



MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet

Agencia Estatal de Meteorología

HARMONIE-AROME, modelo operativo de escala convectiva de AEMET.

*Área de Modelización.
Agencia Estatal de Meteorología*

- Introducción al modelo HARMONIE-AROME.
- Descripción general del modelo.
- Integración operativa en AEMET.
- Verificación objetiva
- Productos
- Conclusiones.

Introducción: Modelo AROME (origen)

Laboratoire d'Aérodynamique
CNRM-GAME

Parametrizaciones. físicas



Dinámica No-Hidrostática



Modelo AROME



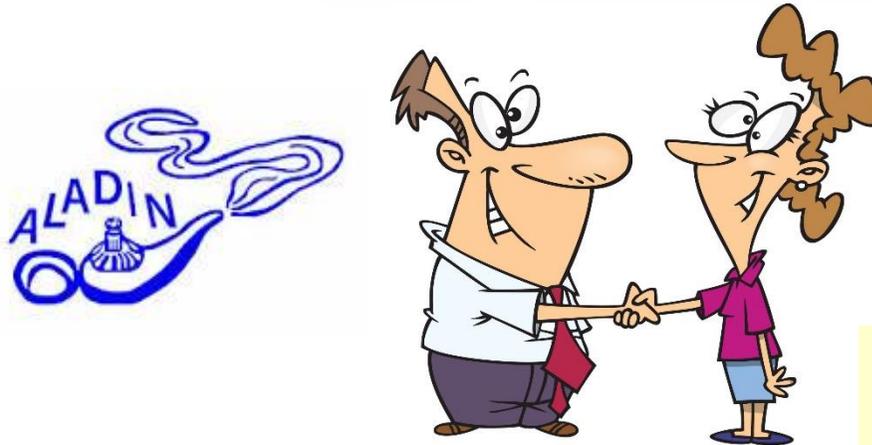
Seity et al., 2011

Originalmente desarrollado por *Météo-France* adaptando la física del modelo de investigación *Meso-NH* al sistema *ALADIN*.

Gran parte del código es compartido con los modelos *ECMWF* y *ARPEGE*.

Introducción: HARMONIE-AROME

En 1996 los consorcios HIRLAM y ALADIN establecen un acuerdo de colaboración para el desarrollo de modelos operativos con la idea de converger completamente en 2020



HARMONIE-AROME es una configuración dentro del sistema compartido ALADIN-HIRLAM (Bengtsson et al, 2017)



Unos 26 servicios meteorológicos

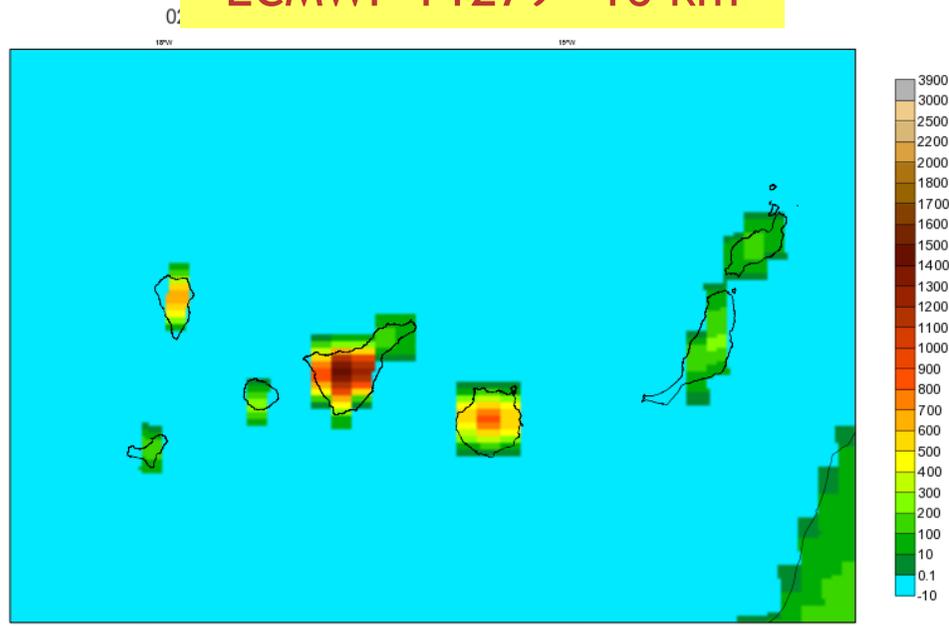
Introducción: Características destacadas.

