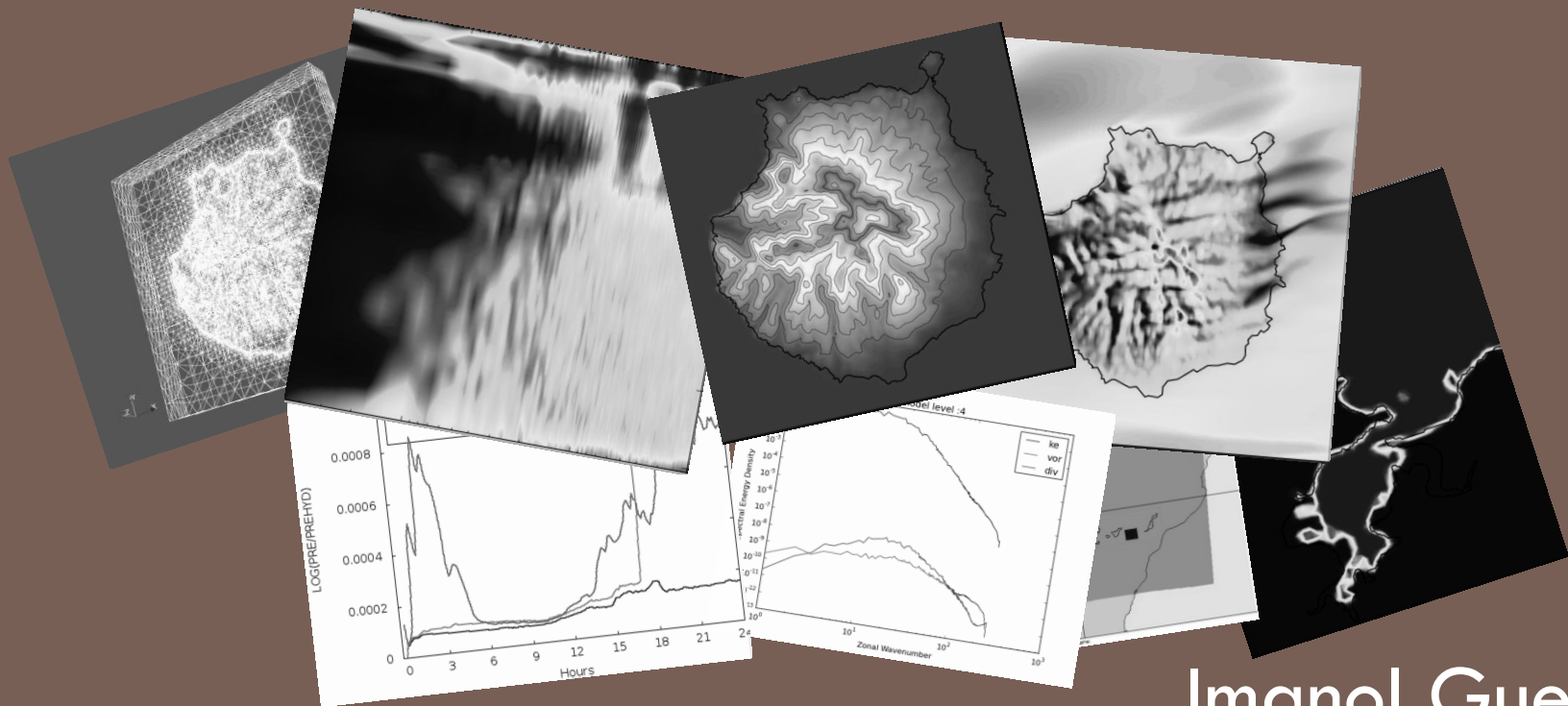


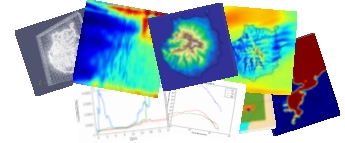
PREDICCIÓN DEL VIENTO A ESCALAS SUB-KILOMÉTRICAS



Imanol Guerrero

Seminario de becas. Madrid, 1 de octubre
2014. AEMET

Índice



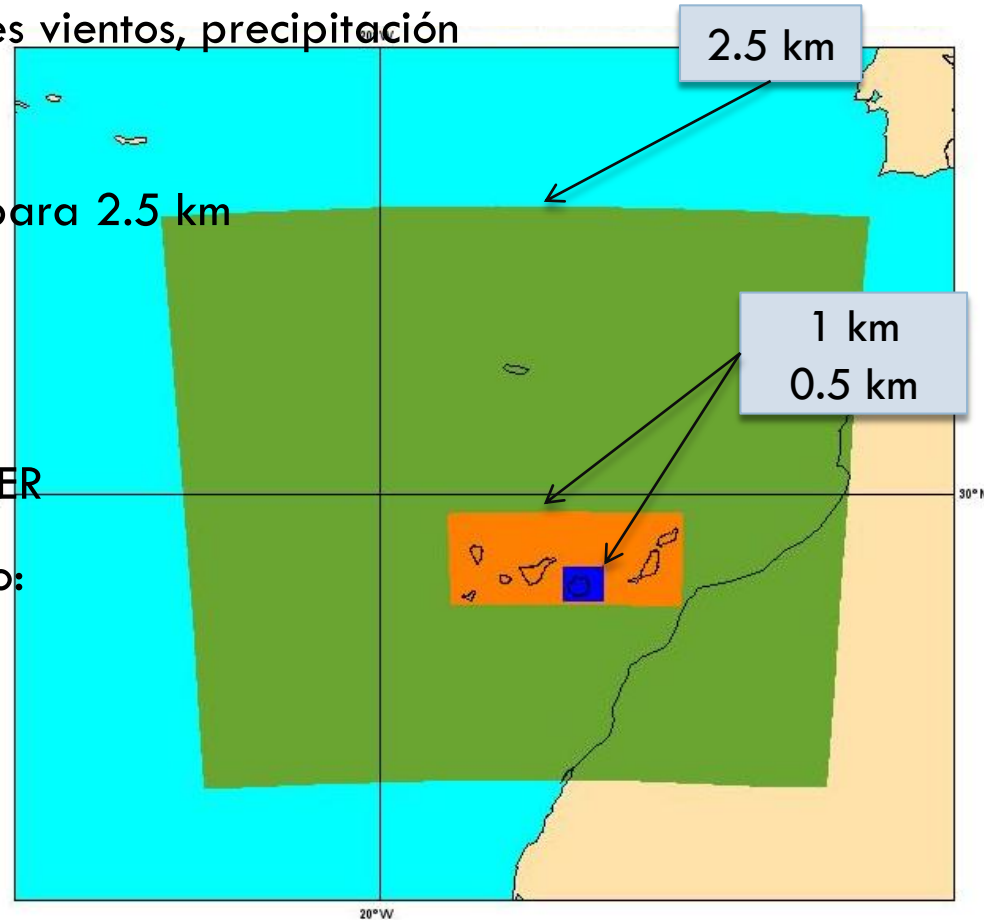
- Introducción
- Diseño de los Experimentos
- Orografía en HARMONIE
- Inestabilidad en Alta Resolución
- Contribución de la Divergencia en la Atmósfera
- Wind3D: Modelo de Masa Consistente
- Conclusión y Trabajo Futuro

Introducción

- El objetivo principal de este trabajo es explorar el potencial del modelo HARMONIE para la predicción a escalas sub-kilométricas.
 - El modelo HARMONIE es un modelo de **área limitada espectral** (bi-Fourier) **no-hidrostático**, desarrollado por Meteo-France y ALADIN en colaboración con ECMWF y HIRLAM. Su parte temporal es semi-Lagrangiano semi-implícito de dos pasos de tiempo con una coordenada híbrida en la vertical.
 - Existen varias parametrizaciones posibles, la física de AROME es la utilizada por debajo de 2.5 km, está basada en el modelo MESO-NH. Para los procesos de superficie usa SURFEX y el esquema de radiación está tomado del ECMWF
- Estas características hacen que HARMONIE puede ser ejecutado a muy **altas resoluciones**
- Con una **configurado operativa estable de 2.5 km** de resolución horizontal, existen pocos experimentos a muy alta resolución, y la verificación es difícil por la falta de observaciones con suficiente resolución
- Esto es particularmente útil para la predicción del viento

Diseño de los Experimentos

- Área de estudio: Gran Canaria (Terreno complejo) (latitud $\sim 28^\circ$, longitud $\sim -15^\circ$)
- Fecha: 2010/02/17 (+36 h), con fuertes vientos, precipitación
- Resoluciones: 2.5, 1 y 0.5 km
- Condiciones de contorno: ECMWF (3h) para 2.5 km y HARMONIE_2.5 (1h) para el resto
- Bases de datos orográficas:
 - GTOPO30 (operativa) , IGN y ASTER
- Experimentos para estabilizar el modelo:
 - Aplicar diferentes difusiones
 - Reemplazar el esquema numérico temporal (SETTLS a PC)
 - Implementación de condiciones de contorno superiores (**por Mariano Hortal**)
- Proyección Lambert, 65 niveles en la vertical, ECOCLIMAP II physiographic data base



¿Por qué necesitamos cambiar la topografía?

