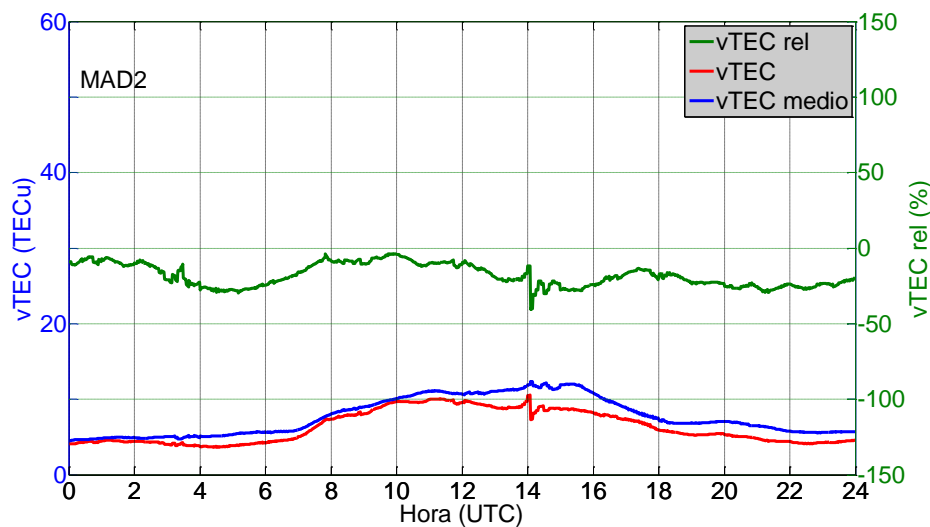
Valor umbral  $\pm 50\%$

Si se supera al menos en el 50% de las estaciones:

**MENSAJE DE AVISO DE PERTURBACIÓN IONOSFÉRICA**

# Productos de SIRPI:

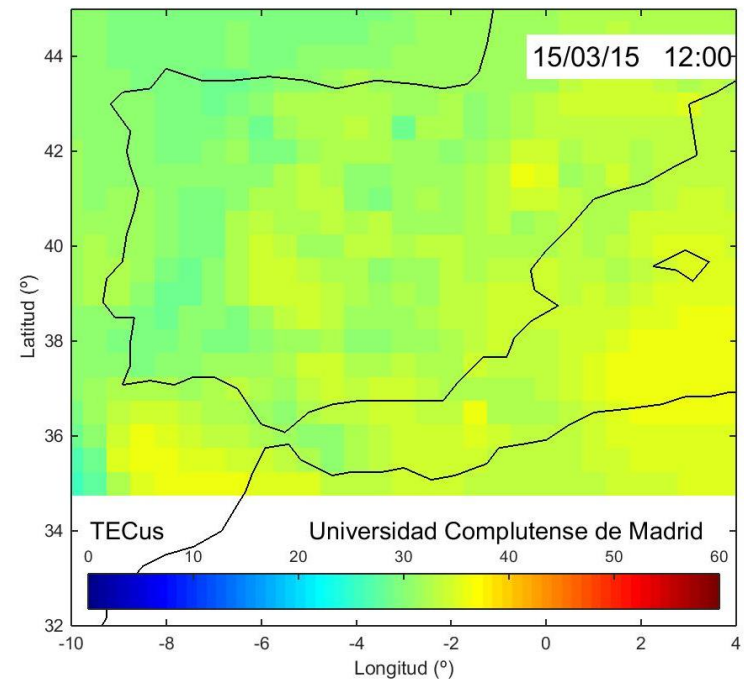
## Mensajes de aviso de perturbación



# Productos de SIRPI:

El método de funcionamiento del Sistema se utiliza también para la obtención de mapas diarios de la ionosfera sobre la Península Ibérica.

Estos mapas se publican diariamente en la página web del Servicio Nacional de Meteorología Espacial.