- Se trata de un modelo **No-Hidrostático**.
- Asimilación de datos que incluye muchos tipos de observaciones.
- **Dinámica espectral** muy eficiente adecuada para usos operativos.
- **Convección profunda resuelta**... pero a escalas convectivas hay menos predecibilidad que a escalas sinópticas por lo que se requieren aproximaciones de tipo ensemble.

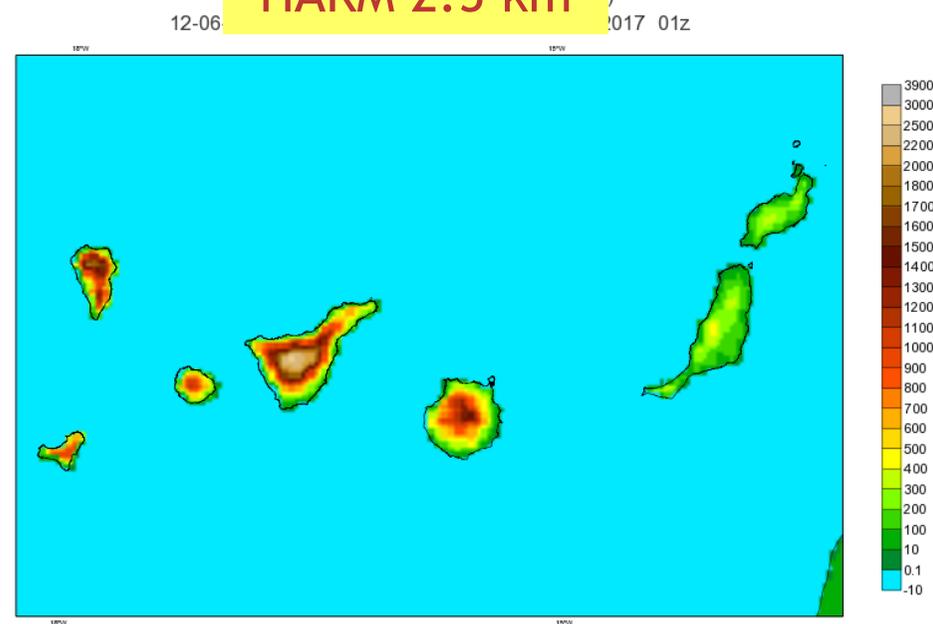
Introducción: *No-Hidrostático, Convection permitting*

- Pertenece a una nueva generación de modelos No-Hidrostáticos en los que la **convección profunda 'está resuelta'** por el modelo.
- Es necesario utilizar resoluciones horizontales de unos pocos kilómetros. (**2.5 Km**)

ECMWF T1279 ~16 km



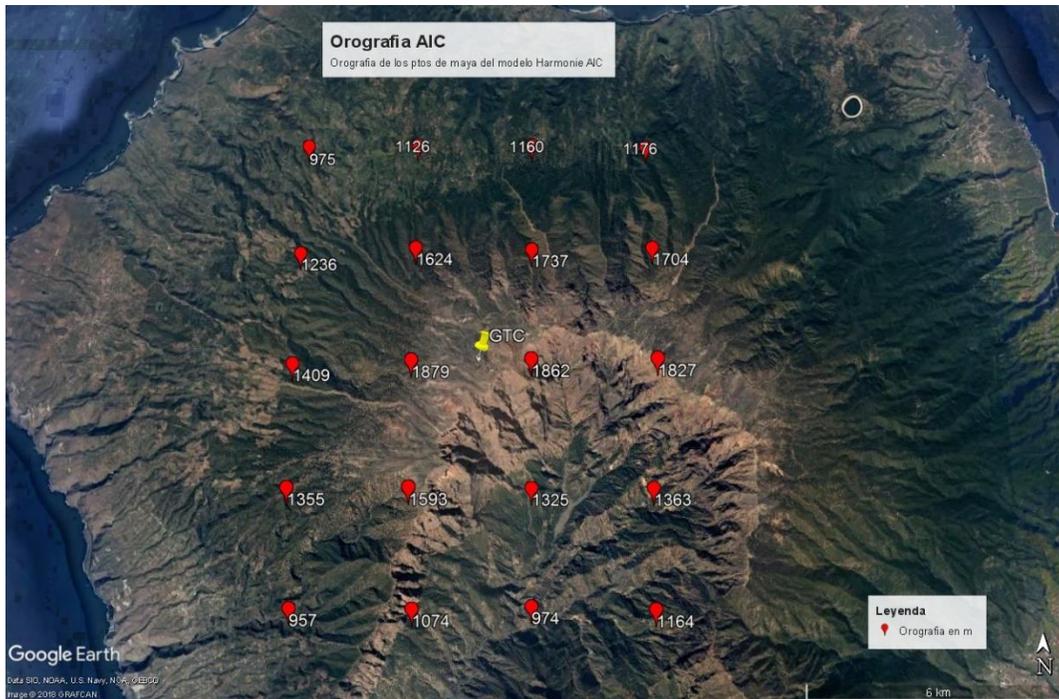
HARM 2.5 km



Orografía que 'ven' los modelos del Centro Europeo (ECMWF) y HARMONIE-AROME

Introducción: Orografía

- Más concretamente. La orografía sobre el Roque de los muchachos es:

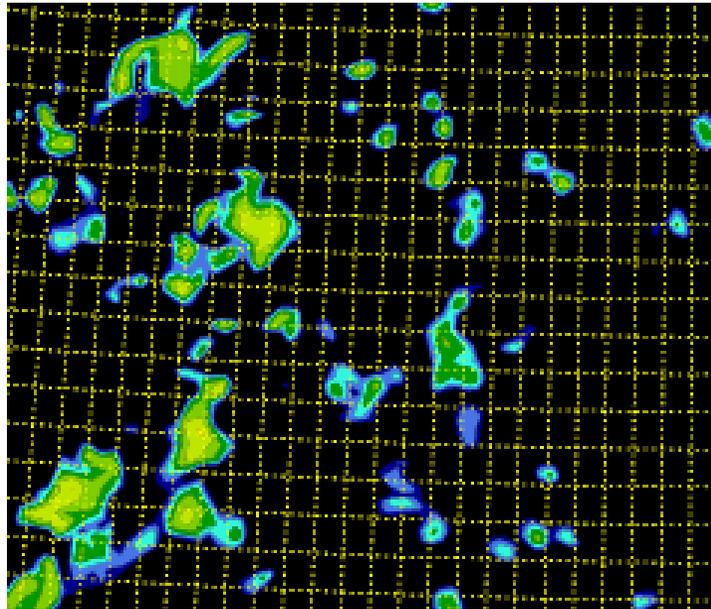


Lat	Long	Orog (m)
28.687	-17.932	592
28.687	-17.906	710
28.687	-17.880	946
28.687	-17.855	1219
28.710	-17.932	957
28.710	-17.906	1074
28.710	-17.881	974
28.710	-17.855	1164
28.732	-17.932	1355
28.732	-17.906	1593
28.732	-17.881	1325
28.732	-17.855	1363
28.755	-17.932	1409
28.755	-17.906	1879
28.755	-17.881	1862
28.755	-17.855	1827
28.777	-17.932	1236
28.777	-17.906	1624
28.777	-17.881	1737
28.777	-17.855	1704
28.800	-17.932	975
28.800	-17.907	1126
28.800	-17.881	1160
28.800	-17.855	1176

- La orografía del modelo es siempre más suave que la real.

Introducción: Resolución efectiva (procesos resueltos)

- Las escala de los procesos que realmente resuelve un modelo puede ser 6 veces mayor que su resolución nominal
- HARMONIE- AROME ~ 15 km



Convección superponiendo una malla de 15 km de resolución que podría considerarse la resolución efectiva del modelo

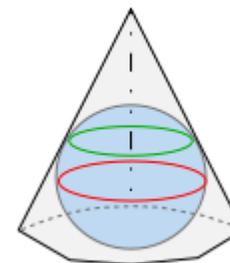
Introducción: Variables del modelo

Variables del modelo:

- Temperatura
- Viento horizontal (componentes u y v)
- Humedad específica
- Agua de nube (condensada)
- Cristales de hielo
- Lluvia
- Nieve
- *Graupel*
- Energía cinética turbulenta (TKE)
- Terminos especiales no hidrostáticos: *pressure departure and vertical divergence*
- Presión superficial.

Características: Dinámica

- Dinámica IFS/ALADIN
 - Espectral
 - Nucleo **No-Hidrostático** de ALADIN (Bubnova, 1995 y Benard, 2010)
 - Utiliza una discretización semi-implícita semi lagrangiana (*Two-time level semi-implicit semi-lagrangian discretisation*) basadas en el esquema SETTLS (Hortal, 2002) que permite pasos de tiempo largos (75 s para una resolución de 2.5 km)
 - **Coordenada híbrida** en la vertical
 - Generalmente se utiliza una **proyección Lambert**.



Características: Parametrizaciones físicas

- Su origen está en la física del modelo de investigación MESO-NH adaptada a la dinámica No-Hidrostática de ALADIN.
- Parametrizaciones:
 - Radiación
 - Nubosidad y precipitación.
 - Turbulencia y convección somera.
 - Procesos superficiales.

