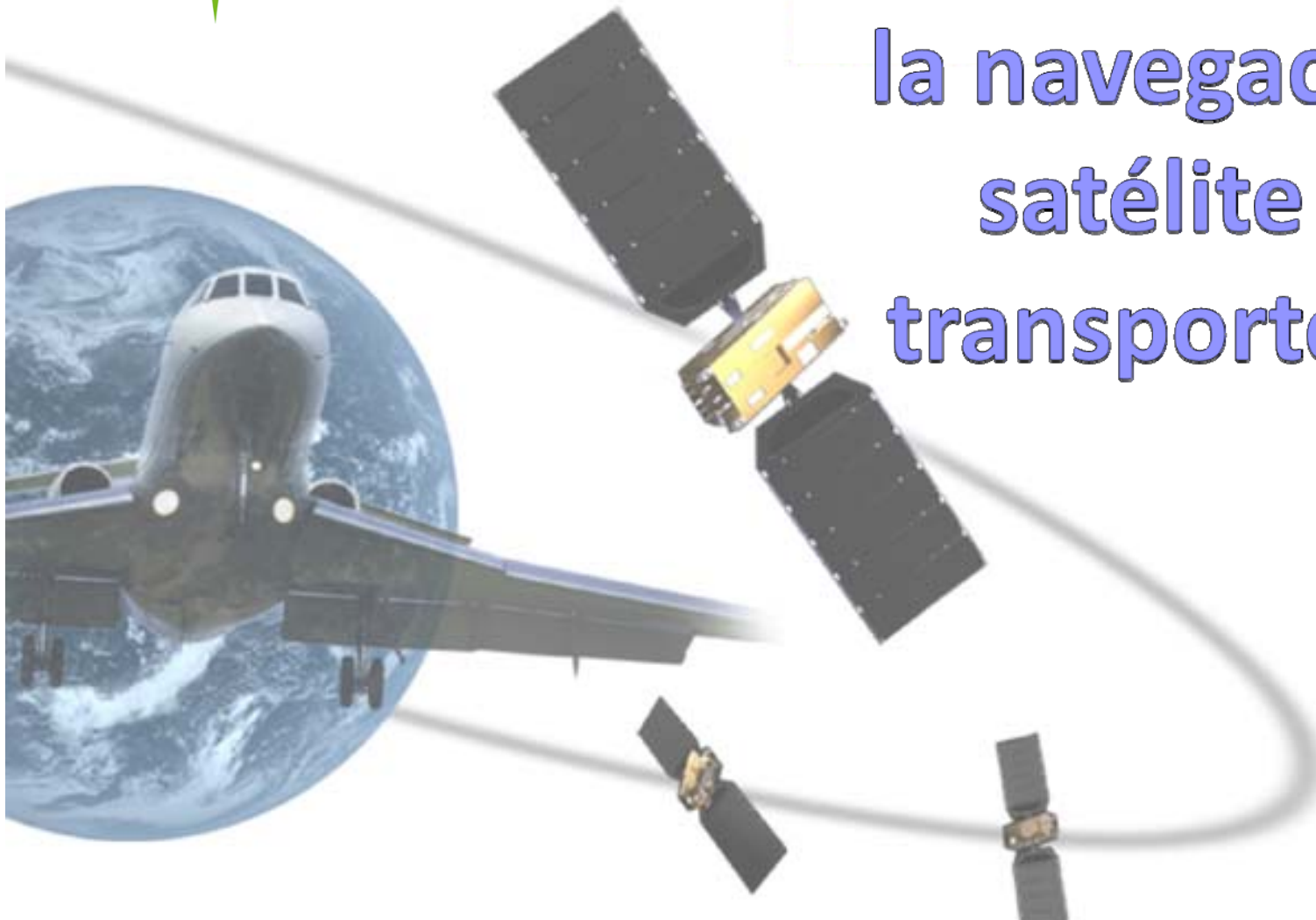


**Aena**



# El clima espacial y la navegación por satélite en el transporte aéreo



**Jornada Técnica sobre Clima Espacial**  
23 de marzo de 2011

**Dirección de Navegación Aérea de Aena**  
Aitor Álvarez Rodríguez



# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



# Índice de contenidos

1. **Transición hacia la Navegación por Satélite**
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



# 1.- Transición hacia GNSS

Las estrategias de

- **OACI** (Organización de Aviación Civil Internacional) y
- **Eurocontrol** (Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea)

apoyan la transición hacia sistemas de navegación satelitales

Los planes Europeos, “**European ATM Master Plan**” y “**SESAR Master Plan**” reconocen que los sistemas de navegación primarios serán los sistemas satelitales, manteniendo siempre una red de radioayudas terrestres que sirvan de apoyo en caso de contingencia.

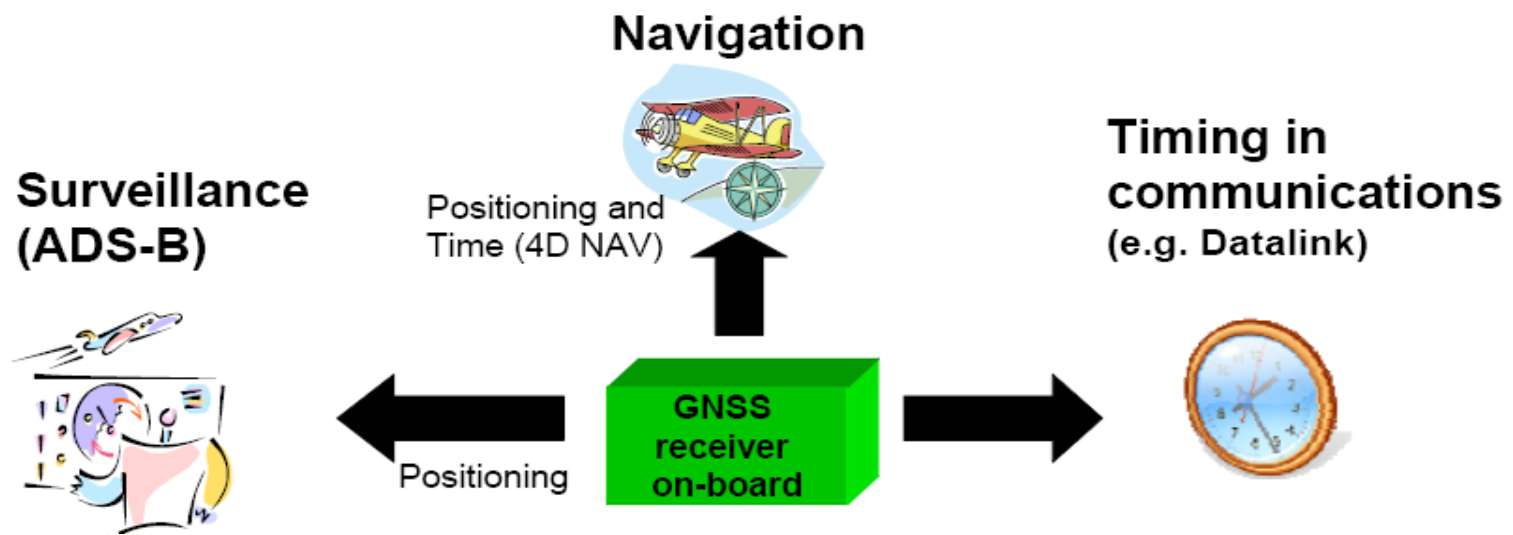
European ATM Master Plan → elemento fundamental para la implementación del Cielo Único Europeo

SESAR → Single European Sky ATM Research, pilar tecnológico del Cielo Único Europeo.



# 1.- Transición hacia GNSS

El Plan de Navegación Aérea Global de OACI para los sistemas CNS/ATM reconoce **GNSS como un elemento clave** para los sistemas de Comunicaciones, Navegación, Vigilancia y Gestión del Tráfico Aéreo y los cimientos sobre los cuales los Estados puedan suministrar servicios de navegación aeronáuticos mejorados.





# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
- 2. Sistemas GNSS**
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL





## 2.- Sistemas GNSS

### Constelaciones básicas globales

A día de hoy:

- GPS → **G**lobal **P**ositioning **S**ystem
- GLONASS → **G**LObal **N**avigation **S**atellite **S**ystem

Futuro:

- Galileo (Europa)
- COMPASS (China)
- GINS (India)

### **Y sus aumentaciones**

- ABAS → **A**ircraft-**B**ased **A**ugmentation **S**ystem (**Cobertura global**)
- SBAS → **S**atellite-**B**ased **A**ugmentation **S**ystem (**Cobertura regional**)
- GBAS → **G**round-**B**ased **A**ugmentation **S**ystem (**Cobertura local**)



# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación**
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



## 2.- Sistemas GNSS: Aumentaciones

- **Ni GPS ni GLONASS cumplen por sí solas** los requisitos aeronáuticos (principalmente integridad, continuidad y disponibilidad) para operaciones en todas las fases de vuelo.
- Las constelaciones básicas necesitan de **“aumentaciones”**.
  - **ABAS** se basa en **algoritmos de aviónica o integración de sensores embarcados**.
  - **SBAS** y **GBAS** usan **estaciones terrestres de monitorización** para verificar la validez de las señales de los satélites y calcular correcciones que mejoren las prestaciones de los sistemas GNSS.

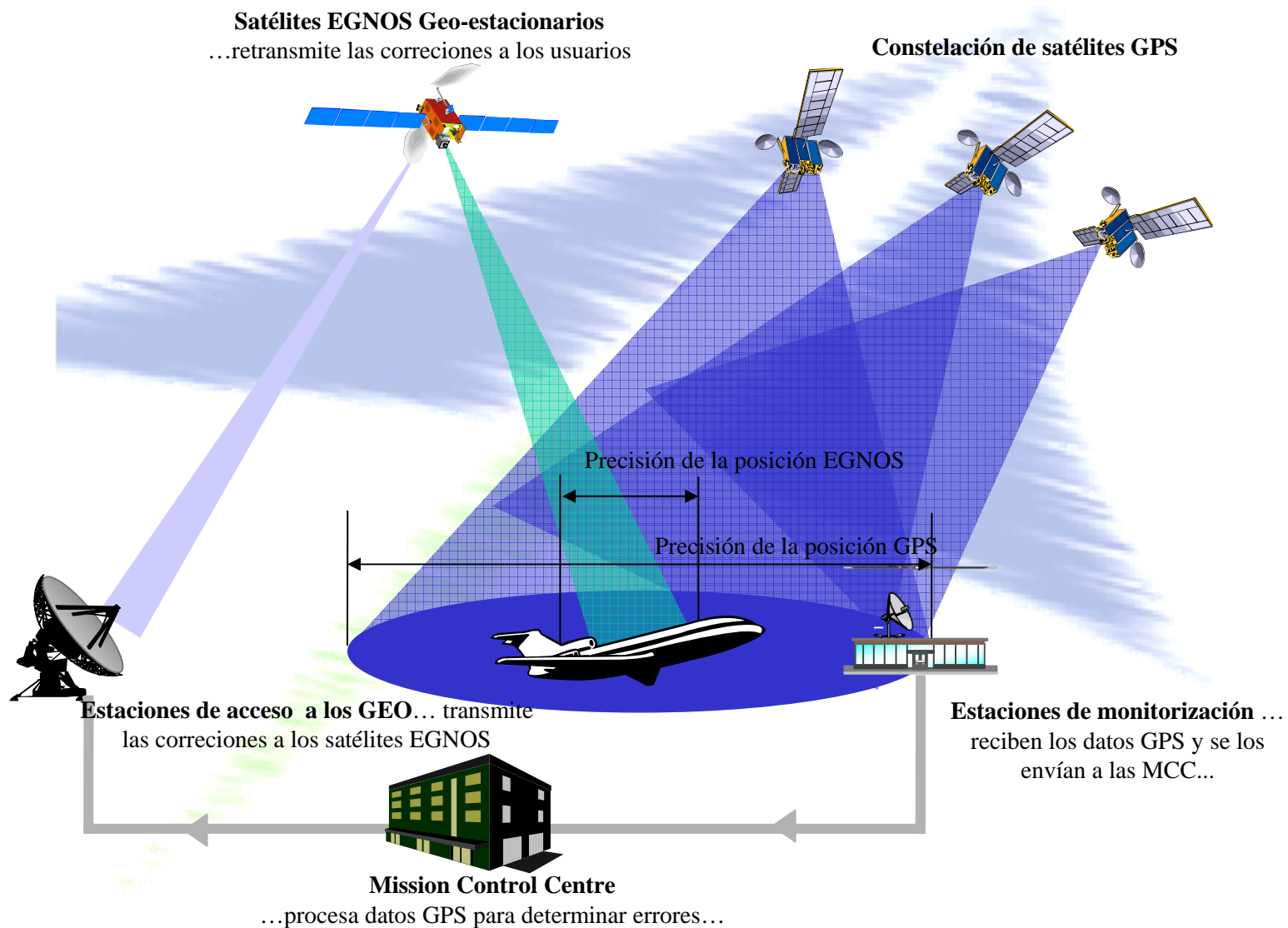


# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. **Sistemas GNSS**
  - I. **Sistemas de Aumentación**
    - a) **SBAS (EGNOS Europeo)**
    - b) GBAS
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



