



# ¿Cómo afectan las tormentas solares a las telecomunicaciones?

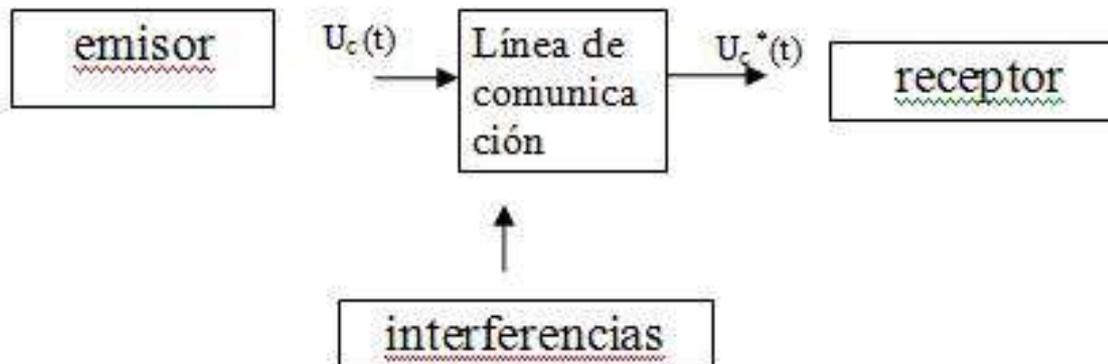
Dra. Maria Sergeeva

“Fenómenos Astronómicos”  
El 28 de mayo 2021

## Ondas de radio.

Cualquier sistema de transmisión de señales consta de tres partes principales: el dispositivo de transmisión, el dispositivo de recepción y el enlace intermedio - la línea de conexión.

Para los sistemas de radio, el enlace intermedio (línea de comunicación) es el medio en el que se propagan las ondas de radio.



La propagación de las ondas de radio en la superficie de la Tierra, en la atmósfera, en el espacio exterior: el medio ambiente es ese la parte del sistema que prácticamente no se puede controlar.

# Introducción

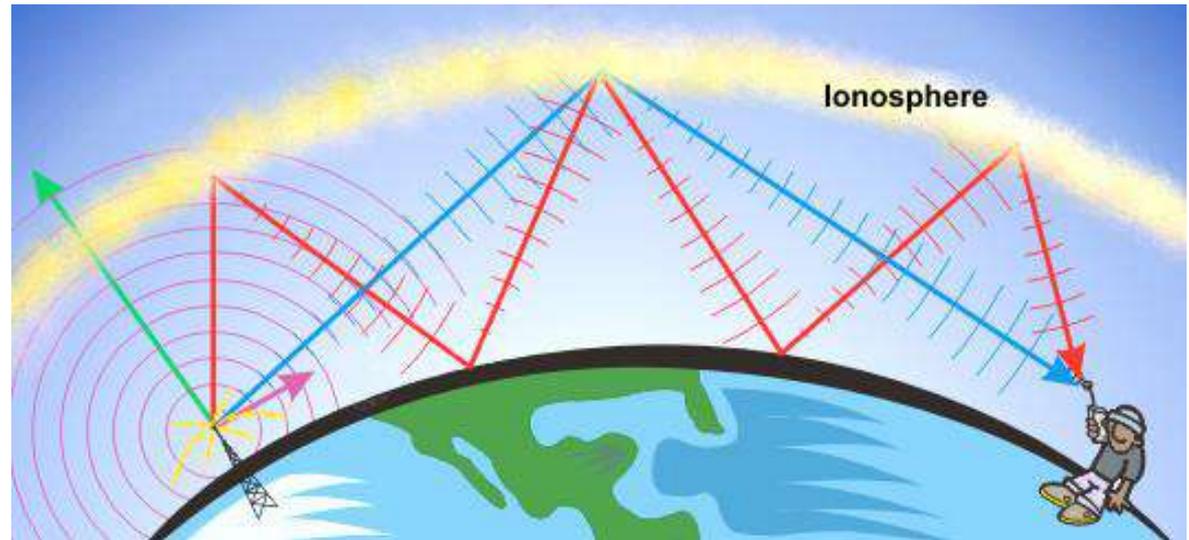


La atmósfera es una capa gaseosa que rodea la Tierra.

La ionosfera es la región más extendida de la atmósfera.