- La orografía es calculada por el modelo a partir de una base de datos orográfica.
- La actual base de datos, GTOPO30, tiene una resolución de 1 km, así que **no es suficiente para la modelización de un 1 km o inferior.**
- Los archivos GTOPO30 están constituidos por dos archivos, *.hdr (cabecera) y *.dir (binario)
- Con esta información se crea la parte orográfica de los archivos **climáticos del modelo**

Como HARMONIE 2.5
ve el terreno



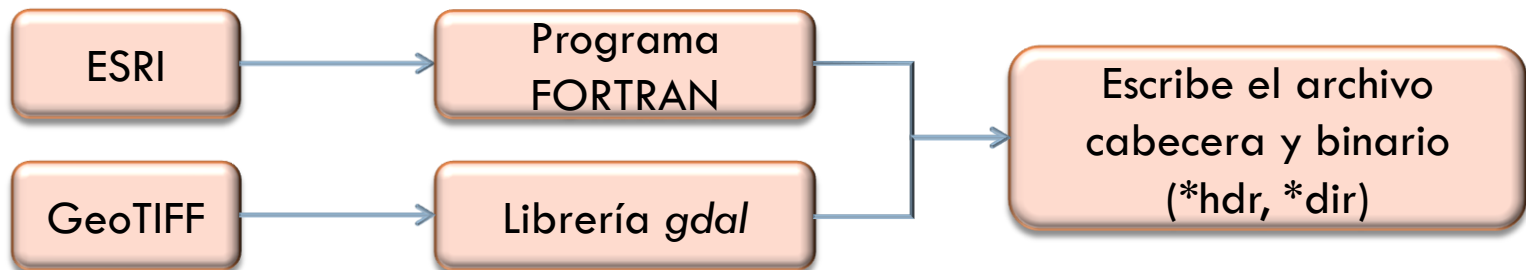
gtopo30.hdr

```
GTOPO30 orography model,  
rewritten by V. Masson,  
CNRM, Meteo-France,  
16/07/98  
nodata: -9999  
north: 90.  
south: -90.  
west: -180.  
east: 180.  
rows: 21600  
cols: 43200  
recordtype: integer 16  
bytes
```

Archivo *.hdr utilizado
por HARMONIE 2.5

| Características | GTOPO30 | MDT | ASTER |
|-----------------------|---|--|--|
| Desarrollador | USGS https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30 | IGN http://www.ign.es | NASA and MITE http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp |
| Resolución Horizontal | 30 arc-second ~ 1 km (lat/lon) | 200 m (25, 5 m) (UTM) | 1 arc-second ~ 30 m (lat/lon) |
| Formato | DEM (archivo binario) *DEM and *HDR, metros | ESRI (ASCII), metros | GeoTIFF *tif, metros |
| Cobertura | Global | Sólo sobre España | Entre 83° N y 83° S |

Convertir la topografía de alta resolución a un GTOPO30 “entendible” por HARMONIE:

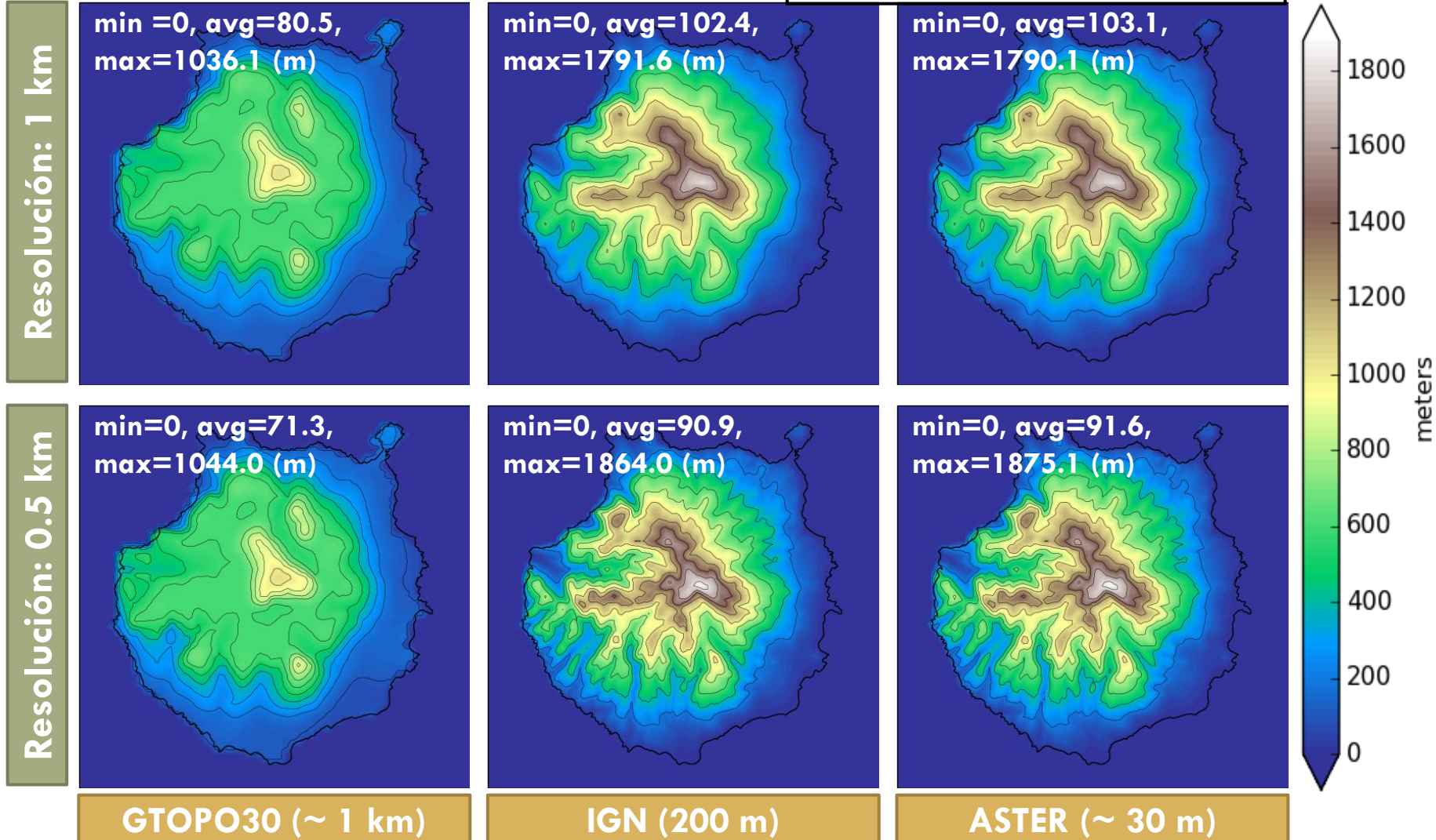


Orografía en HARMONIE

Resultados usando diferentes bases de datos

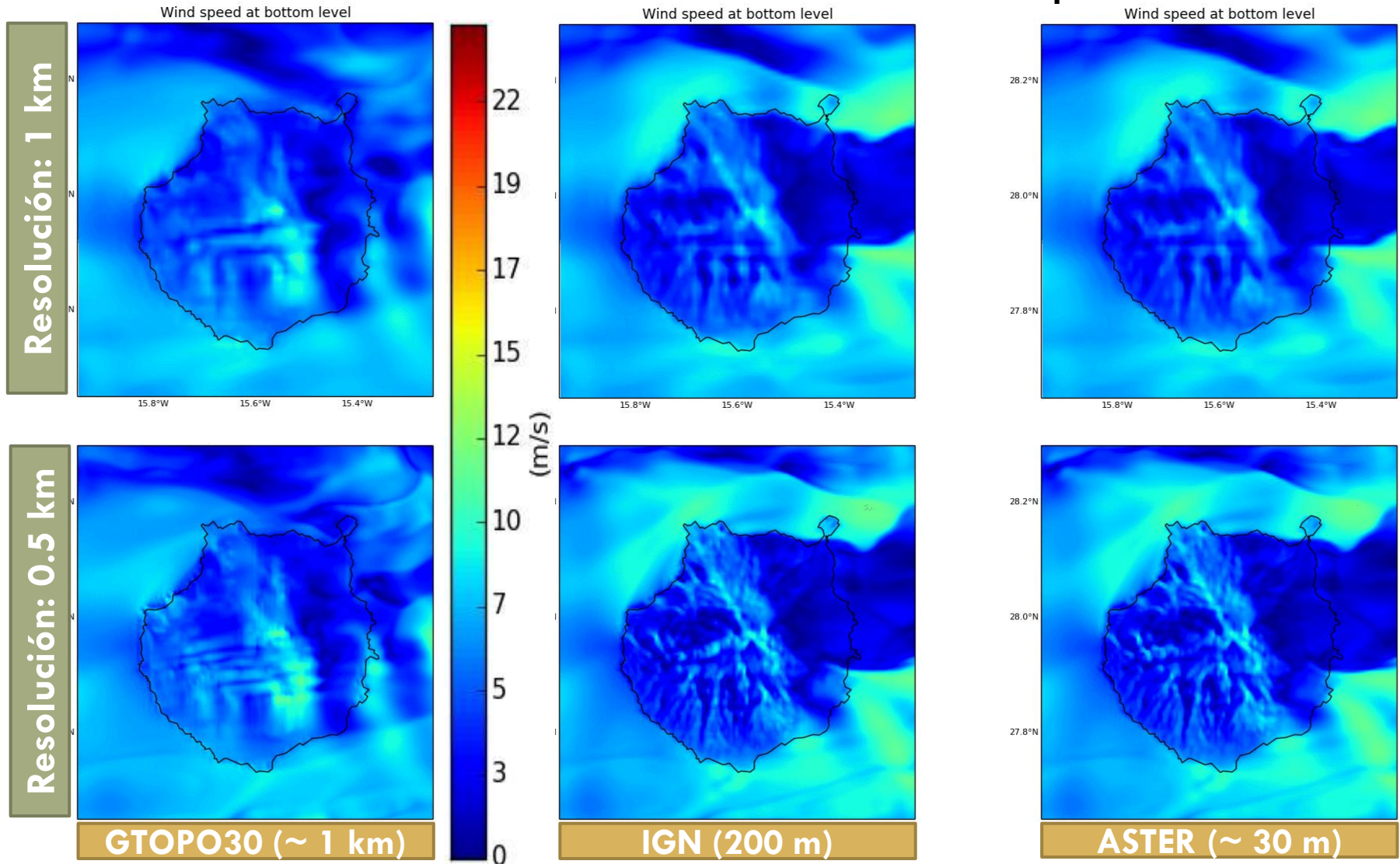
Topografía vista por HARMONIE

Pico de las Nieves: 1949 m



- GTOPO30 muestra una **forma más suave** y **menores alturas** que las bases de datos del IGN y ASTER
- La base de datos del IGN y ASTER producen casi la misma orografía

Viento en superficie de +7 a +24 h



- Los experimentos con más detalle orográfico “sienten” más la influencia del terreno que los de GTOPO30
- El campo de vientos con la bases de datos IGN y ASTER son muy similares

Verificación

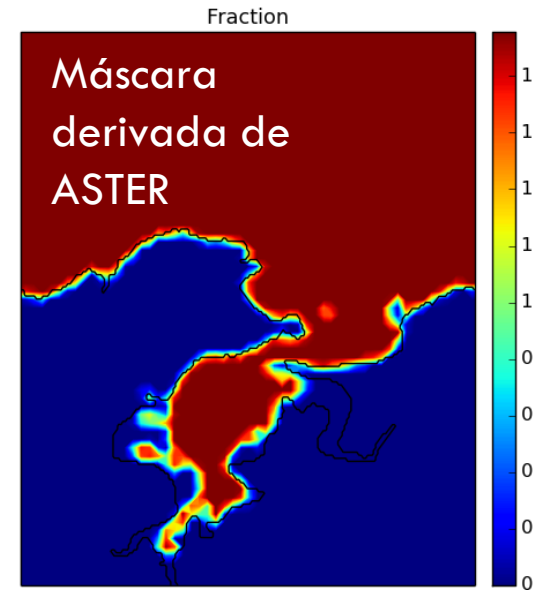
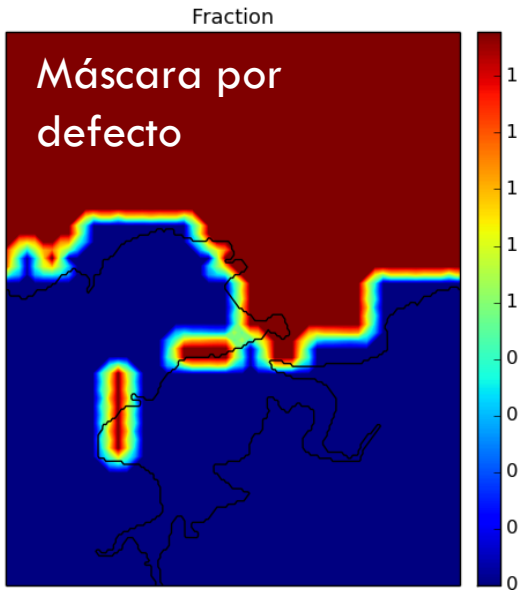
Verificación cuantitativa

| | GTOPO30 | | | ASTER | | IGN |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resolución (km) | 2.5 | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| Sesgo (m/s) | 1.008 | 1.746 | 1.915 | 0.036 | 0.021 | 0.026 |
| RMSE (m/s) | 3.627 | 3.895 | 3.843 | 3.093 | 3.048 | 3.060 |

- Los experimentos con la base de datos por defecto proporciona peores resultados con el aumento de la resolución y **produce un sesgo mayor**
- Los resultados con las bases de datos de mayor resolución son **mejores que con la operativa**
- Los experimentos con ASTER y IGN dan resultados **prácticamente iguales**, con la ventaja que ASTER tiene cobertura global

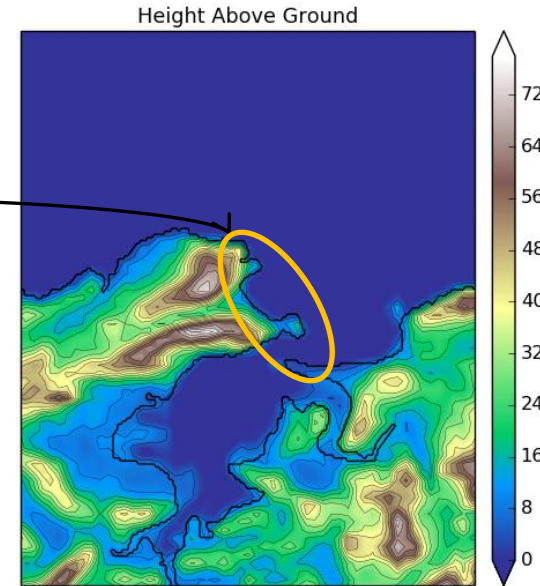
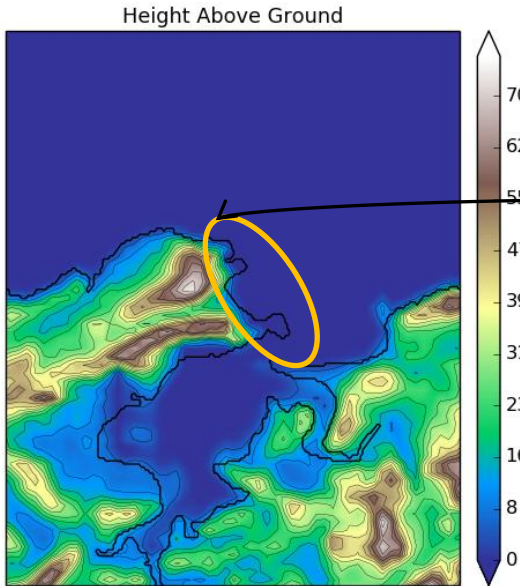
Máscara Tierra-Agua