- Radiación:

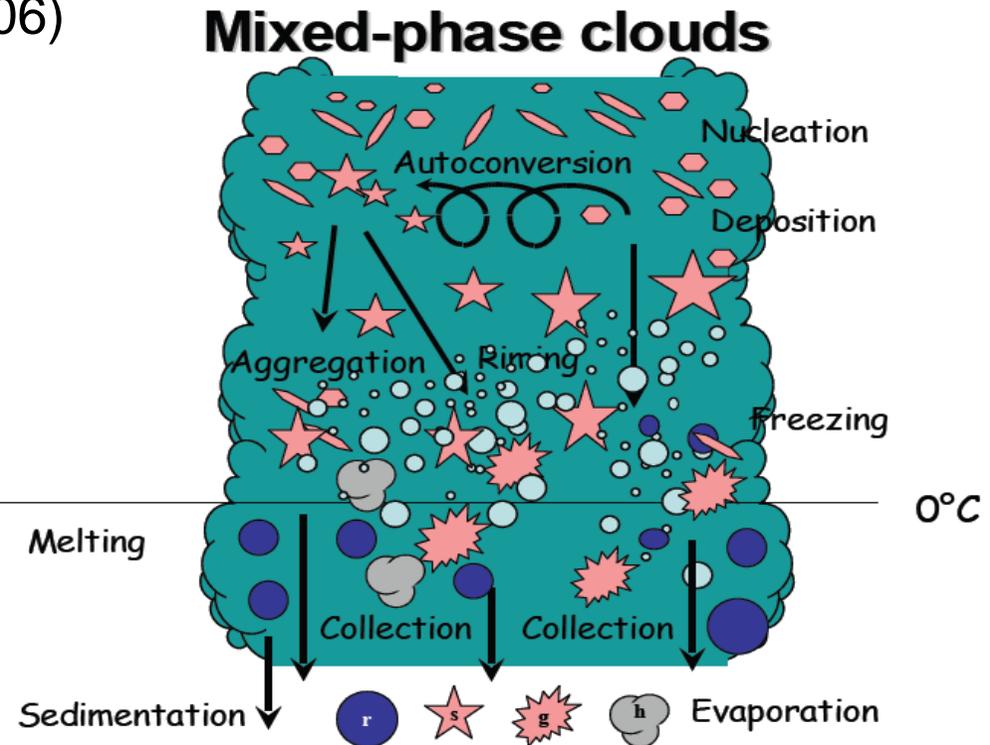
- Utiliza el mismo esquema de radiación que el modelo IFS.
- Utiliza 6 bandas espectrales para la radiación de onda corta (SW)
- 16 bandas espectrales para la radiación de onda larga (LW)
- El radio efectivo entre partículas líquidas/hielo está parametrizado (*Effective radius of liquid/ice particle*)
- La concentración de núcleos de condensación viene dada por la climatología, al igual que la distribución de ozono y aerosoles.
- Consume muchos recursos computacionales por los que las tendencias radiativas solo se actualizan cada 15 pasos de tiempo.

Características: Parametrizaciones físicas. Nubosidad y precipitación

Esquema de Microfísica ICE3: Microfísica sofisticada (Pinty, 98 y Lascaux, 2006)
(*One moment bulk-scheme*)

Variables de pronóstico:

- Agua líquida nube
- Cristales/Hielo
- Lluvia
- Nieve
- *Graupel* (Nieve granulada) 0°C



Pinty et al, 2005

Las nuevas variables de predicción van a permitir **nuevos postprocesos** como

- Estimación de descargas eléctricas
- Simulación de imágenes rádar

Características: Parametrizaciones físicas. Nubosidad y precipitación

Se hacen ciertas suposiciones sobre el tamaño de las partículas:

- La relación entre el agua de nube y el hielo responde a una función gamma generalizada.
- El tamaño de las gotas de lluvia sigue una ley exponencial (Marshall-Palmer)
- Mientras que la velocidad terminal depende del tamaño de los meteoros via una potencia.

Por otra parte los hidrometeoros son advectados mediante el esquema semi-lagrangiano.

Características: Parametrizaciones físicas. Turbulencia y convección somera

- Se utiliza un esquema de Energía Cinética Turbulenta (TKE) (Cuxart, 2000) y la convección 'seca' se trata de forma unificada con el esquema de flujo de masa.