## 2.- Sistemas GNSS: SBAS



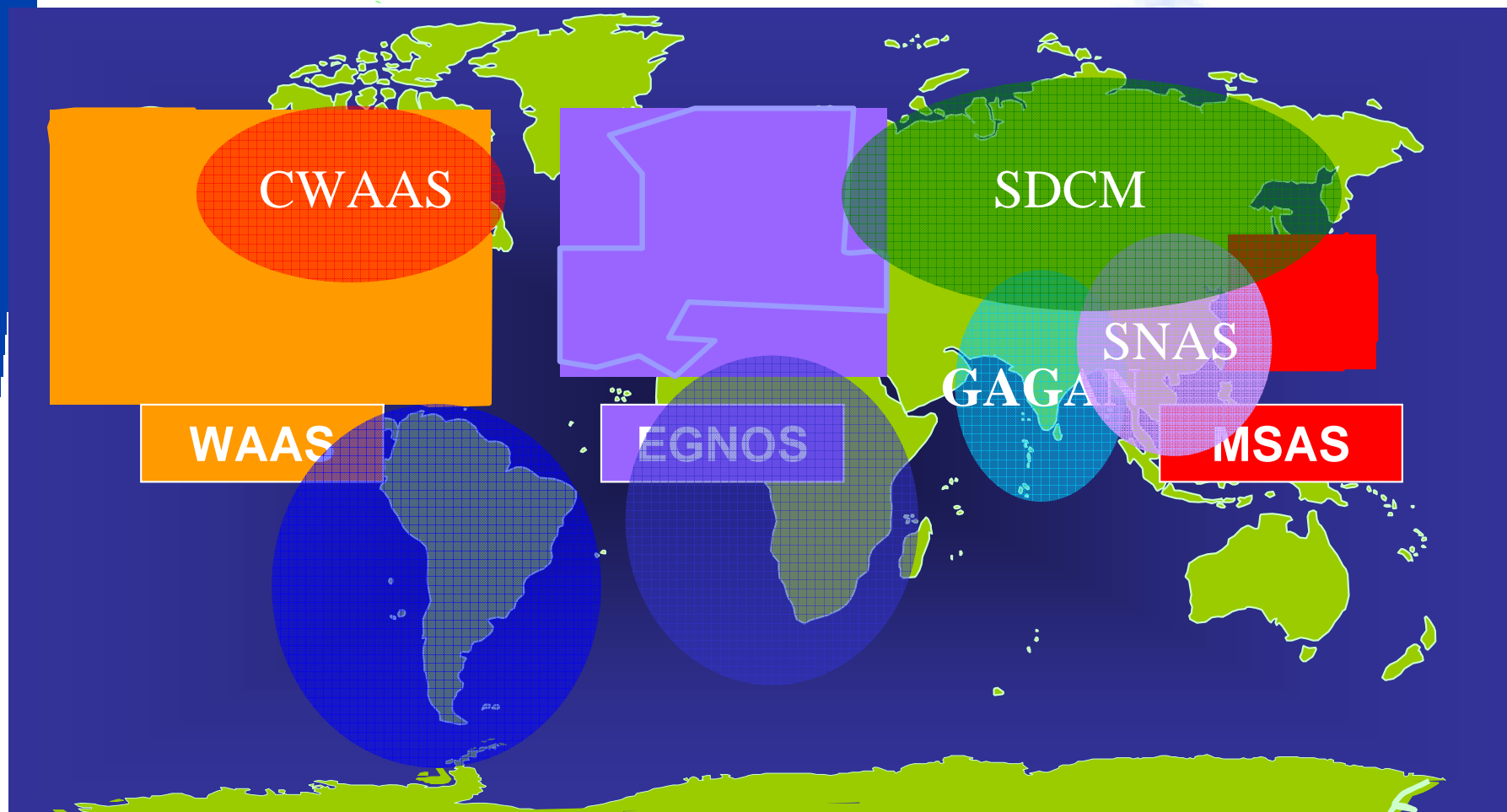


## 2.- Sistemas GNSS: SBAS





## 2.- Sistemas GNSS: SBAS



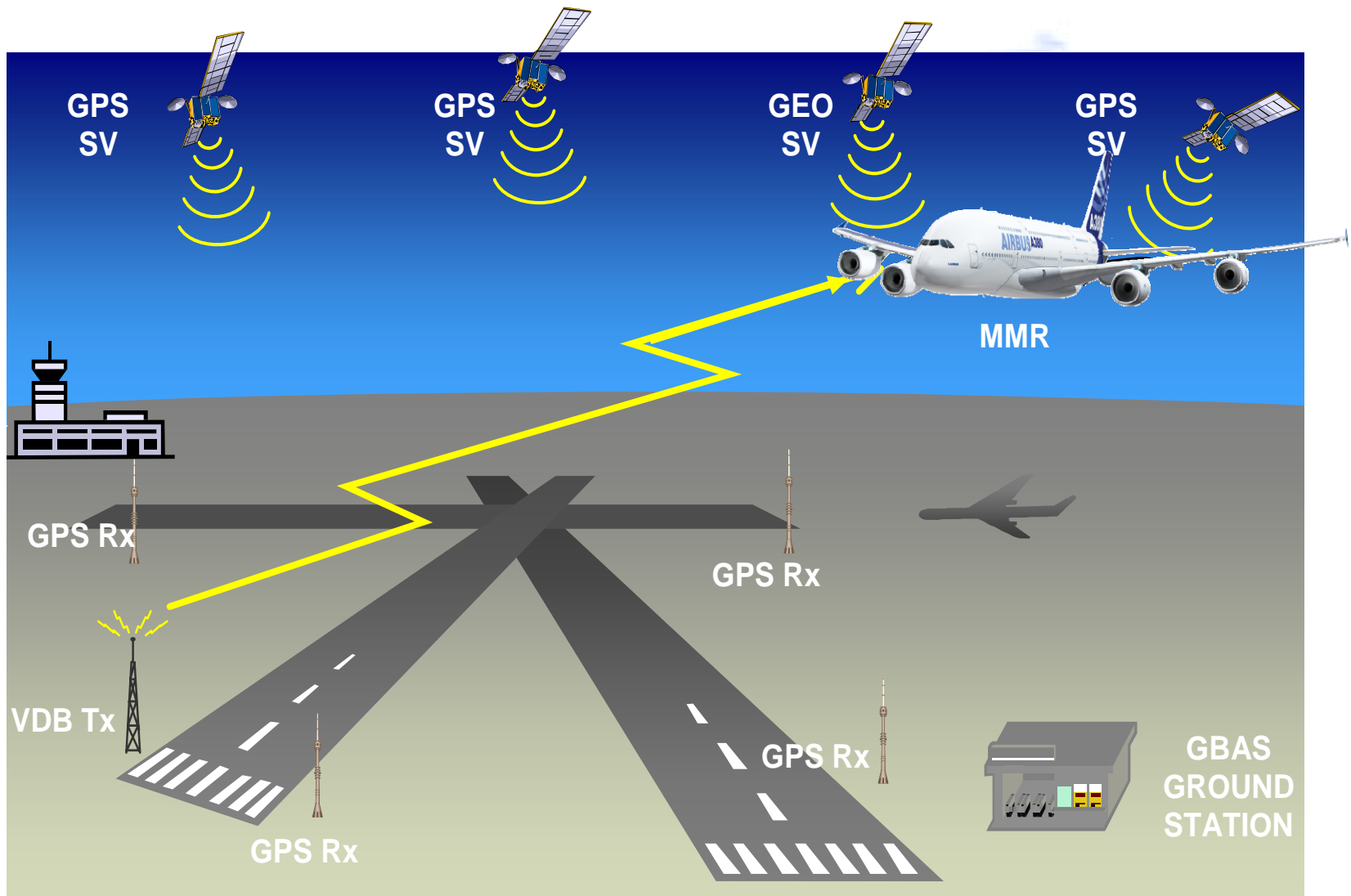


# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. **Sistemas GNSS**
  - I. **Sistemas de Aumentación**
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) **GBAS**
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



# 2.- Sistemas GNSS: GBAS









# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
- 3. GBAS y las tormentas ionosféricas**
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



## **3.- GBAS y las tormentas ionosféricas**

**Los Sistemas GBAS disponen de un modelo de amenaza ionosférica frente a posibles errores en la información de la señal GBAS que pudieran ocasionar una tormenta ionosférica que tuviera lugar en el entorno de la estación.**



**El único sistema GBAS CAT I certificado hasta la fecha (Honeywell SLS-4000 Smartpath) incluye un modelo de amenaza ionosférica adaptado a la región CONUS (Continental US)**



**Hay que validar la aplicabilidad de ese modelo a la región en que se quiere implantar el sistema**

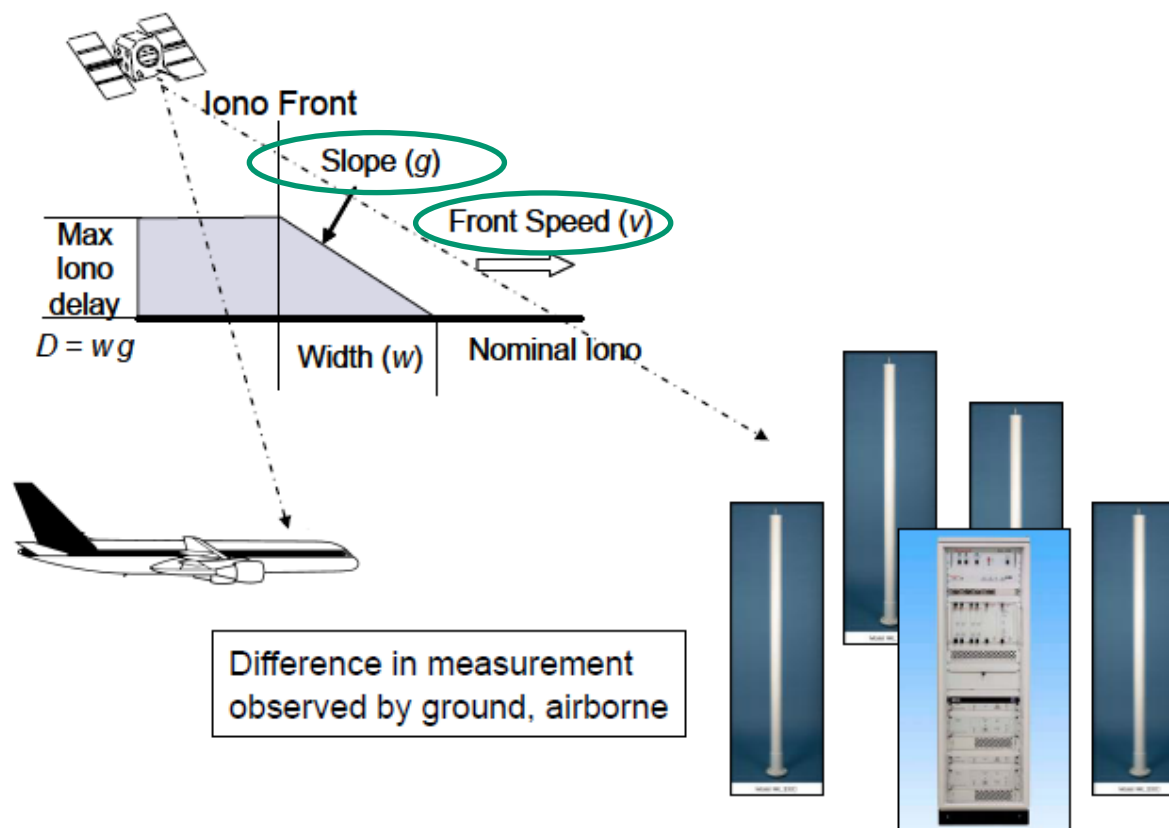


**Aena ha realizado un primer estudio de aplicabilidad sujeto a confirmación durante el próximo pico del ciclo solar. Este estudio trata dos regiones de forma diferenciada: a) la península + Baleares y b) las islas Canarias**