- Inicia a una altitud de ~60 km y tiene una frontera difusa aproximadamente a 10000 km de la superficie terrestre.

- El aire en esta región está ionizado: están presentes grandes cantidades de electrones libres dentro de los límites de  $10^3 - 10^6$  en  $1\text{cm}^3$ .



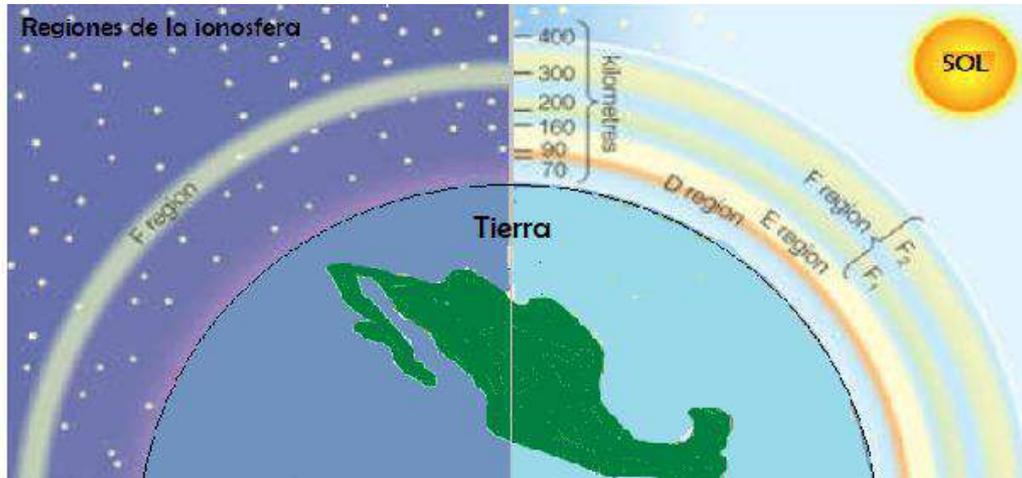
Créditos: Imagen tomada de [https://w2.weather.gov/jetstream/ionosphere\\_max](https://w2.weather.gov/jetstream/ionosphere_max). Imagen cortesía del Servicio Meteorológico Nacional de NOAA.

La presencia de electrones libres  
→ una posibilidad de reflexión

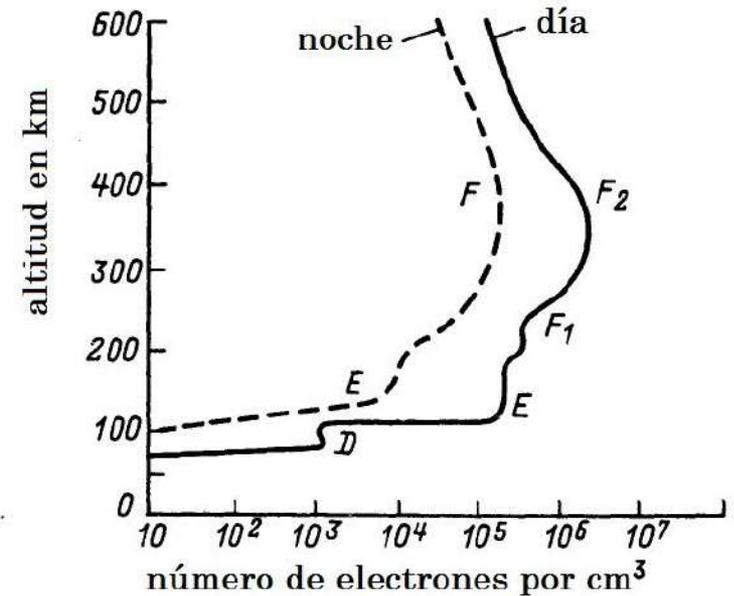
Las ondas de radio pueden propagarse a unas distancias muy largas por medio de reflexiones en las capas de la ionosfera y la superficie terrestre.

La característica principal es la concentración de electrones con referencia a la altitud encima de la superficie de la tierra.

Se presentan diferentes máximos de densidad electrónica.



Créditos: Imagen modificada de [www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere](http://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere). Imagen cortesía de la Encyclopedia Britannica.