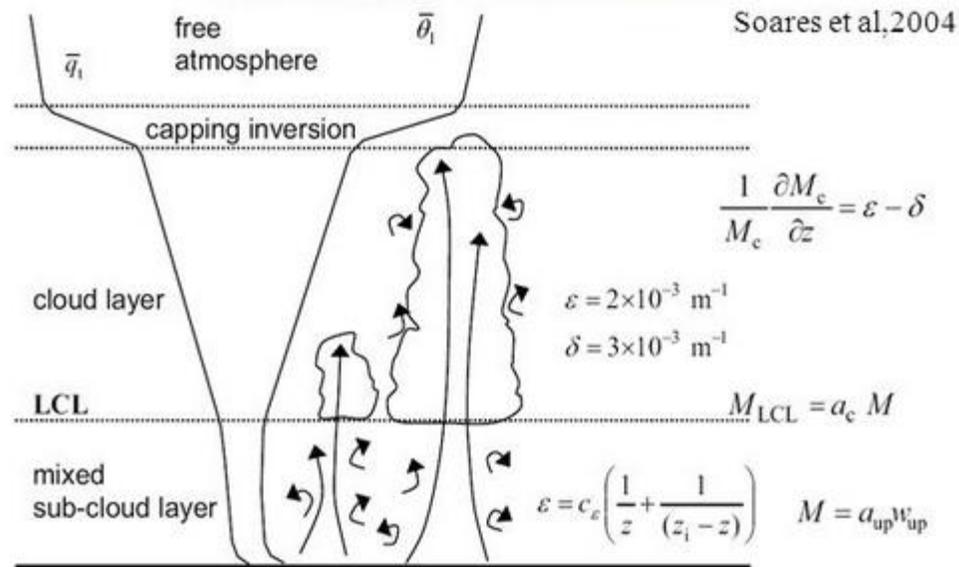


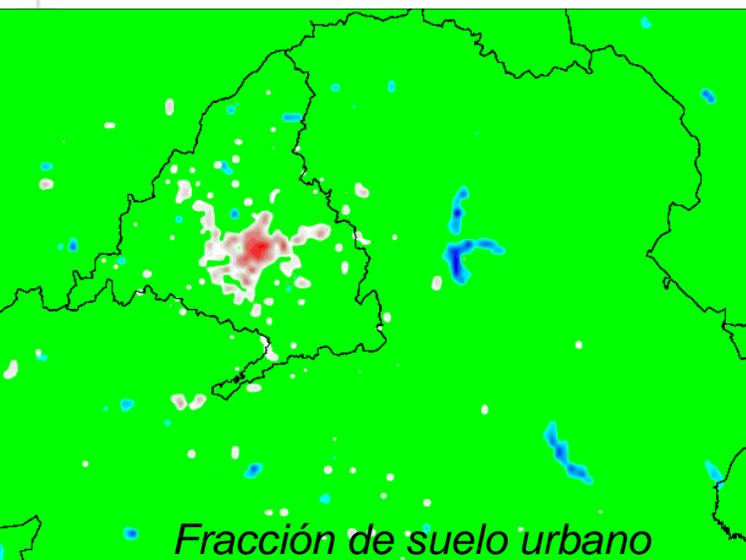
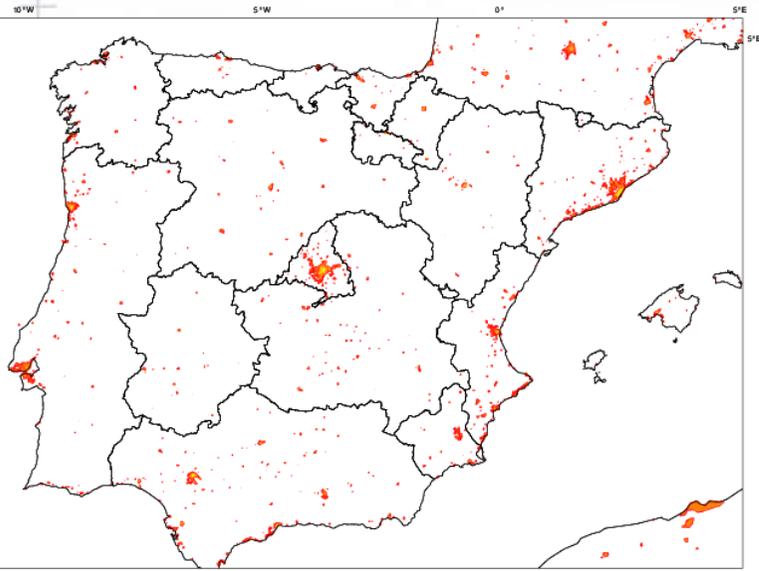
Figure 1. Schematic view of a shallow cumulus convective boundary layer and mass-flux formulation of the EDMF scheme.