## 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas

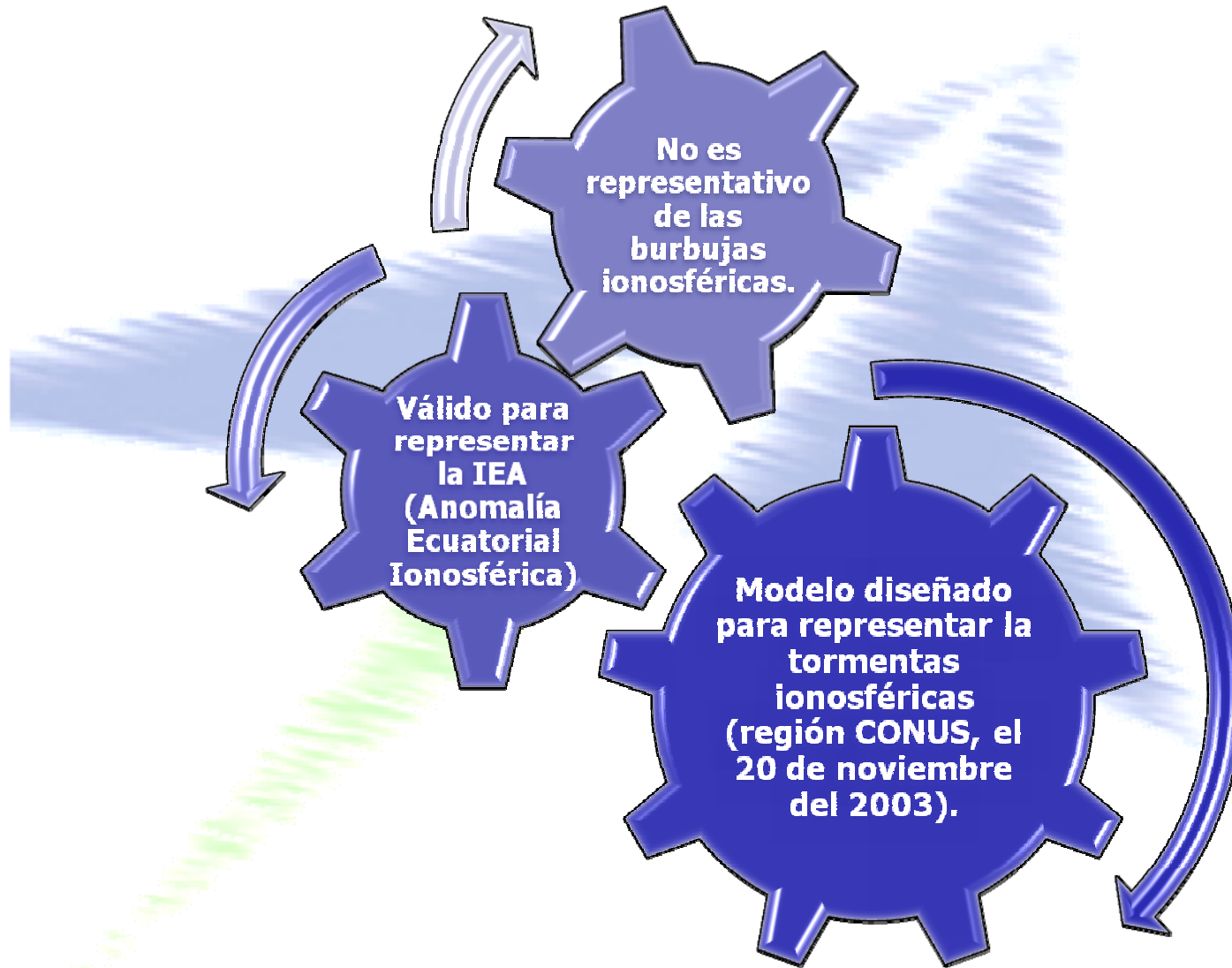
- Eventos ionosféricos modelados como un **frente lineal** que se mueve a una **velocidad constante** (m/s) y caracterizado por un **gradiente** (mm/Km)



Gradient = Slope ( $g$ )



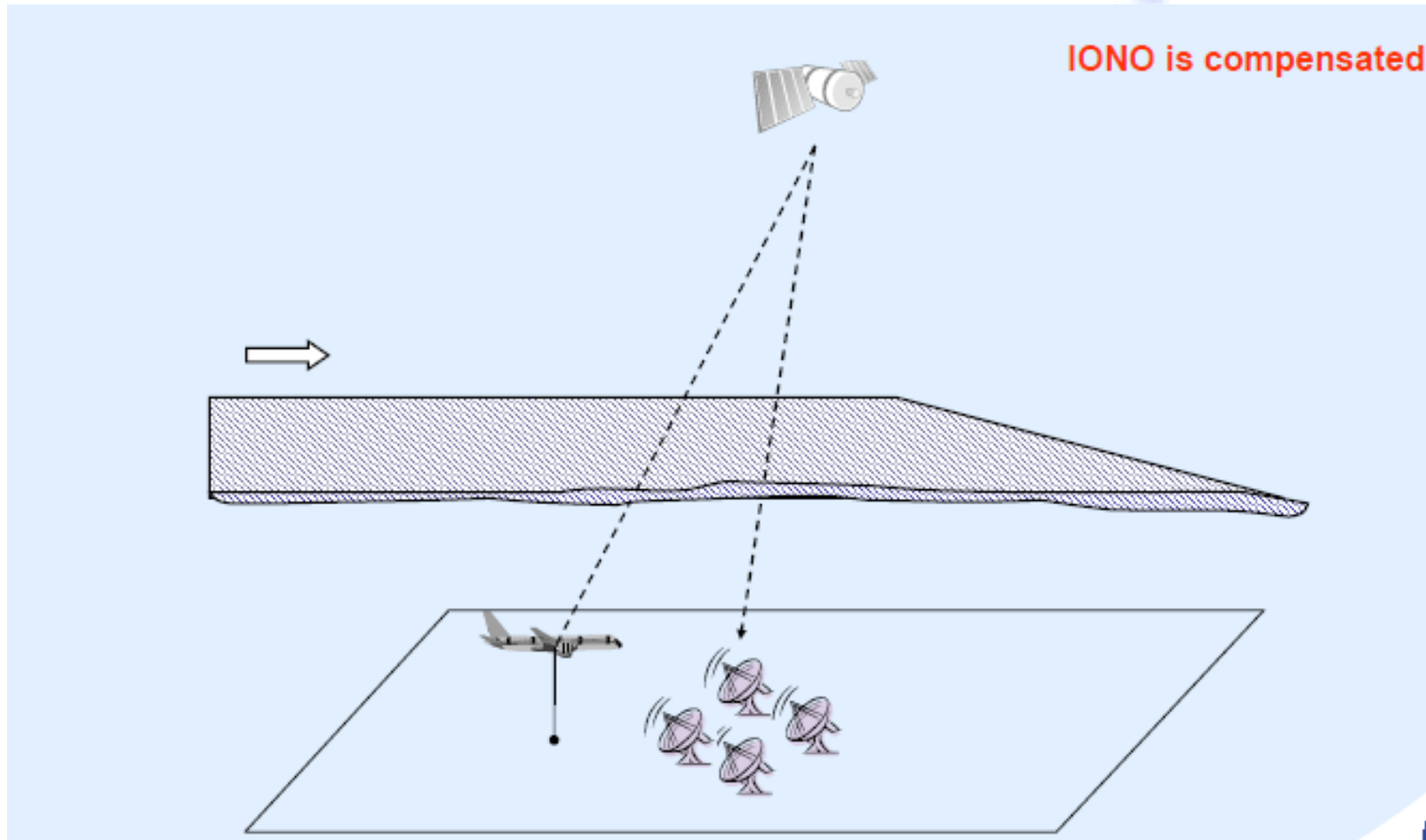
### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas





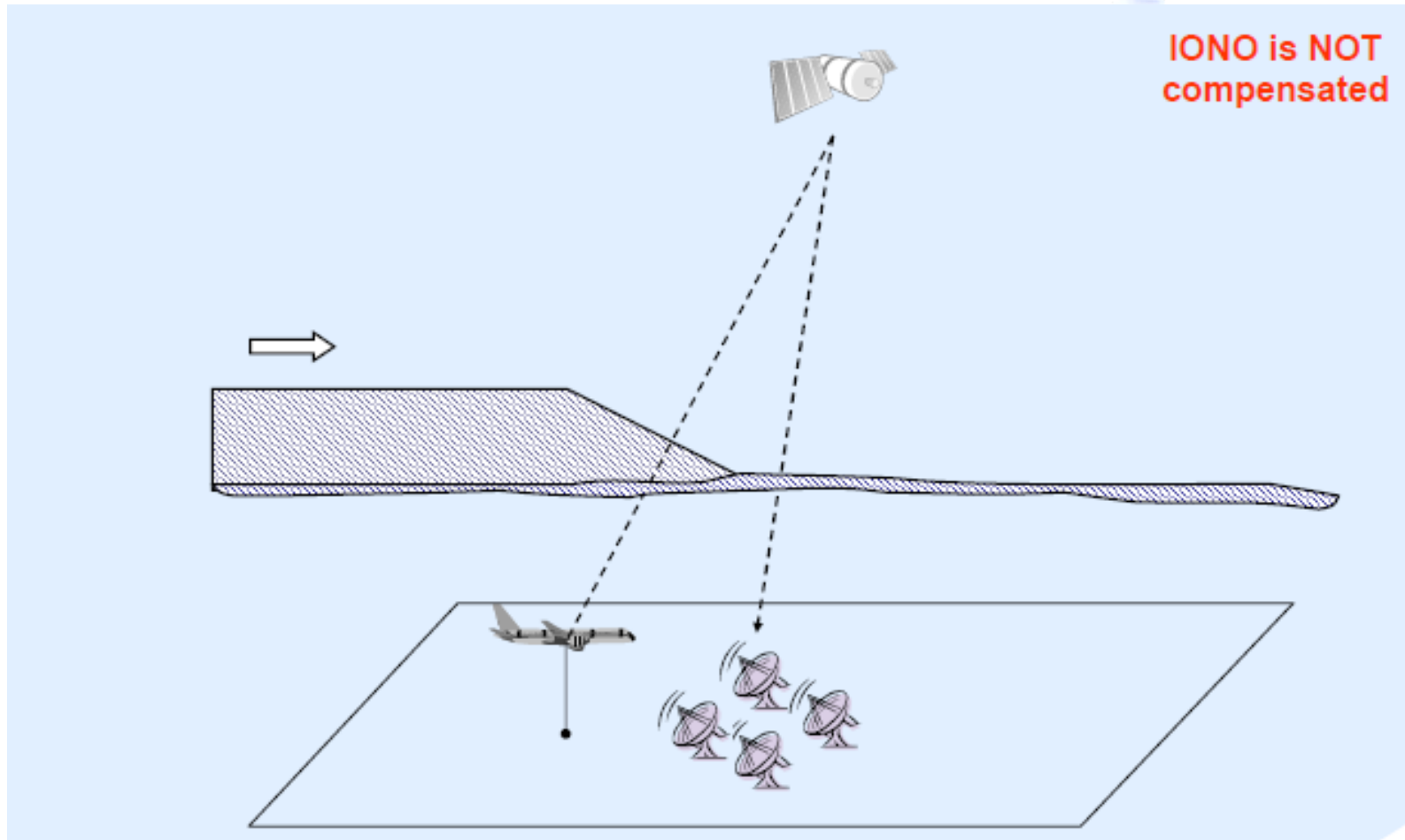


## 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas





## 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas







# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. **GBAS y las tormentas ionosféricas**
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Metodología

Pasos del estudio realizados:

1.- Identificación de los días con presencia de condiciones anómalas en la ionosfera (Identify "stormy" days) → necesidad de datos **entre 1998 y 2008 (pero centrándonos en el máximo entre 2000 y 2003),**

2.- Cálculo de los gradientes ionosféricos espaciales durante esos periodos (Evaluate "storms"). **Objetivo: caracterizar los eventos ionosféricos más fuertes**

3.- Confirmación de que los gradientes detectados son producto de eventos ionosféricos y no de errores de los receptores, cycle slips ...

4.- Comparación de los eventos detectados (gradiente y velocidad) frente al modelo de amenaza implementado en la estación GBAS **(optimizado frente a los peores casos encontrados en la región CONUS)**



# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. **GBAS y las tormentas ionosféricas**
  - I. Metodología
  - II. Datos**
  - III. Conclusiones
4. Actividades previstas EUROCONTROL



### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Datos

#### Estaciones disponibles desde 2002

- Máxima actividad solar durante (2003)



#### Península Ibérica

Menor número de estaciones de las deseables (menor de 50 Kms).

#### Islas Canarias

Número insuficiente de estaciones (3) durante el último máximo del ciclo solar.





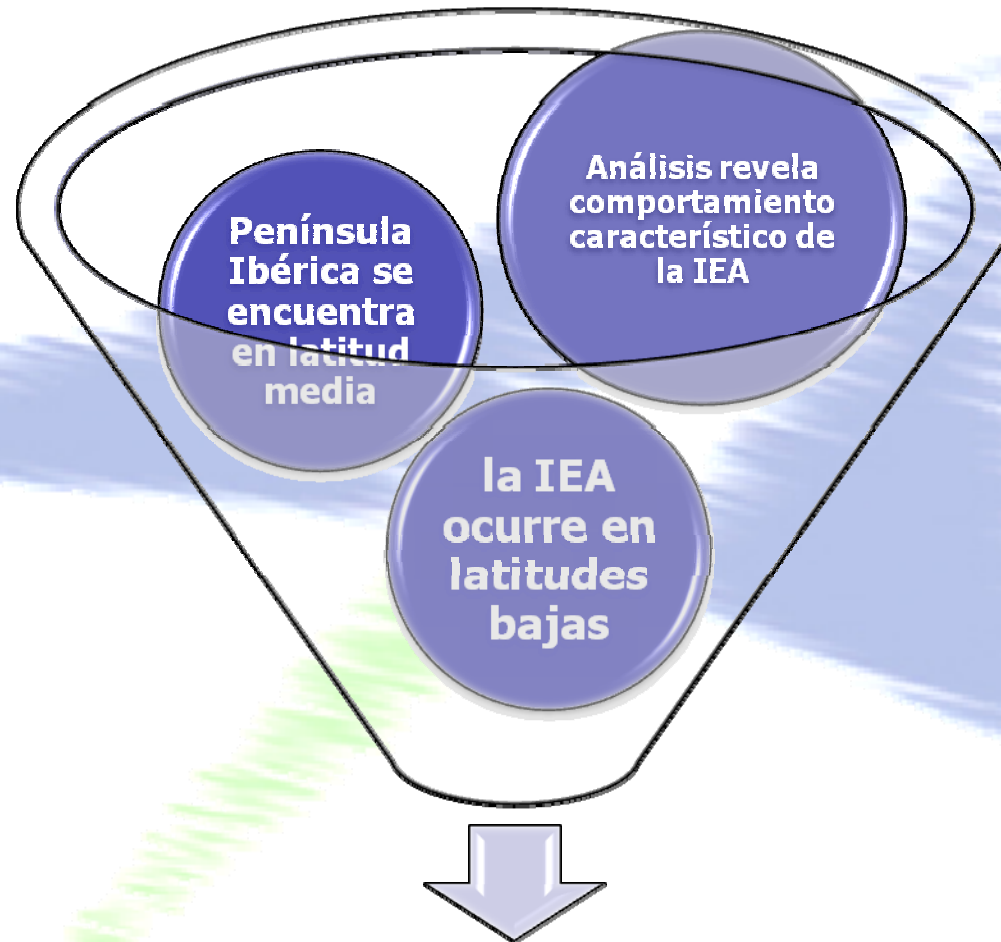


# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. **GBAS y las tormentas ionosféricas**
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones**
4. Actividades previstas EUROCONTROL



### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones



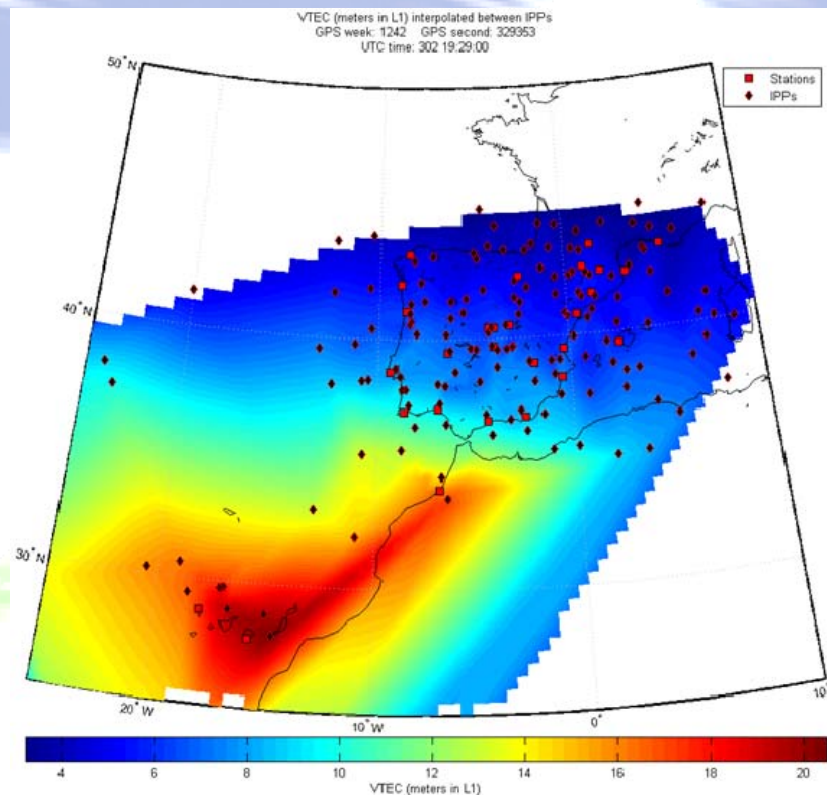
**Eventos ionosféricos encontrados responden a una inusual actividad elevada de la IEA, coincidente con elevada actividad solar**