# Comprobación del Sistema:

Tormentas seleccionadas para la verificación del sistema:

Fecha	Dst mínimo	Clasificación	PERIODO ANALIZADO
<b>15 diciembre 2006</b>	-162nT	Intensa	5 diciembre – 30 diciembre, 2006
<b>25 octubre 2011</b>	-132nT	Intensa	15 octubre – 8 noviembre, 2011
<b>25 enero 2012</b>	-73 nT	Moderada	15 enero – 9 febrero, 2012
<b>23 abril 2012</b>	-104 nT	Intensa	13 abril – 5 mayo, 2012
<b>15 julio 2012</b>	-133 nT	Intensa	12 julio – 30 julio, 2012
<b>14 noviembre 2012</b>	-108 nT	Intensa	4 noviembre – 29 noviembre, 2012
<b>14 de julio 2013</b>	-73 nT	Moderada	5 julio – 18 julio, 2013
<b>18 de febrero 2014</b>	-112nT	Intensa	1 enero – 1 marzo, 2014

Días totales analizados: 217

Días sin perturbación: 164

Días con perturbación: 53

# Comprobación del Sistema:

Comparación del Sistema de Información Rápida con el estudio detallado de las 8 tormentas.

Estudio detallado:

Utilizamos:

Mismos datos de las estaciones.

Mismo procesado para obtener el  $vTEC$ .

Mismos parámetros característicos.

Mismos valor umbral.

**Distinta** forma de calcular del  $vTEC_m$  se hace a partir de los días tranquilos en torno a la tormenta geomagnética.

# Comprobación del Sistema:

## Caso 1:

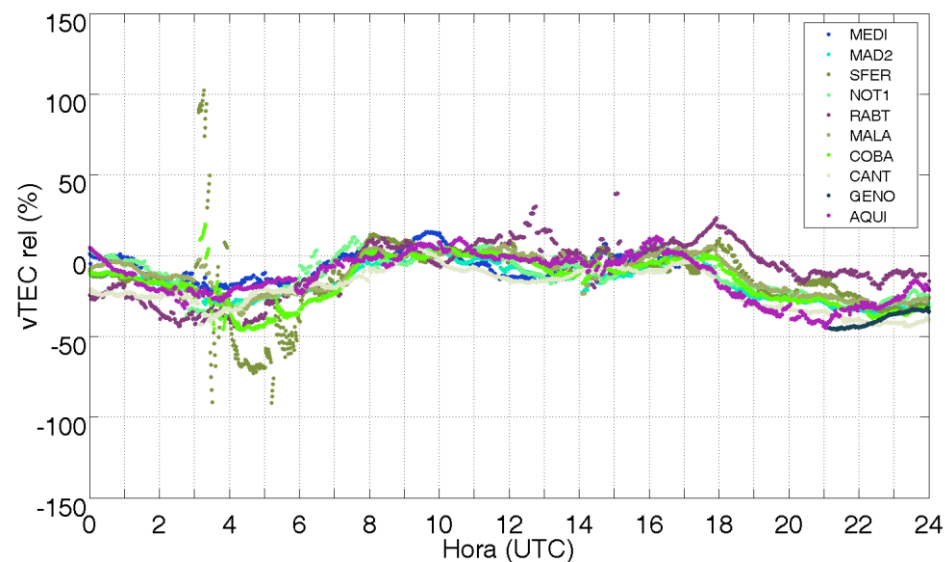
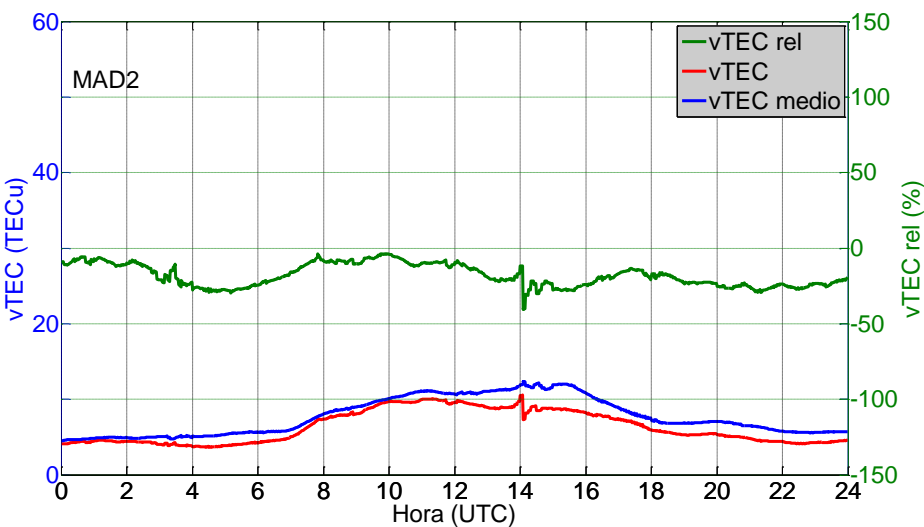
No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso no emite mensaje.