Convección profunda: No se parametriza de forma que estas nubes son representadas por la dinámica y la microfísica del modelo. GRAN DIFERENCIA RESPECTO A LOS MODELOS SINÓPTICOS QUE PARAMETRIZAN LA CONVECCIÓN PROFUNDA

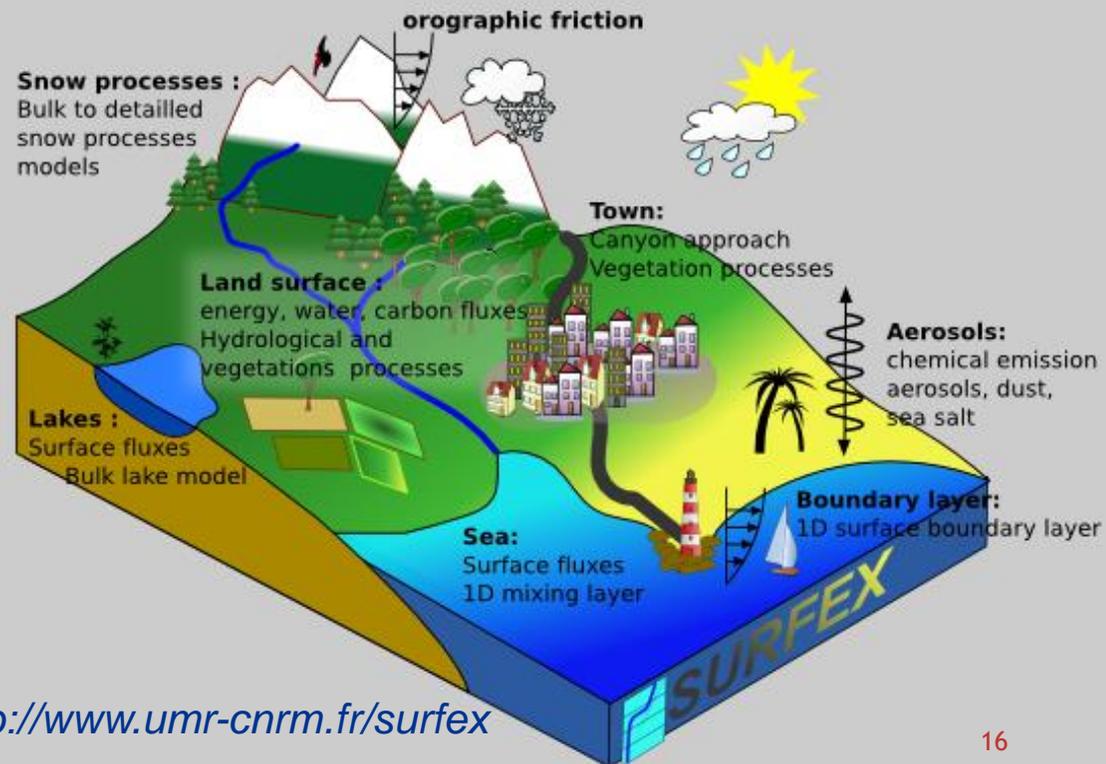
Características: Procesos Superficiales: SURFEX

- Considera 4 teselas: suelos 'naturales', urbanos, lagos y océanos

- » 12 tipos de vegetación.
- » Incluye un modelo de suelo urbano (TEB)
- » También un modelo para la evolución del manto nivoso



Fracción de suelo urbano



¿Por qué es importante la asimilación de datos en los modelos numéricos?

- Según Bjerknes (1911) se deben cumplir dos condiciones para tener éxito en la predicciones.
 - Que el estado inicial de la atmósfera sea lo mas exacto posible.
 - El desarrollo de las leyes intrínsecas que rigen la atmósfera
- **La predicción numérica también es un problema de condiciones iniciales.**

¿Qué técnica se utiliza en la actualidad?

Asimilación Variacional

- Esta técnica se basa en la teoría de Bayes y en el principio de máxima verosimilitud.

$$p(x|y_0) = \frac{p(y_0|x)p_B(x)}{p(y_0)}$$

$$p_B(x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}|B|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(x_B-x)^T B^{-1}(x_B-x)]}$$

$$p(y_0|x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}|R|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(y_0-H(x))^T R^{-1}(y_0-H(x))]}$$

- La mejor estimación es aquella que maximice la probabilidad $p(x_A)$.