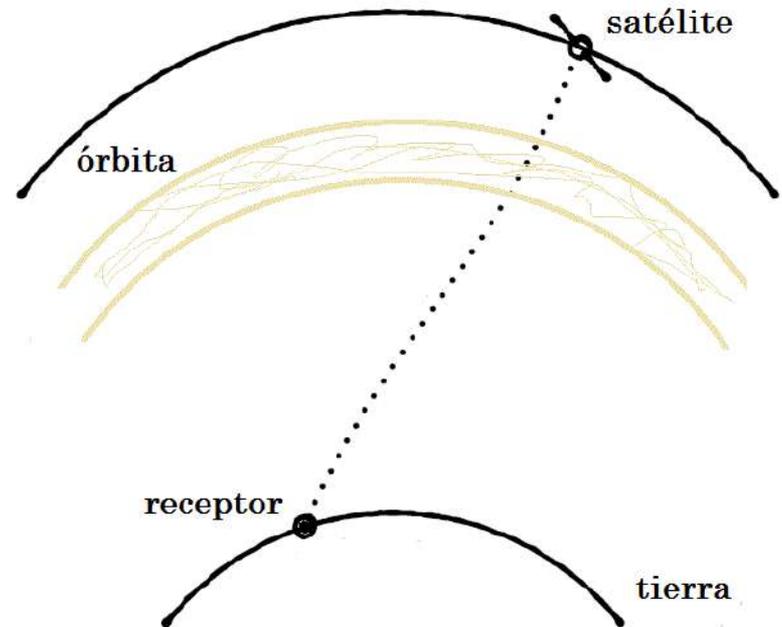
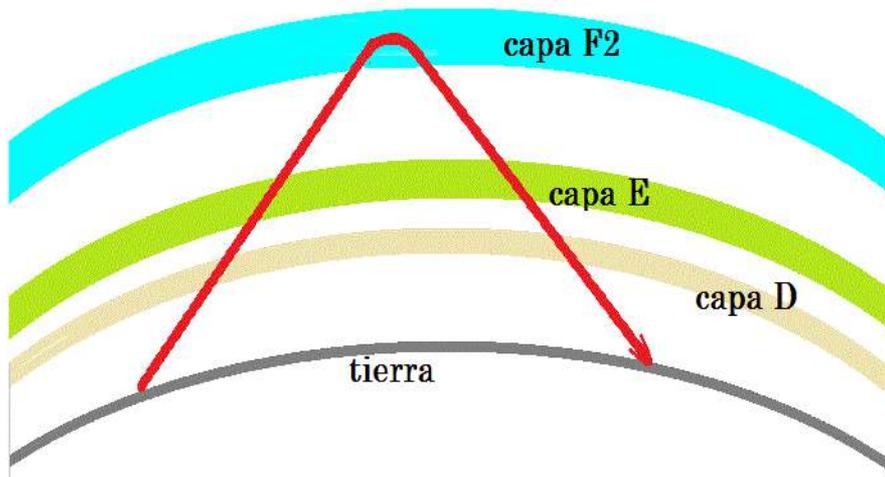
Créditos: Imagen modificada del libro Izyumov and Linde (1976), *Fundamentals of Radio* (traducido al inglés)

Las ondas se reflejan de diferentes capas de Ne en la ionosfera: depende de la frecuencia de la onda y estado ionosférico.

- Cuanto mayor sea Ne, mayor será la f de las ondas de radio que pueden reflejarse.
- Las ondas de  $f > 100$  MHz atraviesan la ionosfera y están afectadas por su estado.