Bahía de Santander



Sustitución de la máscara en el *upper air model* , no en SURFEX

Poco impacto, sólo a muy alta resolución



Influencia en la orografía resultante

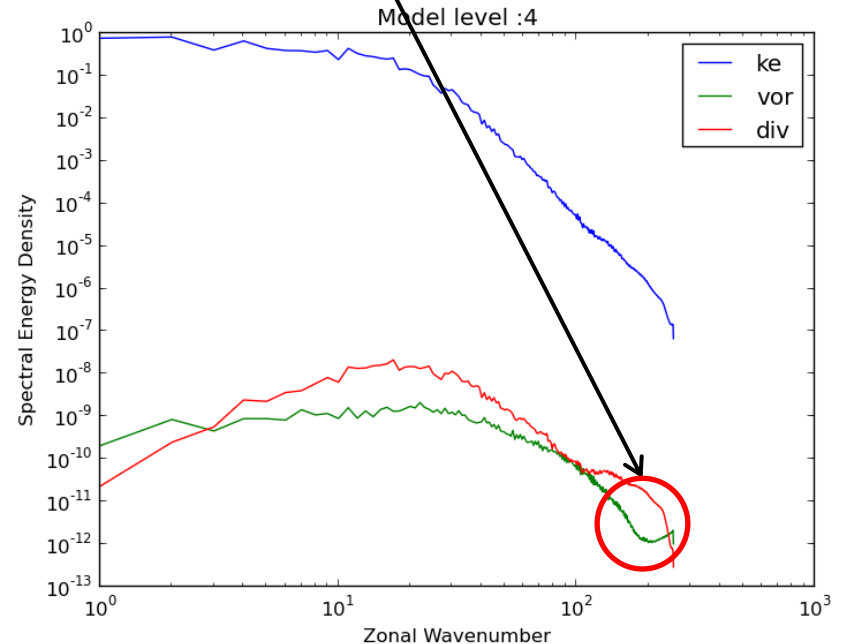
Inestabilidad en el modelo

- A resoluciones de 1km o por debajo el modelo puede **inestabilizarse** en los **niveles altos** y llegar a **explotar** por viento muy fuerte
- EL problema es más evidente cuando el dominio es más grande
- No es un problema fácil de resolver y a motivado la formación de un grupo de trabajo en HIRLAM y ALADIN
- En el modelo ECMWF en alta resolución ~5 km también aparece este problema

log file

```
...  
V WIND = 330.340832740848498 IS TOO STRONG,  
EXPLOSION.  
LEVEL= 2 POINT= 7  
PCOLON= 0.966065063466452822  
PGEMU = 0.476070838940757302  
ABORT! 54 !V WIND TOO STRONG, EXPLOSION!!!  
MPL_ABORT: CALLED FROM PROCESSOR 62 THRD 1  
MPL_ABORT: THRD 1 !U WIND TOO STRONG, EXPLOSION!!!
```

Acumulación de energía en escalas pequeñas



Espectro de energía

Difusión para estabilizar el modelo

Difusión espectral:

Es la **principal difusión utilizada** por el modelo, tiene una forma de:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = -K_X \nabla^r X$$

X : variable de pronóstico
 K : coeficiente de difusión, con varias opciones de configuración.
 r : orden de la difusión (4 por defecto)

Para estabilizar a alta resolución $r=6$ y *100 parámetro de configuración K

Fricción de Rayleigh, aplicada a los campos de viento de los niveles más altos

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -K_{fric} U$$

SLHD, usa la interpolación del esquema semi-Lagrangiano para producir difusión, es la difusión más agresiva utilizada y la única que no es uniforme

Sponge, variación lineal del coeficiente de difusión en los 10 niveles más altos

Todo esto hace que la integración vaya más allá pero **no evita que explote**

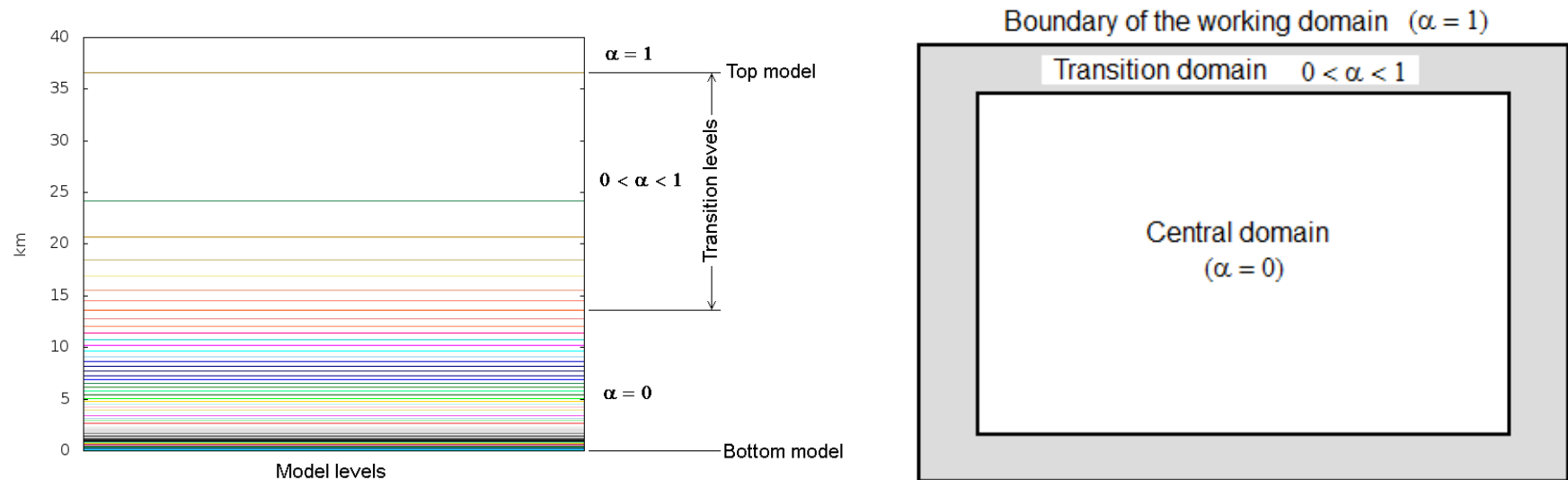
En los niveles más altos hay un efecto “tapadera” que provocando reflexión de las ondas atmosféricas

SETTLS vs Predictor-Corrector

- Stable Extrapolation Two-Time-Level Scheme (SETTLS) : **esquema temporal operativo** que es muy estable y se comporta de una manera suave a las resoluciones operativas de 2.5 y también en el modelo global del ECMWF
 - **Pero problemas de estabilidad por debajo de 1 km**
- Activar **Predictor-Corrector (PC)** en lugar de SETTLS
 - El **modelo es estable** también para resoluciones de **1km** y **0.5 km**
 - 1 km $\Delta t \leq 45$ s
 - 0.5 km $\Delta t \leq 20$ s
 - PC es **~40 % más caro** pero permite paso de tiempos mayores