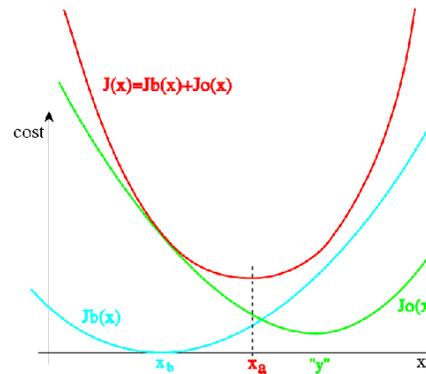
$$p(x_A) = C * e^{-\frac{1}{2}[(y_0-H(x))^T R^{-1}(y_0-H(x)) + (x_B-x)^T B^{-1}(x_B-x)]}$$

*Función coste de las
observaciones J_o*

*Función coste del
background J_B*

- Minimizando la función de coste obtenemos el valor de las variables analizadas:

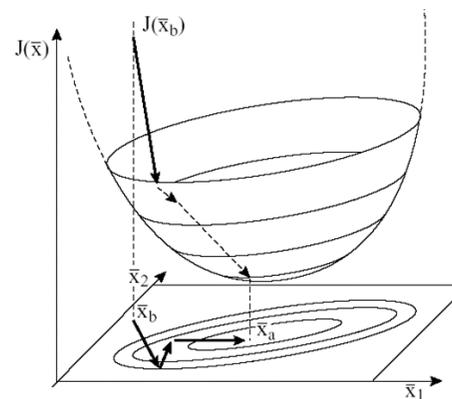
$$\nabla_x J(x_A) = 0$$



ECMWF Data
Assimilation Lecture
Notes

F.Boutier & P.Courtier

- Se resuelven por un método iterativo



ECMWF Data
Assimilation Lecture
Notes.

Elías Hólm

- ¿Cuáles son las principales características de la asimilación variacional?
 - Es multivariante.
 - Es decir, se realiza para diferentes variables y con tipos de observación diferentes en un mismo proceso.
 - Las variables analizadas son: viento, temperatura, humedad específica y presión en superficie.
 - Necesitamos un campo previo (suele ser la predicción a tres horas de la pasada anterior de nuestro modelo), para tener información de las áreas que no están bien cubiertas con las observaciones.
 - Ej: Zonas de tierra con poca población y zonas de océano.
 - Afortunadamente las observaciones de satélite han ayudado a cubrir muchos huecos.

- ¿Cuáles son las principales características de la asimilación variacional?
 - Errores de observación y de campo previo.
 - Sabemos que tanto las observaciones como el campo previo tienen errores.
 - Las predicciones no son perfectas!!!
 - Los instrumentos de medida pueden tener problemas de calibración.
 - Las observaciones tienen problemas de representación de las escala meteorológica.
 - Realiza un control de calidad de las observaciones.
 - En primer lugar comprueba que la codificación del parte sea correcta. Es decir, que el formato de la observación es el que se recomienda desde la Organización Meteorológica Mundial.
 - Si la diferencia entre el campo previo y la observación es demasiado grande se considera que la observación es errónea y se rechaza.

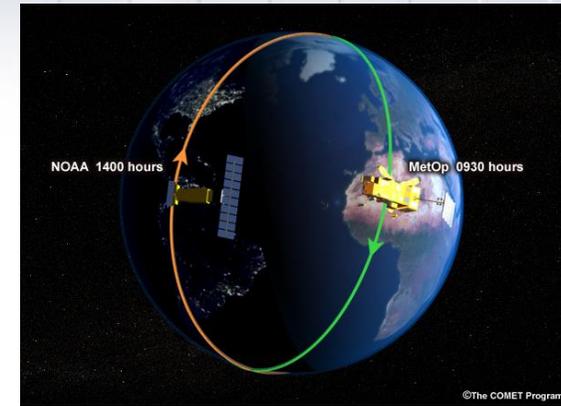
¿Qué técnica se utiliza en la actualidad?

Uso de observaciones.