## La ionosfera para las ondas de radio:

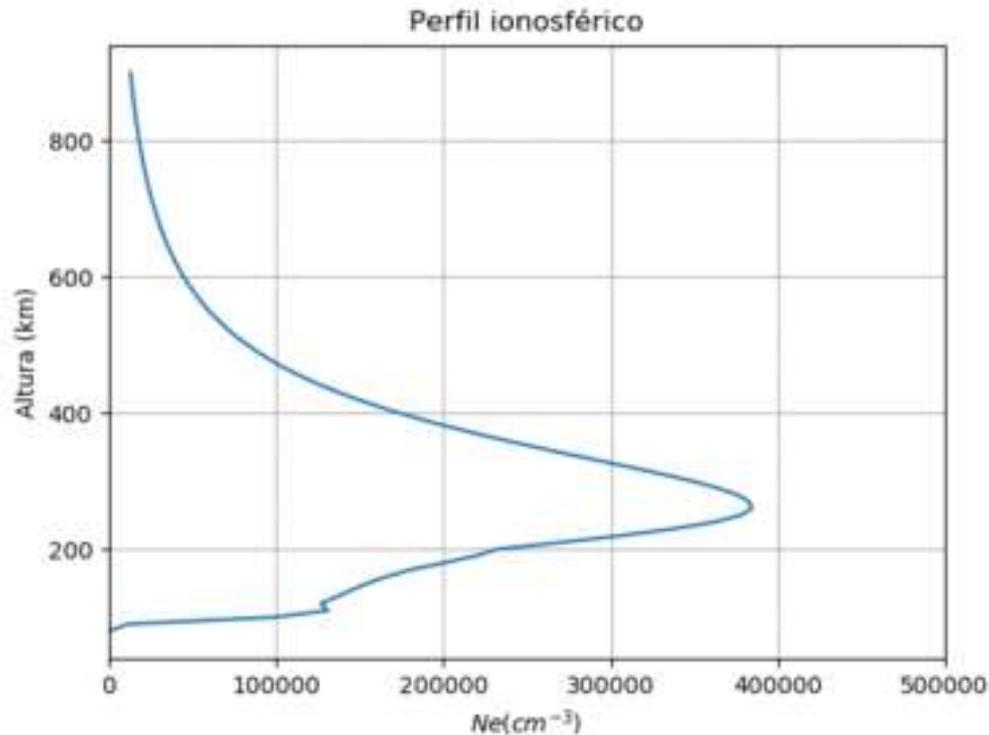
- por un lado, es un "espejo" que refleja la señal de frecuencias bajas (2-30 MHz) y permite que las señales se propaguen a las distancias muy largas.
- por otro lado, es un medio que agrega un error (por ejemplo, a la señal GNSS)



Densidad de electrones en la ionosfera es un sujeto de **cambios**

tanto **regulares/sistemáticos**

*(diarios, estacionales, anuales/semi-anuales y del ciclo solar)*



como **irregulares (perturbaciones)**.

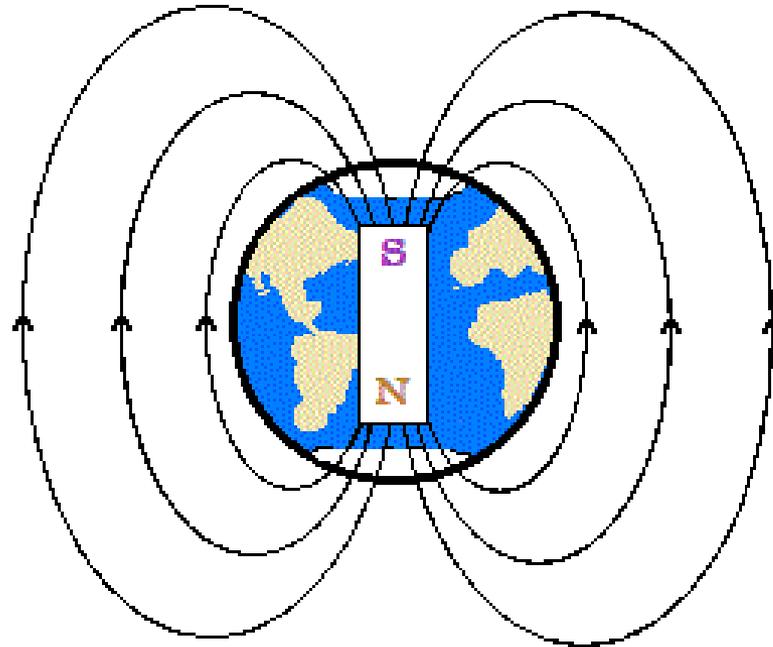
Las perturbaciones de Clima Espacial de diferente tipo (fulguraciones solares, eyecciones de masa coronal, cambios de los parámetros de viento solar, precipitación de partículas, etc.) provocan alteraciones en la estructura compleja de la ionosfera.

Es importante detectar las variaciones sistemáticas y la presencia de anomalías en cada región del globo, así como comprender mejor los mecanismos físicos que las causan.

Con base en este conocimiento se puede estimar el nivel de las posibles afectaciones por alteraciones en el estado de la ionosfera en la tecnología moderna.