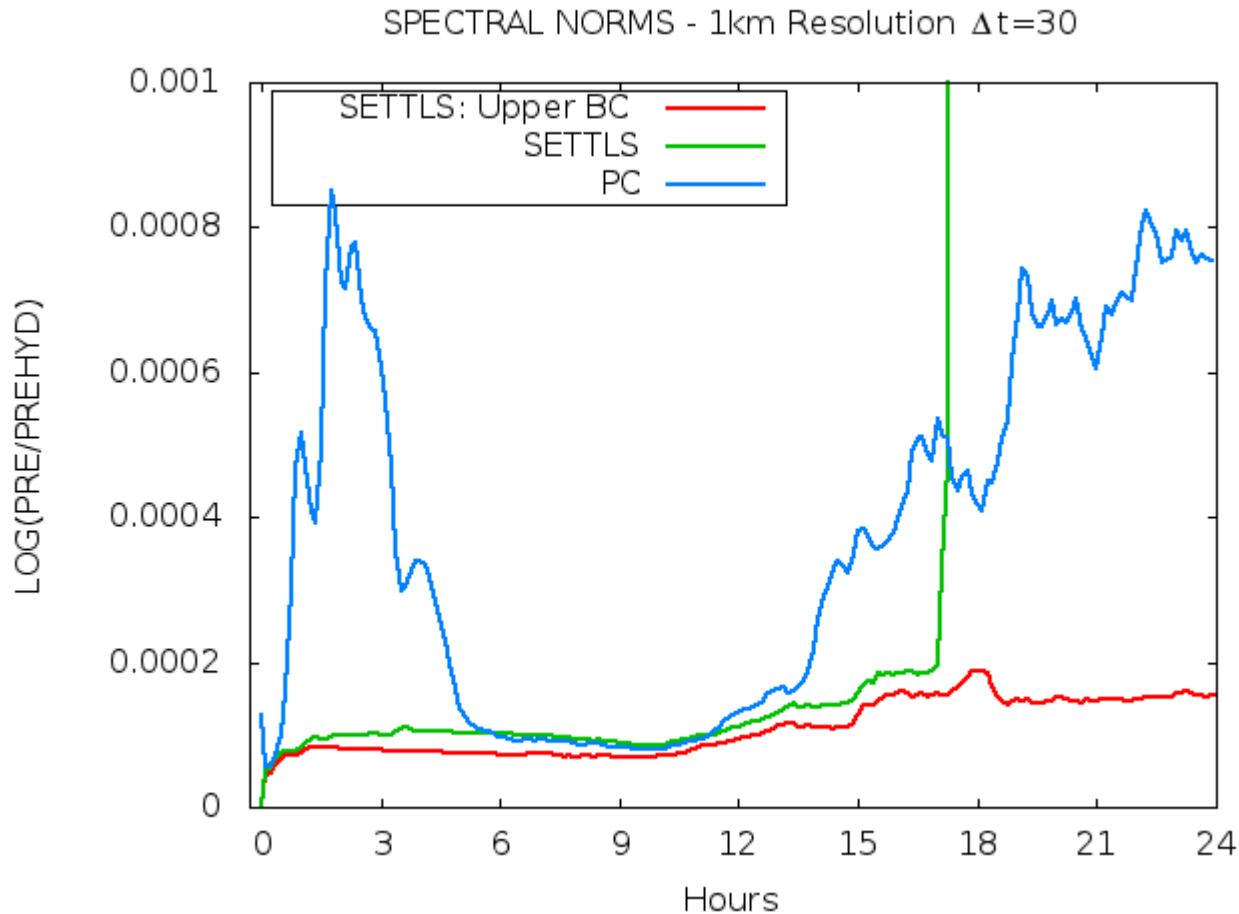
Condición de Contorno en la frontera Superior (CCS)

- Puede conseguir solucionar los problemas de estabilidad SETTLS en muy alta resolución incluyendo una **relajación en los niveles más altos** del modelo hacia el modelo *Host*, que proporciona las condiciones de contorno.



- Usa la **relajación de Davies** en los niveles superiores de forma análoga a como se hace en las condiciones de contorno lateral

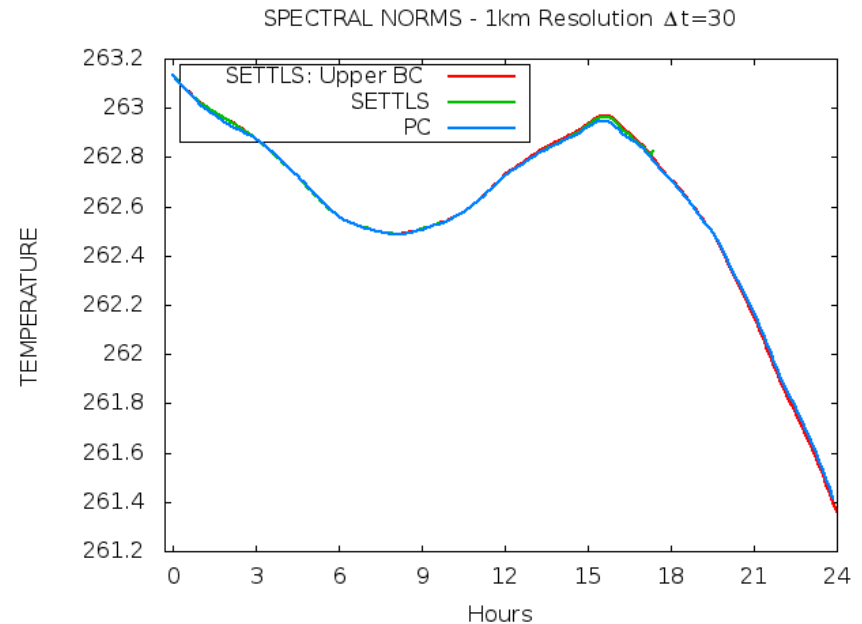
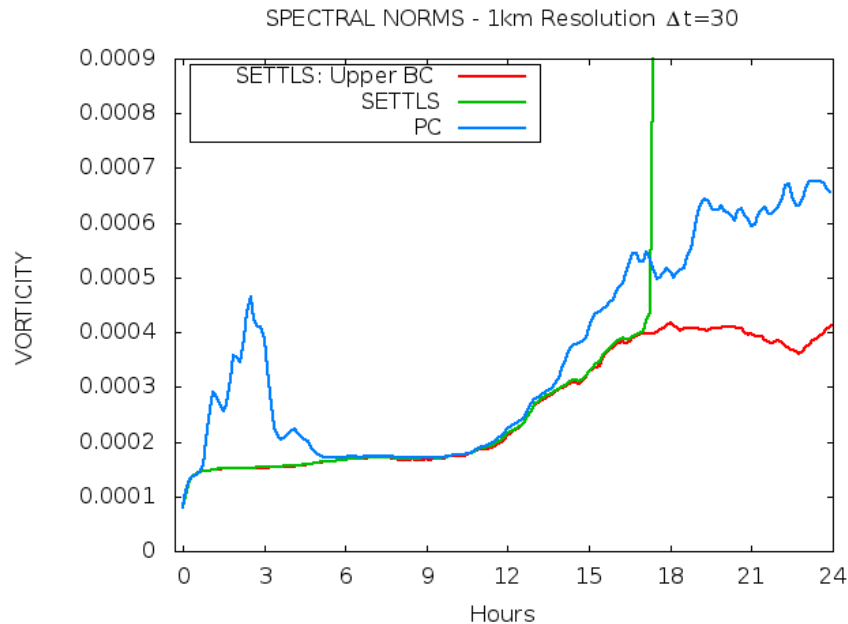
Sensibilidad al esquema temporal