## 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones

### IEA (Ionospheric Equatorial Anomaly) en España

- Gradientes medios y velocidades bajas
- Frente de alta actividad avanza hacia el norte al amanecer y desciende hacia el sur al atardecer → mayor parte de altos gradientes encontrados al atardecer
- Islas Canarias más afectadas por la IEA que la península, pero todos los eventos ionosféricos encontrados están relacionados con IEA

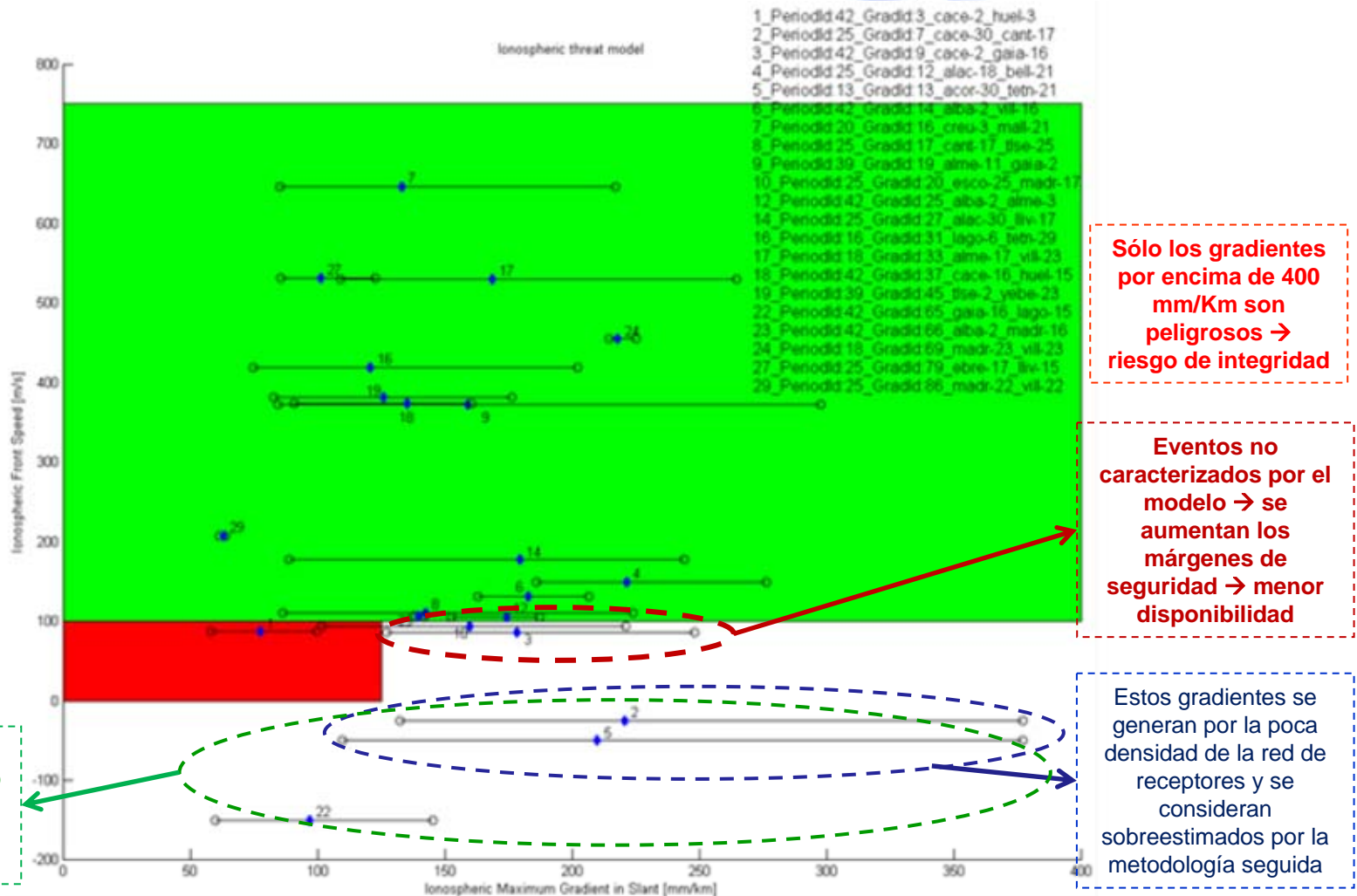






### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones

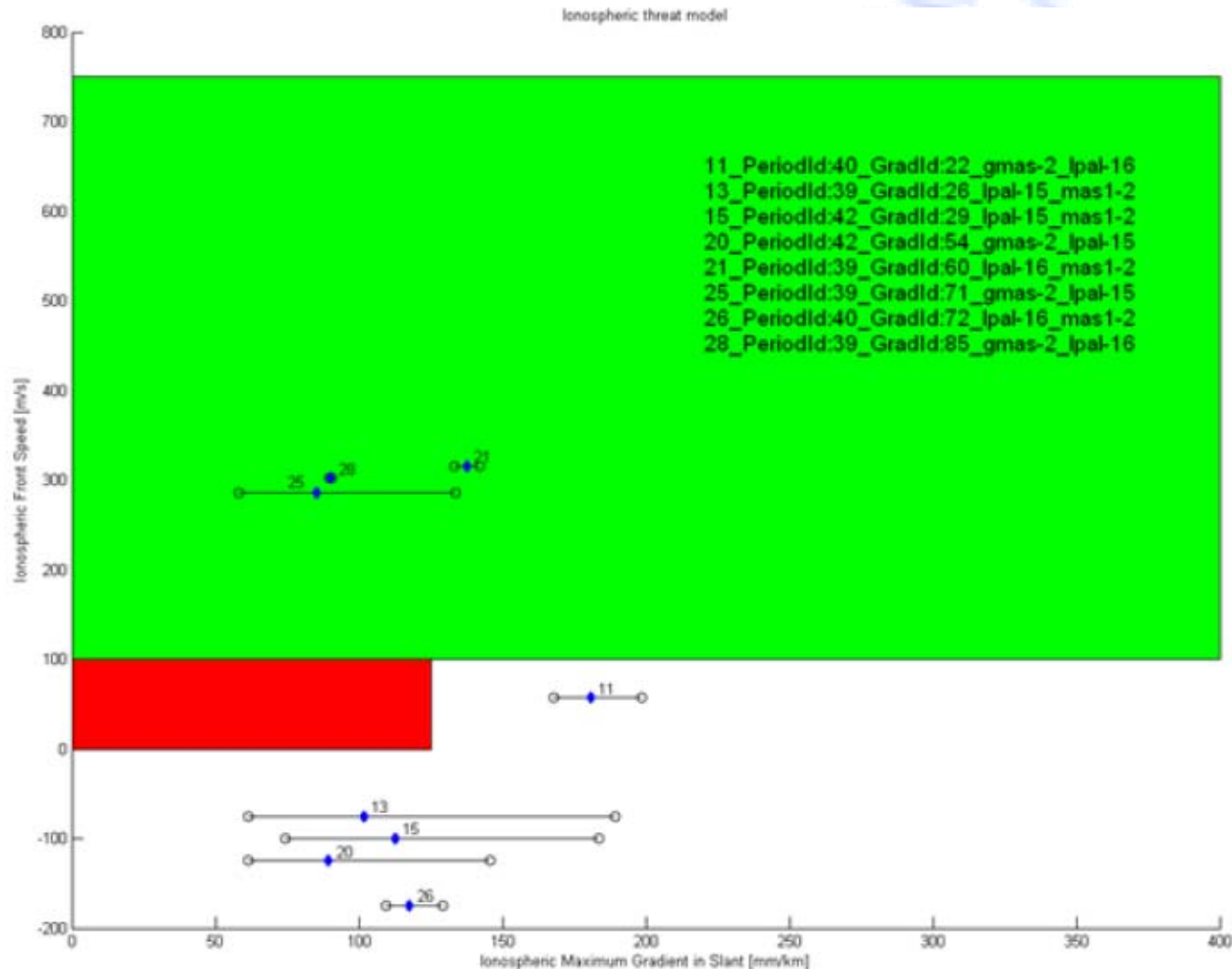
#### Tormentas ionosféricas en la península Vs. Modelo de amenaza ionosférica





### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones

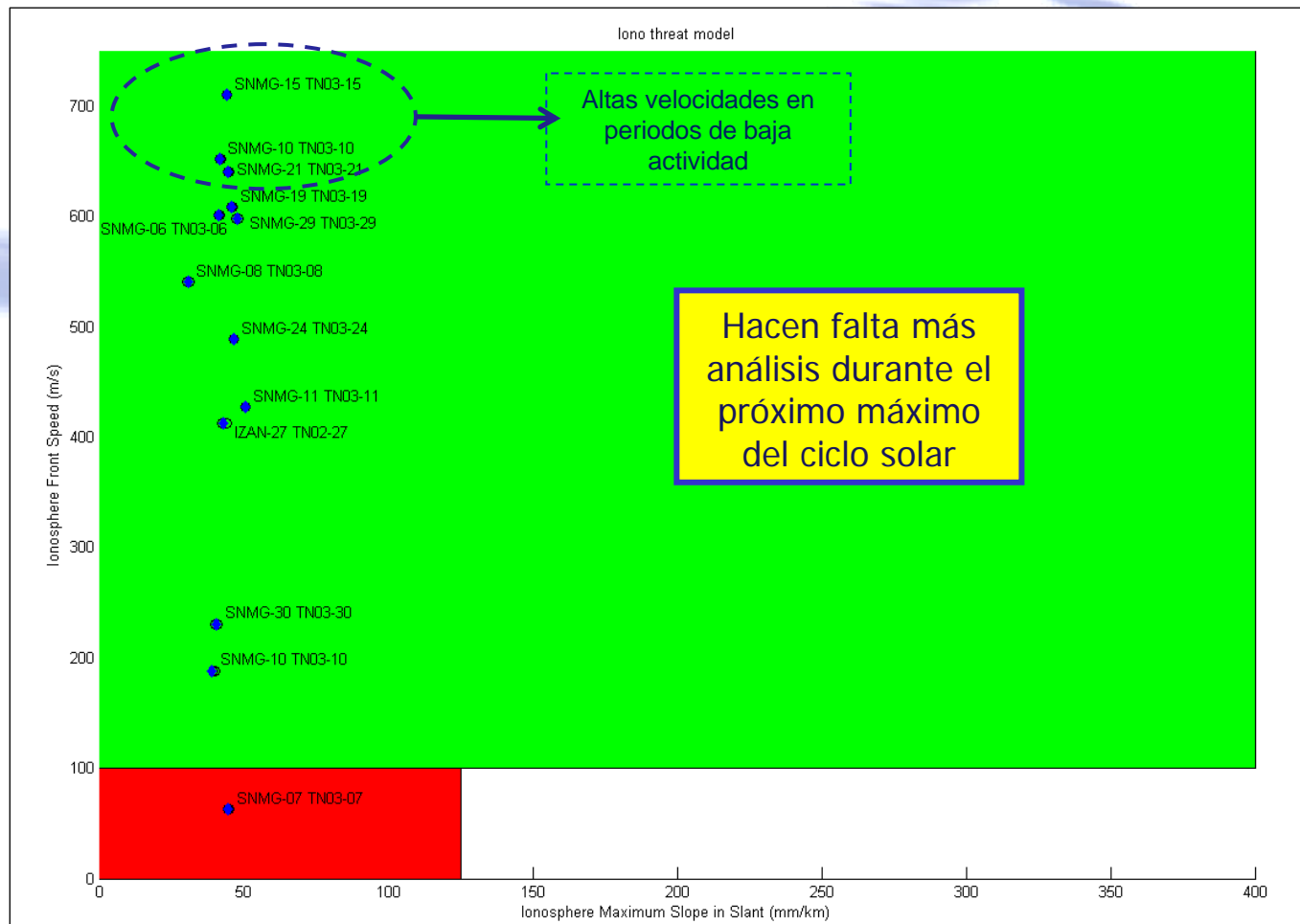
Tormentas ionosféricas en las Canarias Vs. Modelo de amenaza ionosférica (Hasta 2008)



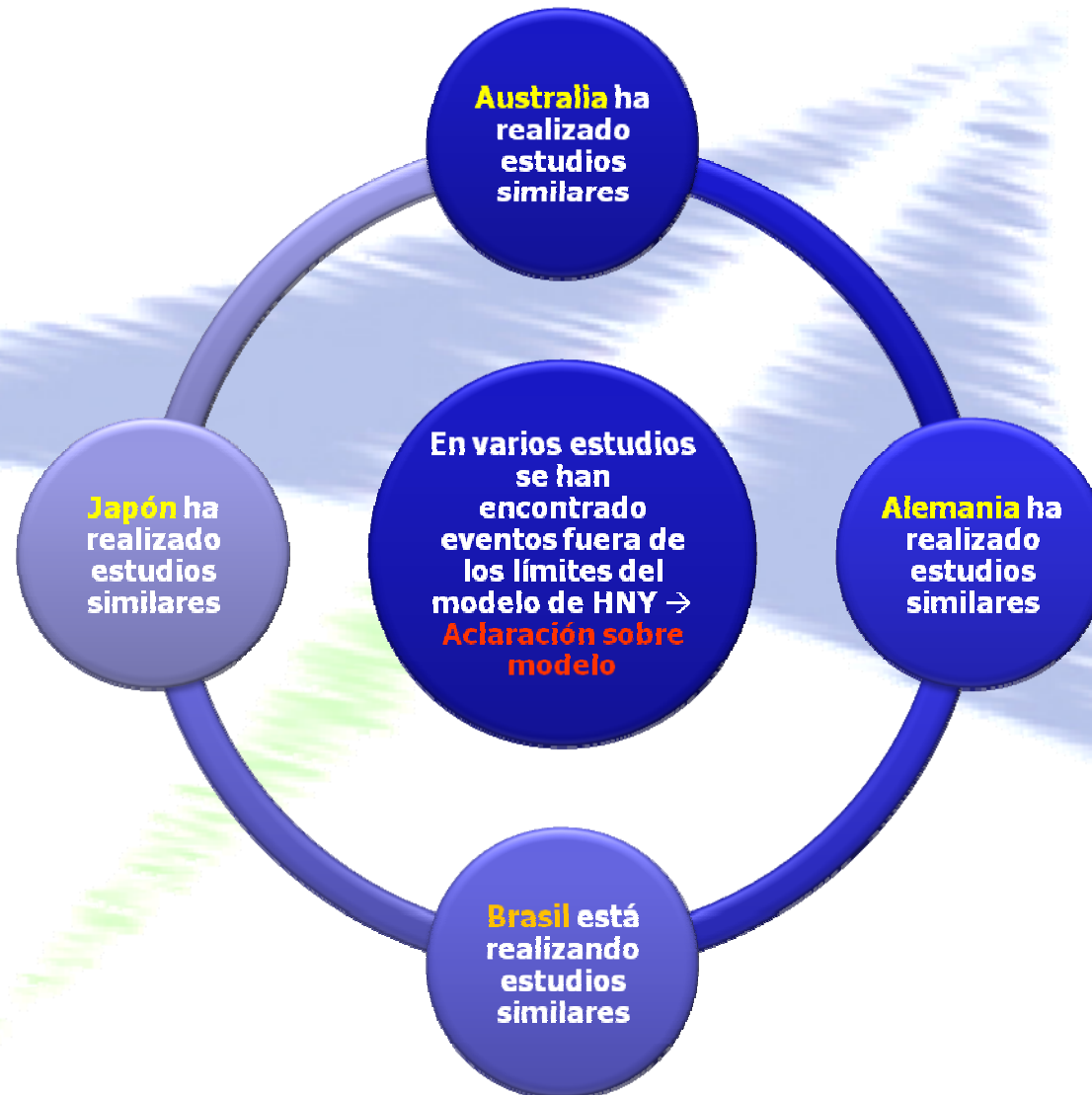


### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones

Tormentas ionosféricas en las Canarias Vs. Modelo de amenaza ionosférica (2008-2009) con red de datos adecuada