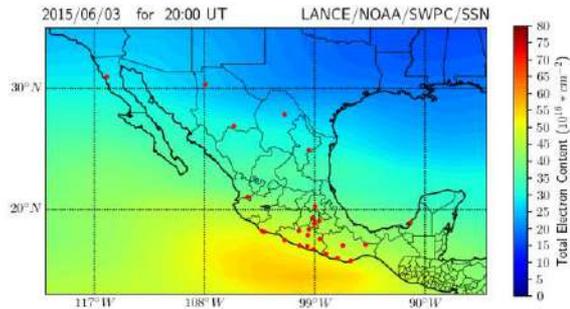
El estado de la ionosfera depende de las coordenadas del punto de observación (latitud/longitud) significativamente.

Es importante tener el **diagnostico regional/local**.



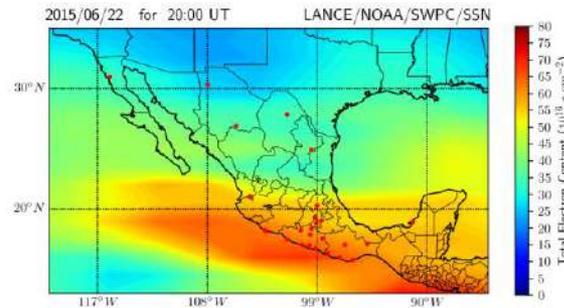


- Las tormentas CE e ionosféricas pueden durar varios días y provocar
- las operaciones de radio gravemente interrumpidas,
  - la calidad de comunicaciones, navegación y otros sistemas seriamente degradada.

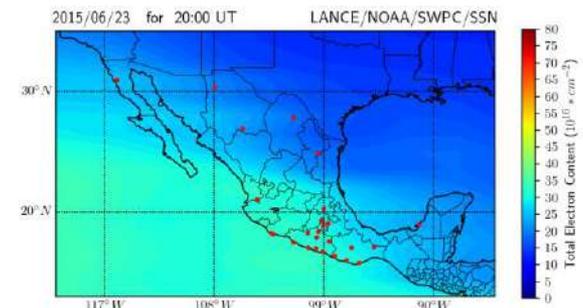


Tranquilo: June 3, 2015

Distribución Ne sobre México a la hora del máximo diario de Ne



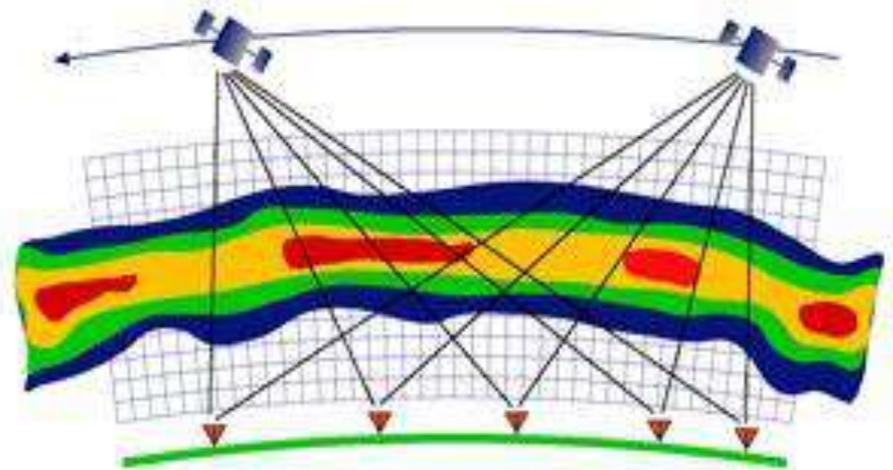
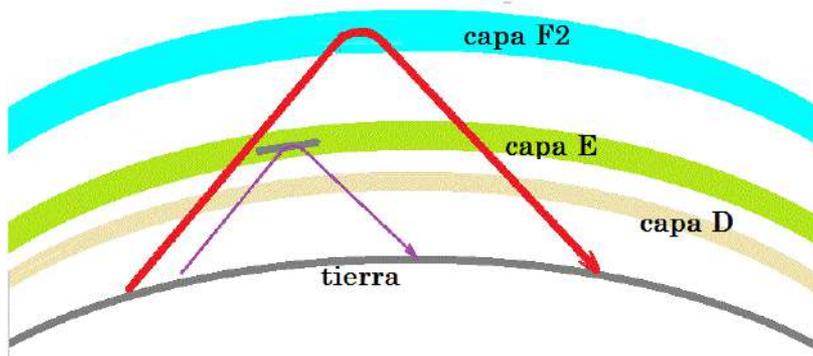
Perturbación positiva: June 22, 2015