Log (PRE/PREHYD): el empuje no hidrostático nos indica el ruido del modelo

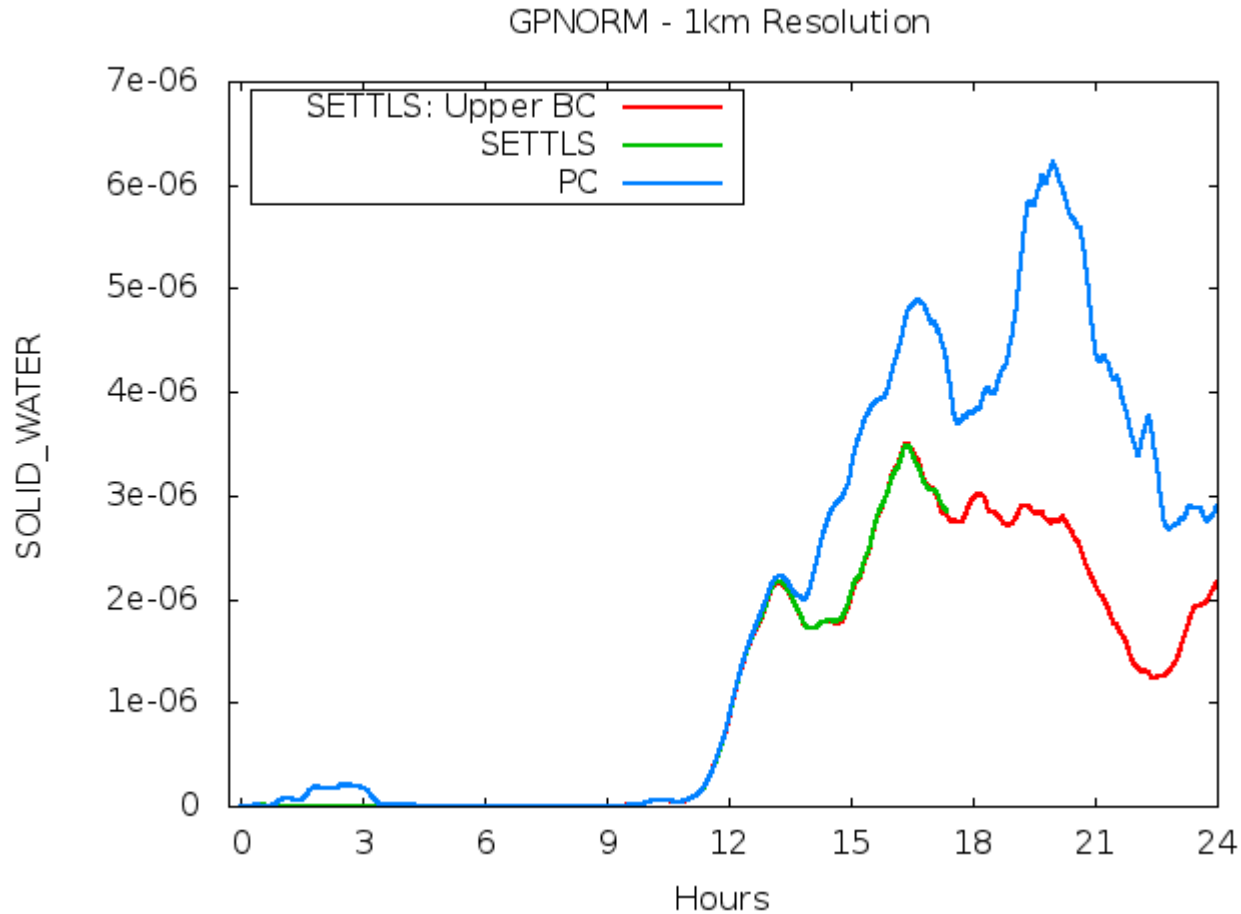
- SETTLS explota ~17.5 h de predicción
- PC se muestra más estable y no llega a explotar, aunque tiene *Spin up*
- SETTLS+CCS: se mantiene estable durante toda la integración

Sensibilidad al esquema temporal



- La inclusión de las CCS a los experimentos con SETTLS **prácticamente no ha afectado a los campos meteorológicos** derivados de los espectrales
- Con PC sí se aprecia diferencias en la Vor, Div, $\log(\text{PRE}/\text{PREHYD})$, pero en otras variables como T, $\log(\text{PREHYD})$, KE no hay casi diferencias

Sensibilidad al esquema temporal

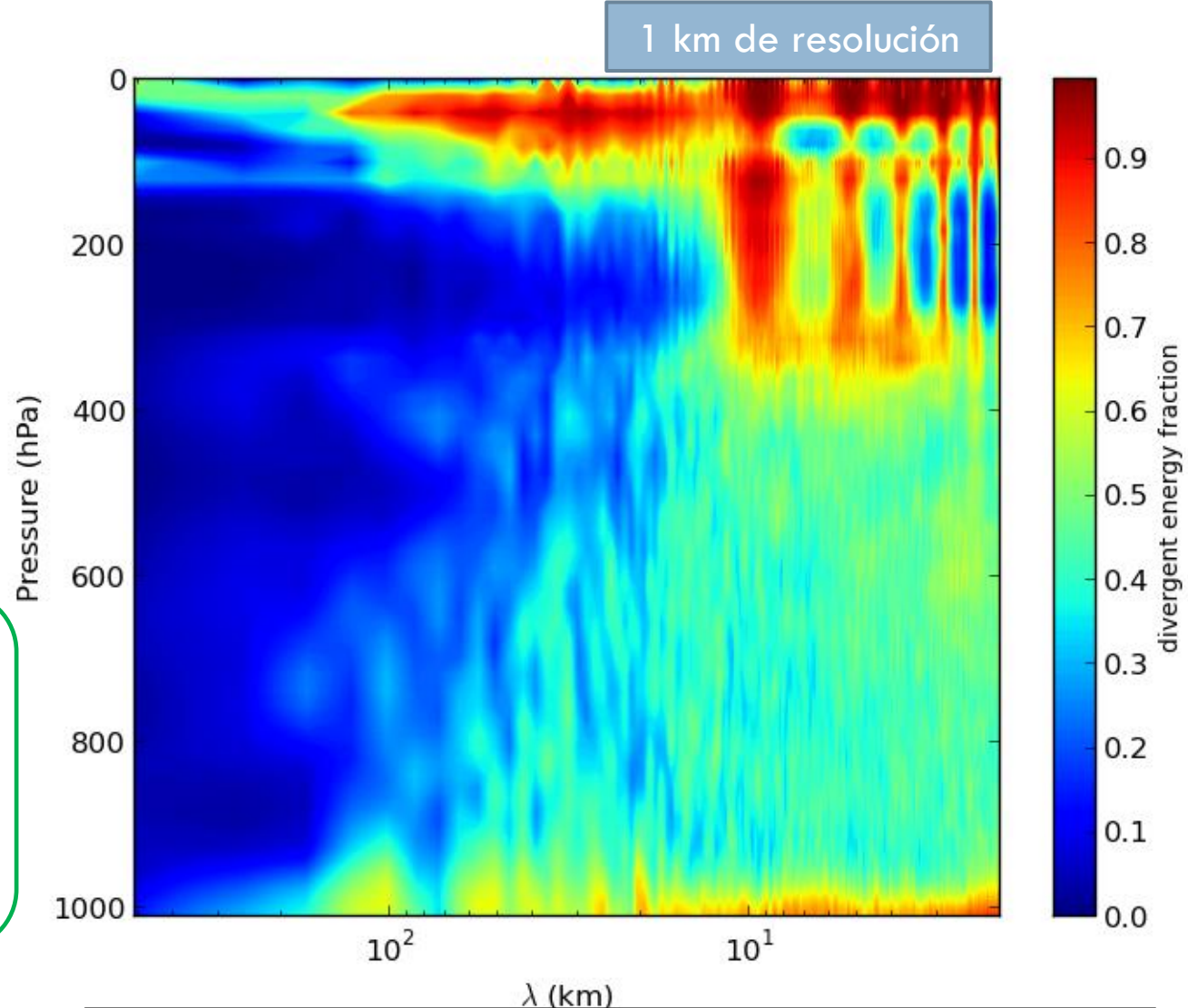


Los campos meteorológicos de la física (calculados en los puntos de malla) son **sensibles a SETTLS/PC** (agua sólida, precipitación, nieve, granizo)

Contribución de la Divergencia

KE se puede obtener como suma energía de Div y Vor a través de los coeficientes espectrales

Skamarock, 2004;
Blazica et al., 2013
Gran escala: domina por Vor
Pequeña escala: dominada por Div



Distribución de la energía de divergencia respecto a la altura y escala horizontal