# Comprobación del Sistema:

## Caso 1:

No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso no emite mensaje.

Ejemplo: 13 de diciembre de 2006





# Comprobación del Sistema:

## Caso 1:

No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso no emite mensaje.

## Caso 2:

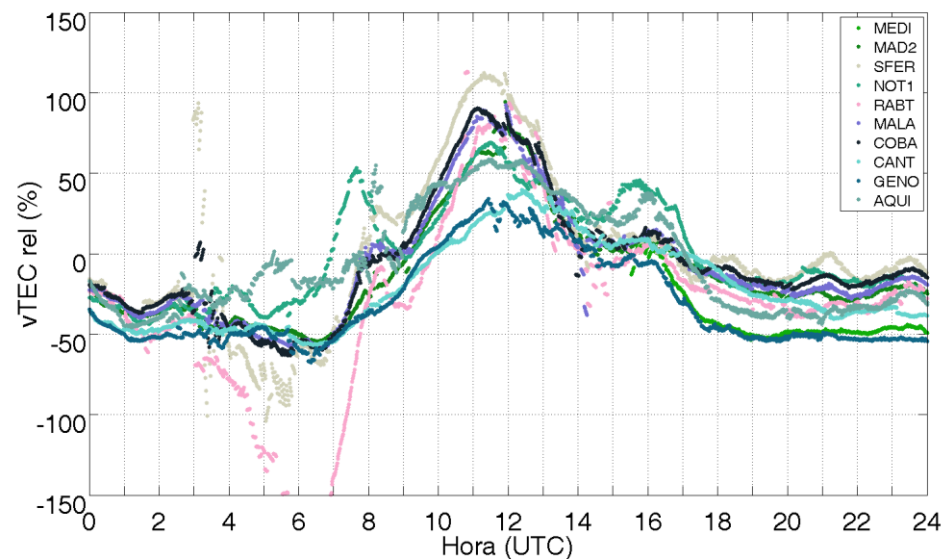
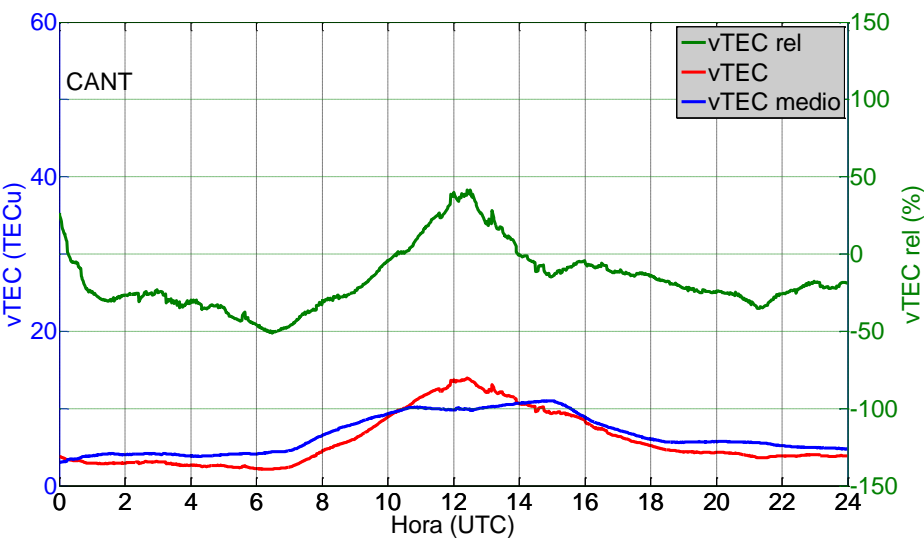
Hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso emite mensaje.

# Comprobación del Sistema:

## Caso 2:

Hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso emite mensaje.

Ejemplo: 15 de diciembre de 2006



# Comprobación del Sistema:

## Caso 1:

No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso no emite mensaje.

## Caso 2:

Hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso emite mensaje.