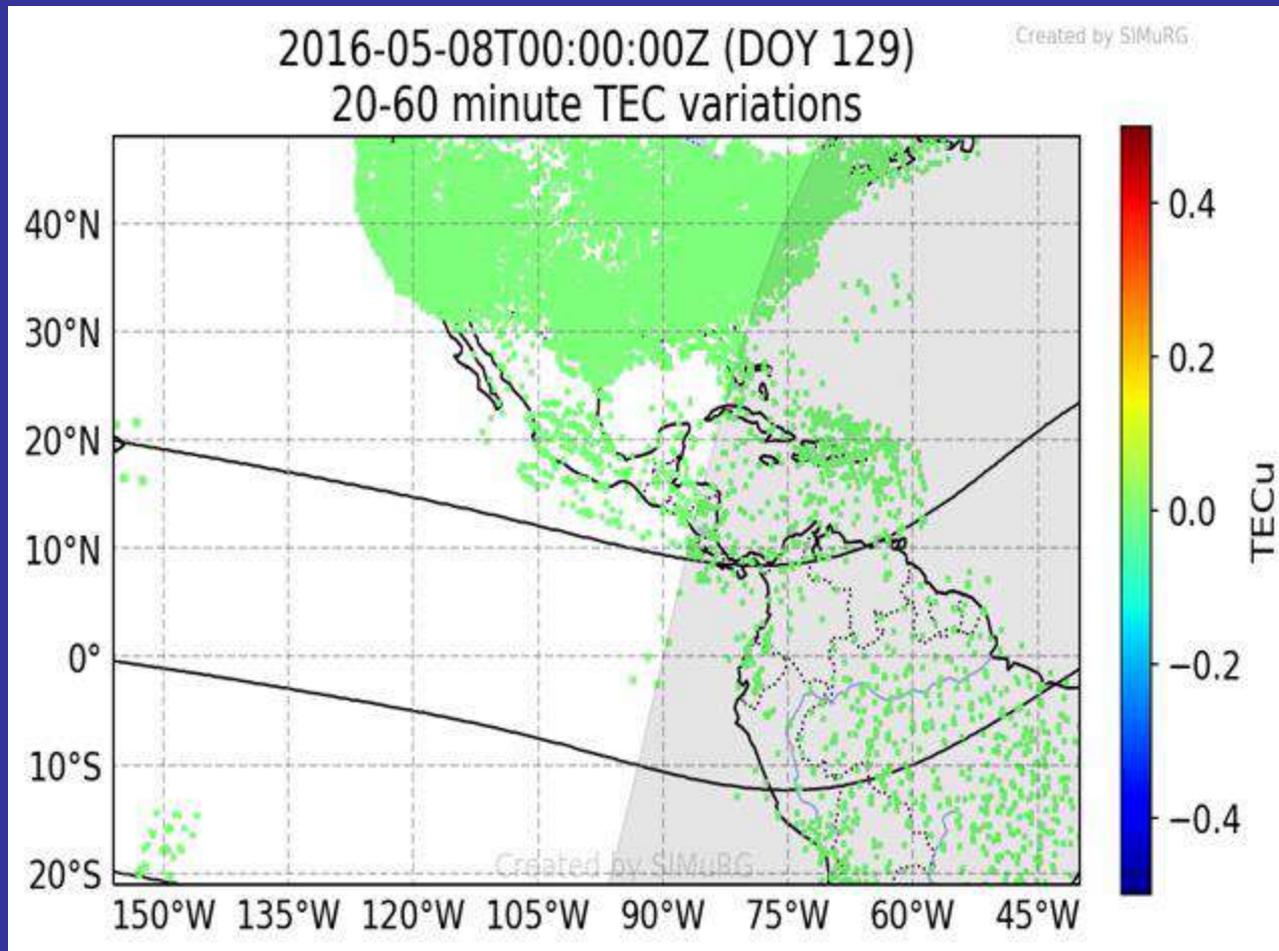
Perturbación negativa: June 23, 2015

## ¿ Qué puede pasar?

- Fulguración intensa: al lado día - mayor atenuación de las ondas en D, en algunos casos, desvanecimiento profundo repentino (fadeout), la absorción total de algunas (o incluso de todas) las f de HF durante horas. Pérdidas de las señales de ciertas frecuencias bajo el aumento de absorción.
- Tormenta geomagnética: cambios en la estructura de las capas ionosféricas que provocan el cambio de caminos de radio, cambios en el comportamiento de  $N_e$  normal.
- Retardos anómalos de las señales de radio provocando errores de posicionamiento global
- Centelleo ionosférico provocando disminución de calidad de comunicaciones.
- Perturbaciones ionosféricas pueden viajar!