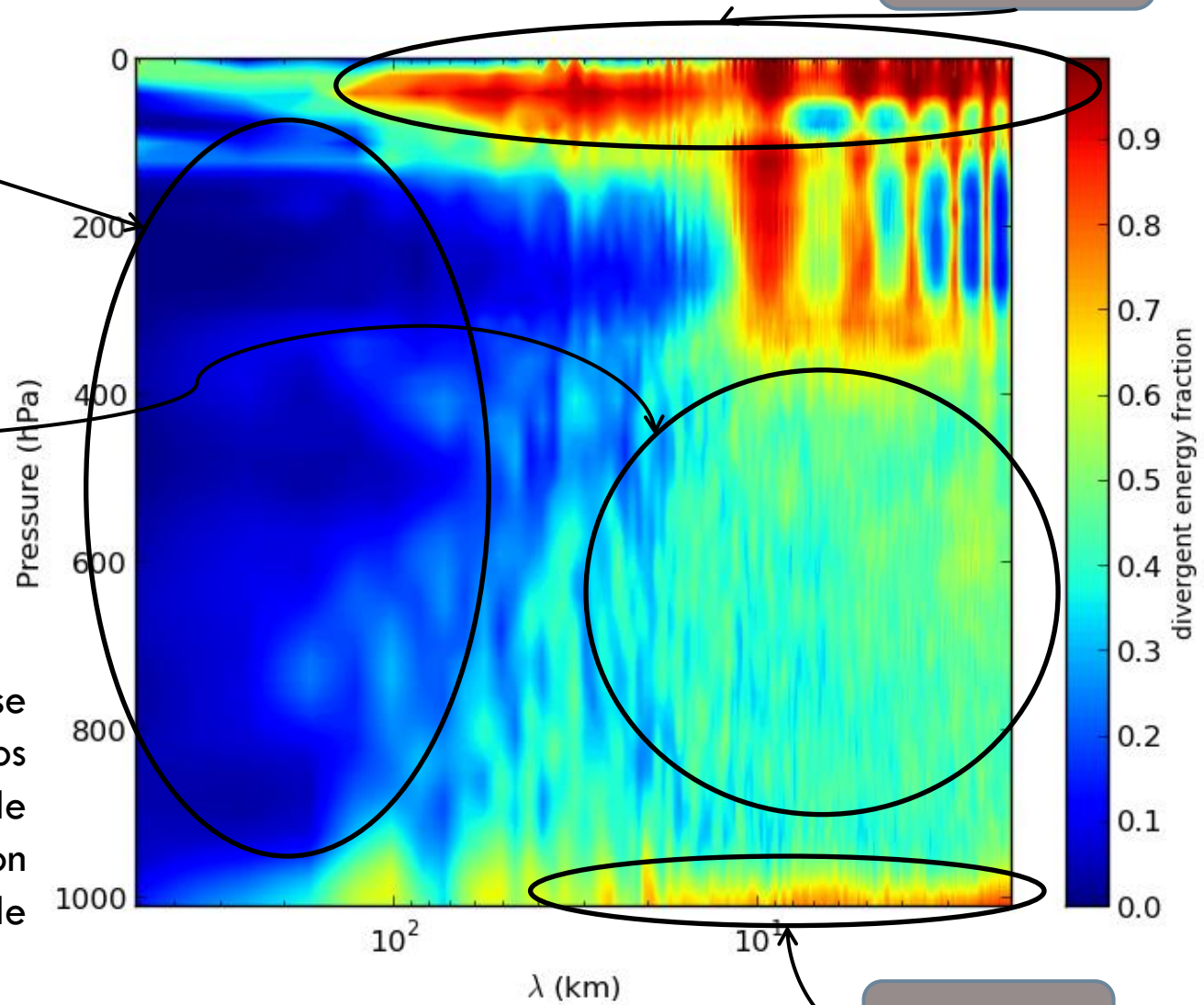
Contribución de la Divergencia

Estratosfera:
Div

Gran escala:
Vor

Troposfera
libre: ~50%

Con 1 km de resolución se mantienen prácticamente los mismos resultados de Blazica et al 2013, con ALADIN de 4.4 km de resolución



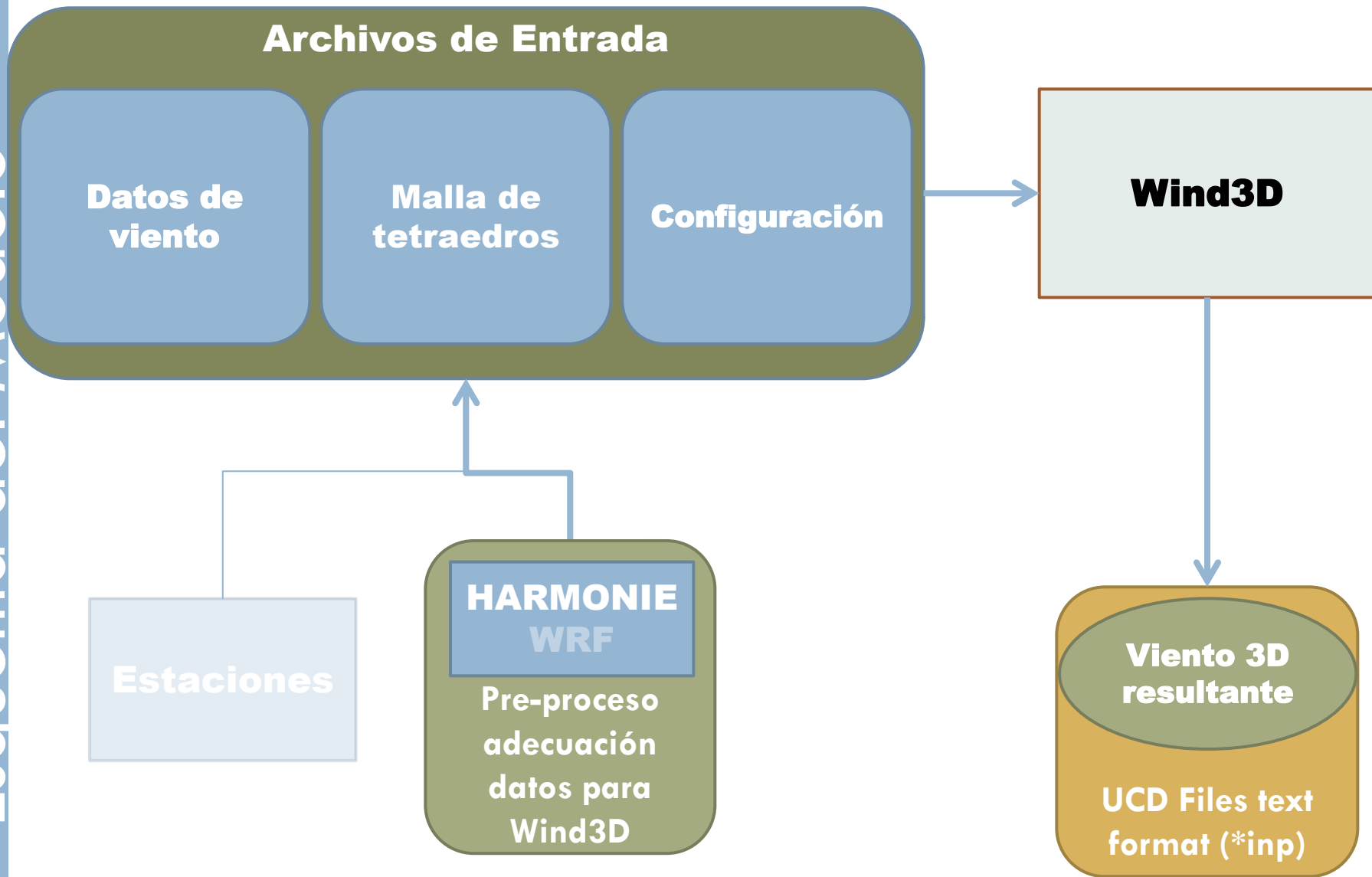
CLP: Div

Wind3D

- Aemet participa en el proyecto PRENUMEN, coordinado por La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
- Nuestra tarea es evaluar el modelo Wind3D. <http://www.dca.iusiani.ulpgc.es/Wind3D>
- Wind3D es un **software que simula campos de viento 3D sobre terreno irregular con un modelo adaptativo de masa consistente**. (It available for free)
- Modelo Adaptativo de Elementos Finitos para viento (si integración), con bajo coste computacional
- Construcción de una malla de tetraedros
 - Malla adaptada al terreno
- Modelización del campo de vientos
 - Interpolación vertical y horizontalmente desde datos (observación/predicción)
 - Cálculo de masas consistente