## Caso 3:

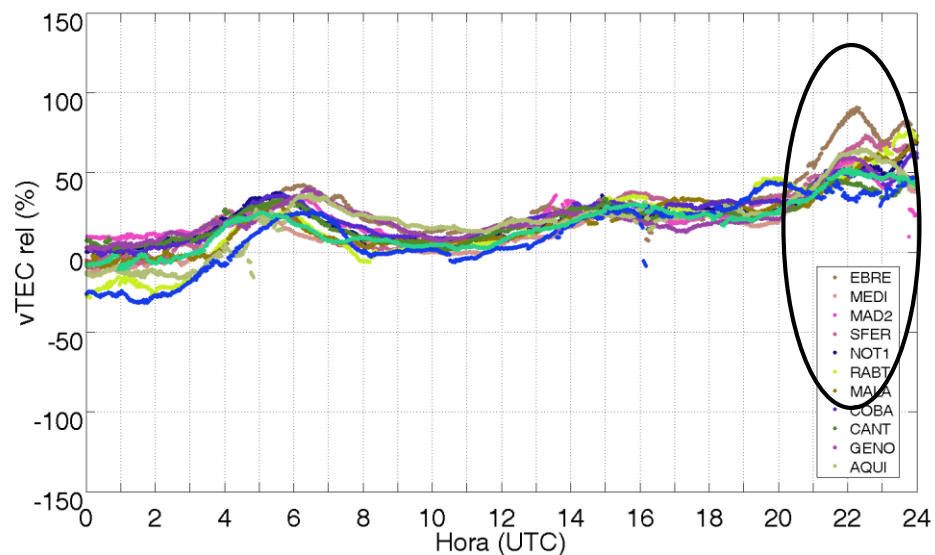
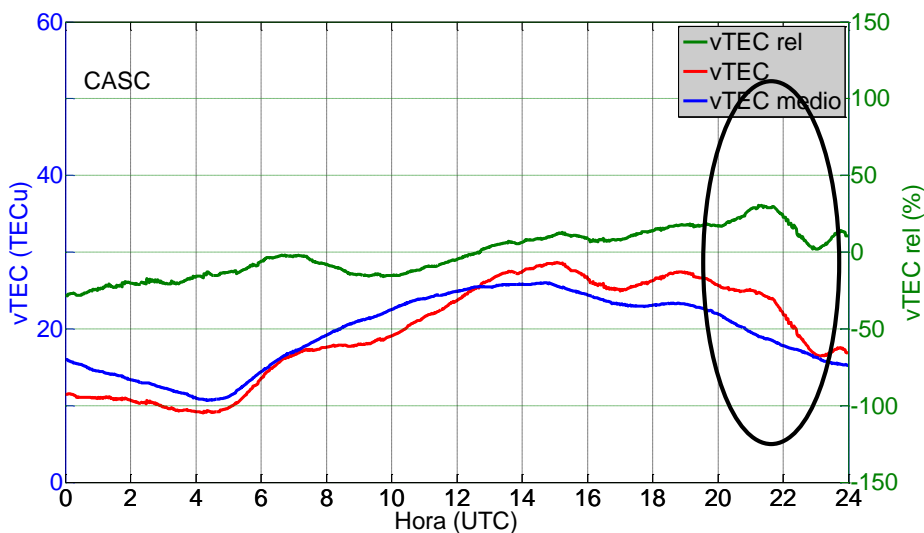
Hay tormenta ionosférica y el sistema no emite mensaje.

# Comprobación del Sistema:

## Caso 3:

Hay tormenta ionosférica y el sistema no emite mensaje.

Ejemplo: 21 de julio de 2012



# Comprobación del Sistema:

## Caso 1:

No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso no emite mensaje.

## Caso 2:

Hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso emite mensaje.

## Caso 3:

Hay tormenta ionosférica y el sistema no emite mensaje.