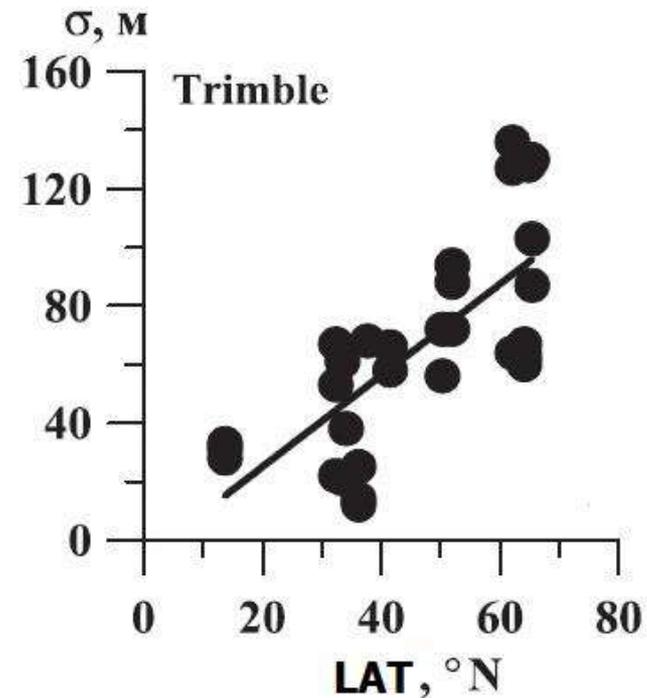
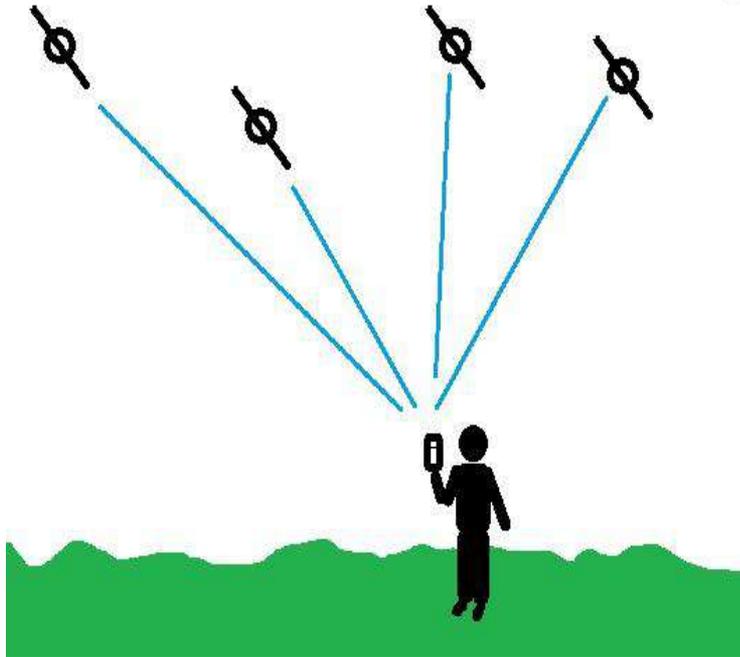


¿ Qué tal se ven las alteraciones en la ionosfera durante una tormenta geomagnética?



Créditos: <https://simurg.iszf.irk.ru>

## ¿Qué puede pasar?



### el error de posicionamiento durante la tormenta magnética 29-31.10.2003

Créditos: Imagen modificada del libro Afraimovich and Perevalova (2006), *GPS monitoring of Earth upper atmosphere*, ISBN 5-98277-033-7.

- HF son particularmente sensibles (importante para las fuerzas de defensa, los servicios de emergencia, las emisoras remotas, los operadores de aviación y marinos).
- Las comunicaciones desde las VLF hasta f satelitales también se ven afectadas.



¡Gracias!