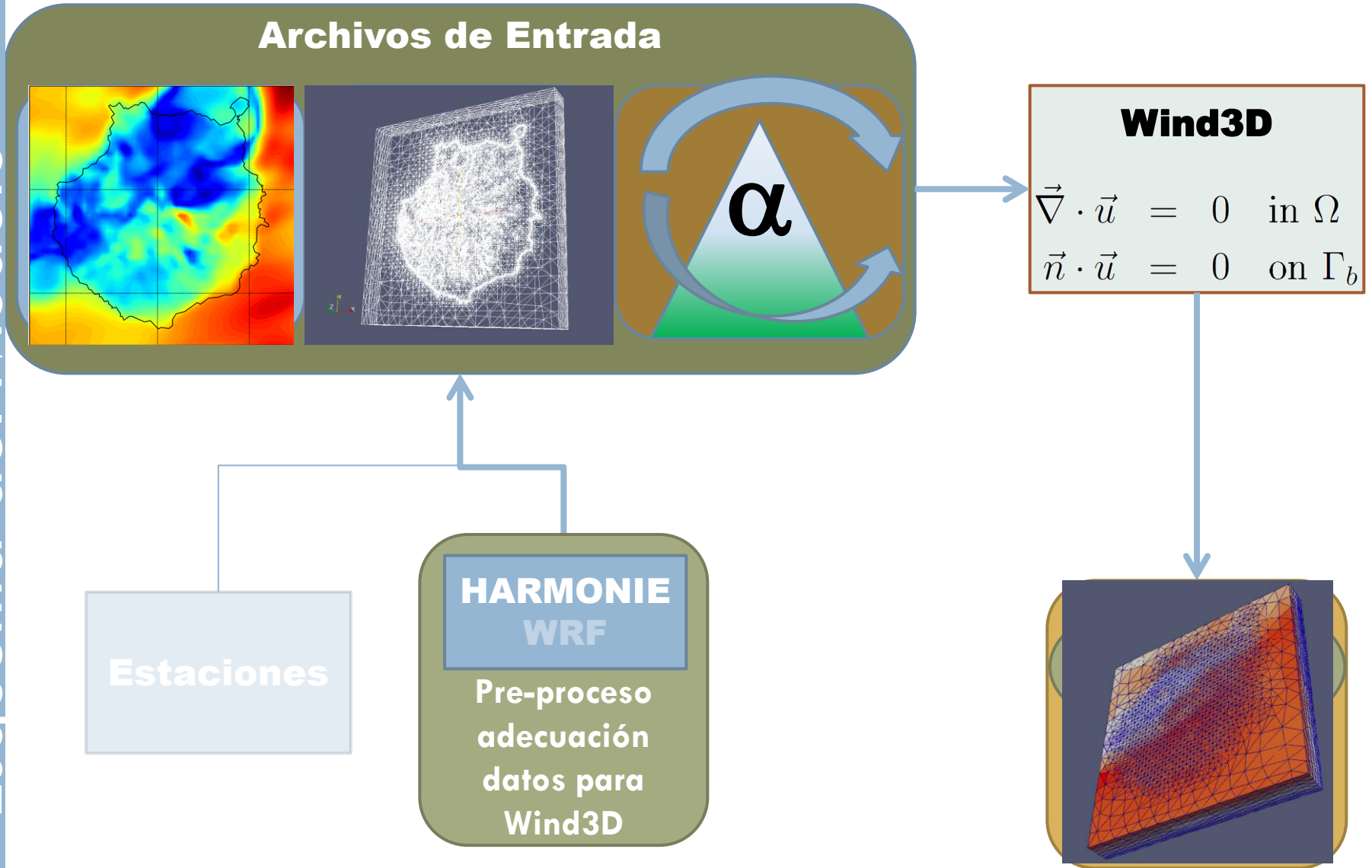
Wind3D

Esquema del Modelo



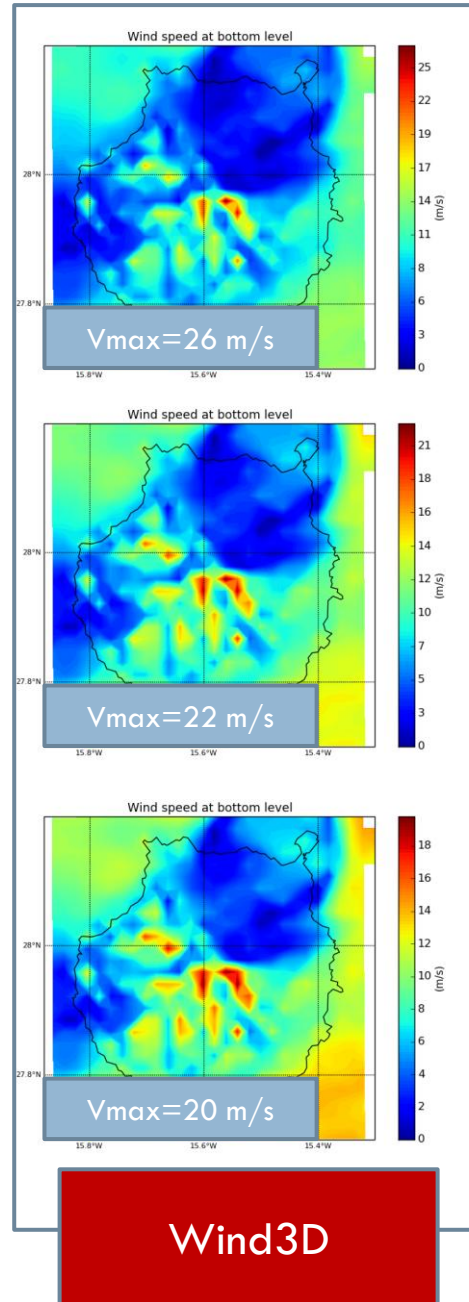
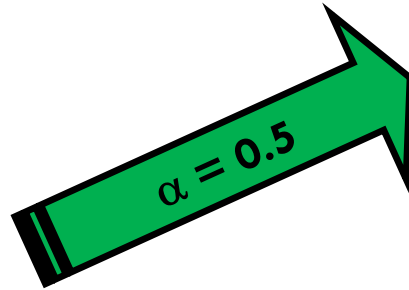
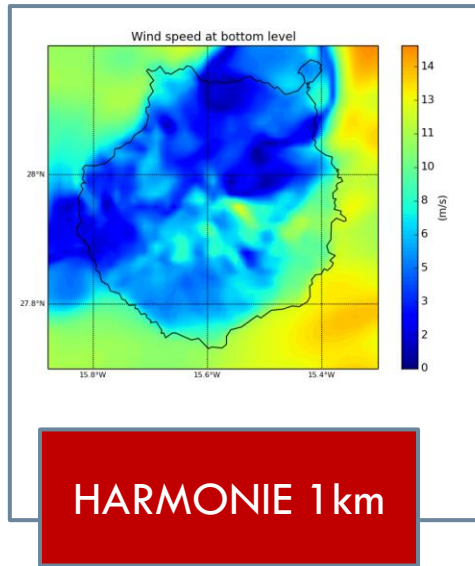
Wind3D

Esquema del Modelo



Wind3D

Sensibilidad al parámetro α



¿ α ?

Conclusiones

Topografía de alta resolución

- Necesidad de actualizar la base de datos de referencia GTOPO30 (1km) para simulaciones a muy alta resolución
- Dos opciones:
 - IGN 200 o 25 m pero cobertura nacional
 - ASTER 30 m con cobertura global
- Resultados parecidos con ambas bases de datos
- Mejora en las predicciones de viento al aumentar la resolución.

Estabilizar las simulaciones de muy alta resolución

- Problemas estabilidad en niveles altos para resoluciones por debajo de 1km
- **Sensibilidad a la difusión horizontal**
 - No estabiliza suficientemente
- **Esquema temporal.**
 - Reemplazar el esquema SETTLS por PC estabiliza el modelo, pero mayor *Spinup* y modifica algunos campo meteorológico
- **Condición de contorno en la frontera superior**
 - La incorporación de las CCS estabiliza el modelo incluso con el esquema temporal de referencia SETTLS y apenas modifica los campos meteorológicos

Trabajo futuro

- Uso de datos fisiográficos de alta resolución (no sólo topográficos)
ECOCLIMAP-II, (Corine land cover, Europe 250m)
- Evaluar la sensibilidad al esquema temporal SETTLS/PC y la incorporación de las CCS
- Verificar periodos de tiempos largos
- Posibilidad de usar la predicción en alta resolución para predicción de viento local
- Evaluar sistemática el modelo Wind3D y compararlo con las predicciones de HARMONIE.

Gracias por su atención