## Caso 4:

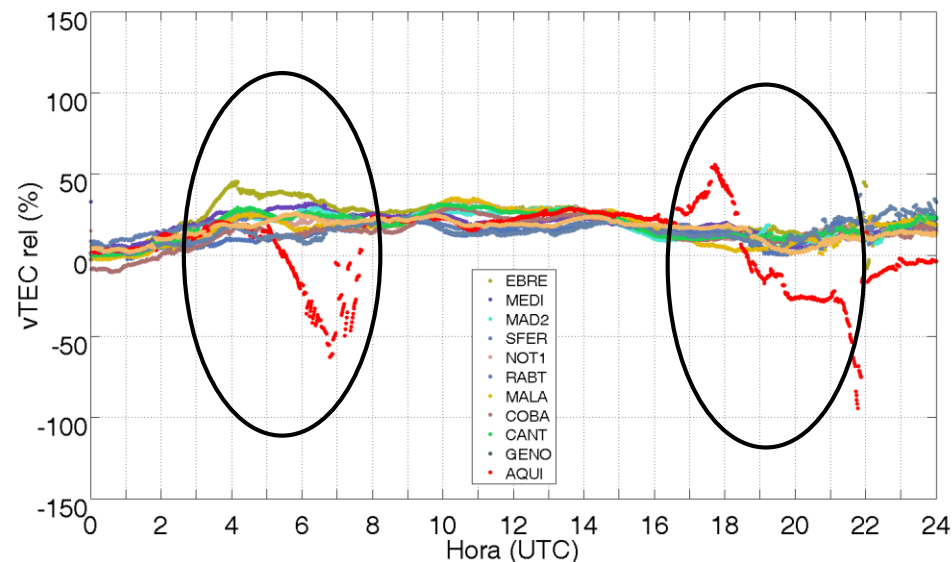
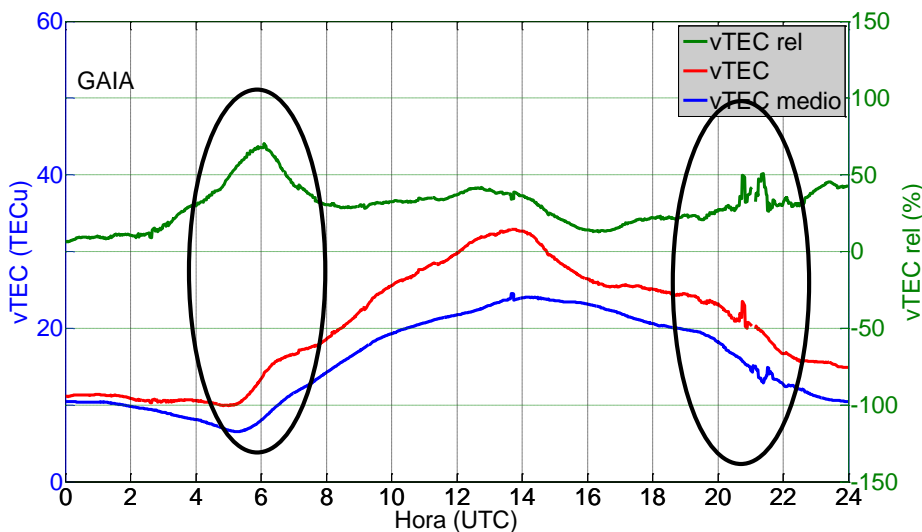
No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso emite mensaje.

# Comprobación del Sistema:

## Caso 4:

No hay tormenta ionosférica y el sistema de aviso emite mensaje.

Ejemplo: 14 de noviembre de 2012



# Comprobación del Sistema:

En las pruebas realizadas con el sistema de aviso se ha obtenido el resultado correcto en un 83.87% de los casos. Estos aciertos son de dos tipos:

- Emisión de mensaje de aviso en los días con perturbación ionosférica.
- Ausencia de emisión de mensaje en los días tranquilos.

	Mensaje de información	Sin mensaje de información
Días con tormenta ionosférica	37	16
Días sin perturbación	19	145

# Conclusiones

- Las perturbaciones en la ionosfera afectan a las señales de posicionamiento y telecomunicaciones.
- Los resultados del sistema son satisfactorios.
- El objetivo es superar un 95% de casos correctos.  
Para ello:
  - Se ampliará la muestra de estudio.
  - Se buscarán nuevos parámetros.



# Agradecimientos

Los miembros del equipo desean expresar su agradecimiento a las redes GNSS que nos han facilitado los datos.

Así como a los profesores S.M. Radicella y L. Ciruolo del Internacional Center for Theoretical Physics, ICTP, de Trieste (Italia) por el software de obtención del TEC.

# Grupo de Estudios Ionosféricos y de Posicionamiento Global por Satélite

<http://greipsa.fis.ucm.es/>

greipsa@gmail.com

**Muchas gracias por su atención**

# Tormentas ionosféricas sobre Europa:

## Sistema de información rápida SIRPI

Marta Rodríguez-Bouza

Gracia Rodríguez-Caderot, Miguel Herraiz Sarachaga

Grupo de Estudios Ionosféricos y de Posicionamiento Global por  
Sátelite

Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I  
Universidad Complutense de Madrid