### 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones



# 3.- GBAS y las tormentas ionosféricas. Conclusiones

## Inicio

- Modelo original adaptado a la región CONUS

## Realidad

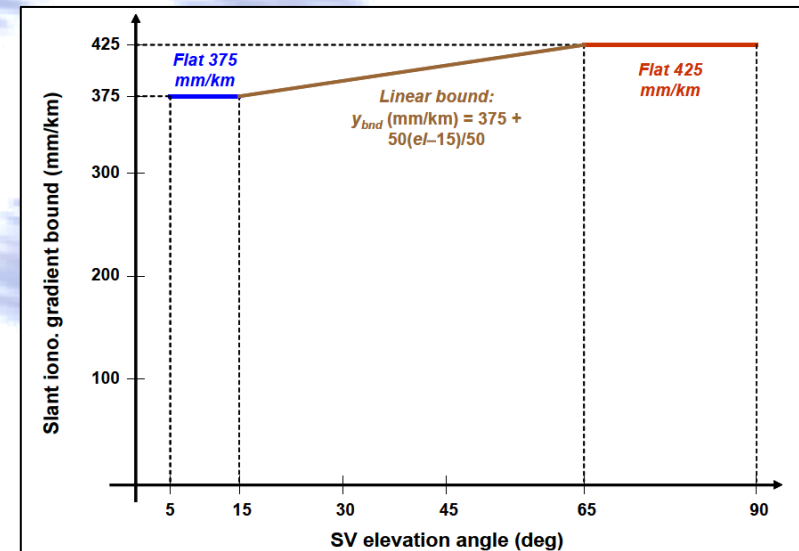
- Necesidad de adaptar el modelo a otras regiones  
→ Sólo los eventos con un gradiente superior a 400mm/km pueden ocasionar un riesgo de integridad.

## Cambio

- Redefinición del modelo (no se tiene en cuenta la velocidad):
  - De Gradiente Vs. Velocidad
  - A Gradiente Vs. Ángulo de elevación SV

## Siguientes pasos

- Aena reevaluará sus análisis para comprobar la validez del nuevo modelo (Universidad de Stanford) con datos del próximo pico del ciclo solar.





# Índice de contenidos

1. Transición hacia la Navegación por Satélite
2. Sistemas GNSS
  - I. Sistemas de Aumentación
    - a) SBAS (EGNOS Europeo)
    - b) GBAS
3. GBAS y las tormentas ionosféricas
  - I. Metodología
  - II. Datos
  - III. Conclusiones
4. **Actividades previstas EUROCONTROL**





## 4.- Actividades previstas por EUROCONTROL



### Eurocontrol Iono study: Phases

Eurocontrol study is divided into 3 phases:

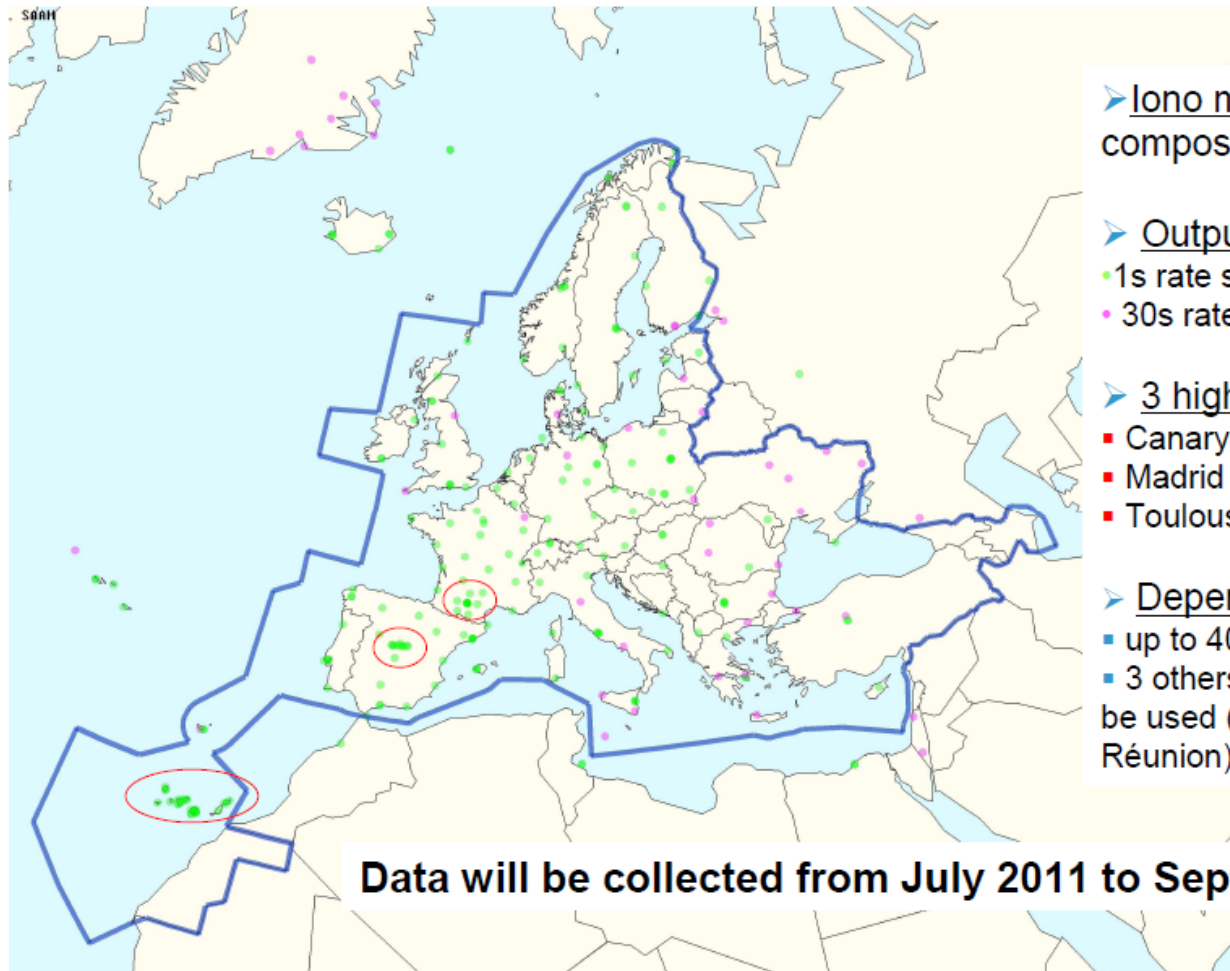
- ✓ **Phase 1 (Nov 2009-Nov 2010):** to provide a preliminary analysis and a detailed work plan during the next period of maximum solar activity
  - State of the art on the impact of the ionosphere and on the correction implemented so far
  - Identify the aviation operation that may be impacted
  - Set an efficient work plan for phase 2
  
- **Phase 2 (Jan 2011-Sept 2013):** to undertake the work plan identified in phase 1:
  - Measurement campaign (July 2011-Sept 2013)
  - Impact and mitigations analysis (Jan 2011-Sept 2013)
  
- **Phase 3 (beyond Sept 2013):** under discussion



## 4.- Actividades previstas por EUROCONTROL



### Phase 2: Measurement campaign



➤ long monitoring network: will be composed of at least 265 stations

➤ Output rate of the stations:

- 1s rate stations
- 30s rate stations

➤ 3 high density clusters:

- Canary Island
- Madrid
- Toulouse

➤ Depending on agreement:

- up to 400 stations may be used
- 3 others high density clusters may be used (Norway, Poland, La Réunion)

**Data will be collected from July 2011 to Sept 2013**



## 4.- Actividades previstas por EUROCONTROL



### ESA-Eurocontrol collaboration on IONO



#### **EUROCONTROL IONO study:**

- Focus on the ionosphere impact on the GNSS aviation user
- Covers the ECAC area

#### **ESA MONITOR IONO study:**

- system performance oriented
- Covers all regions
- Focus on a better understanding of the ionosphere effects

=> There is room for both activities but a strong ESA-Eurocontrol collaboration will prevent overlap and will enhance the outcomes for both partners.



***Aitor Álvarez Rodríguez***  
***Jefe de la División de Navegación por Satélite***  
***Dirección de Navegación Aérea de Aena***  
***aarodriguez@aena.es***