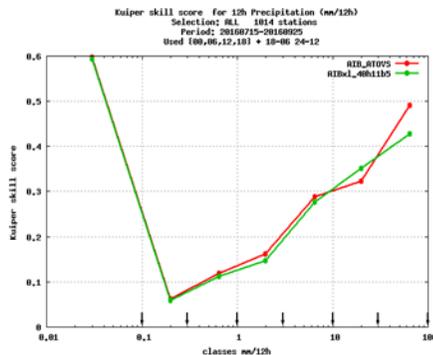
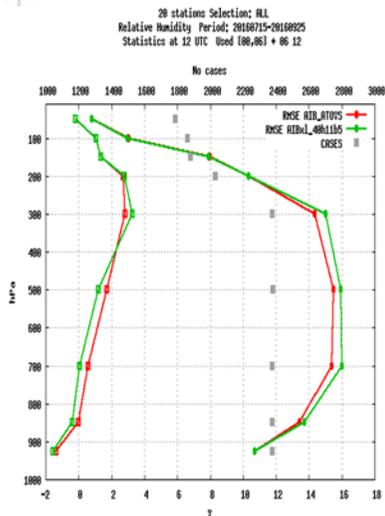
- ¿Qué observaciones se usan en la asimilación de HARMONIE-AROME?
- Operativas:
 - Estaciones synop:
 - Tierra y mar.
 - Boyas.
 - Radiosondeos.
 - Partes AMDAR.
 - GNSS. (ZTD)
 - ATOVS.
 - Instrumentos AMSU-A & AMSU-B MHS.
- En desarrollo:
 - Radar. Reflectividad y vientos radiales.
 - SEVIRI. MSG.
 - IASI.
 - ASCAT.



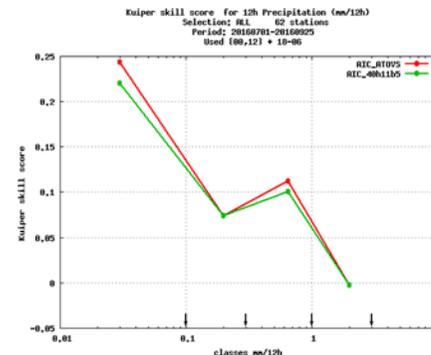
- Los sensores AMSU-A & AMSU-B MHS están a bordo de los satélites polares de la NOAA y en los METOP.
- Tenemos datos en casi todas las pasadas!!
- Las observaciones de AMSU-A nos dan información del perfil de temperatura, mientras que los AMSU-B MHS de la humedad.
- Al asimilar observaciones de ATOVS, vemos que el mayor impacto se produce sobre la humedad.



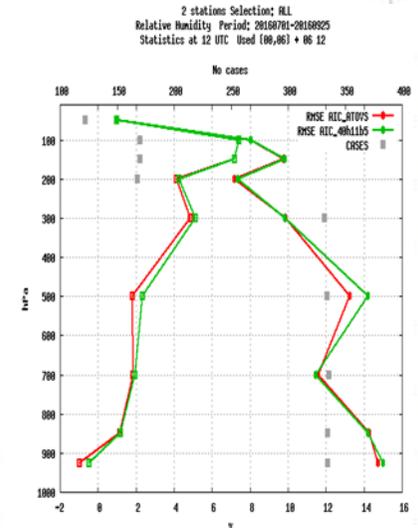
<https://www.eumetsat.int/>



En la Península Iberica.



En las Islas Canarias



¿Qué técnica se utiliza en la actualidad? Impacto de GNSS.

- GNSS(Global Navigation Satellite System), son un sistema satelital inicialmente pensado como sistema de navegación.
- Pero el sistema GNSS también tiene aplicaciones en la meteorología.
- El retraso de la señal de los satélites GNSS esta relacionado con el vapor de agua integrado a lo largo del camino.
- La red de estaciones GNSS en superficie es muy densa en la Península!!!!
 - Es necesario aplicar técnicas de thinning.



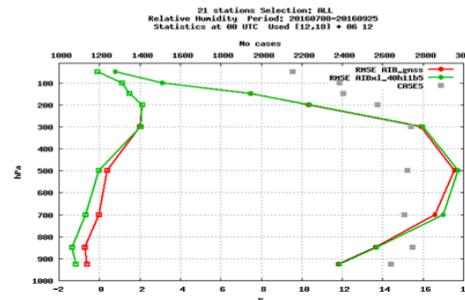
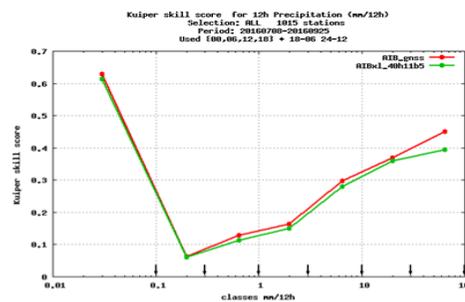
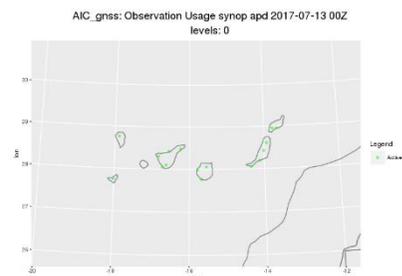
Sistema Galileo.

Actualmente hay 18 satélites en órbita, aunque la constelación completa incluye 24 satélites.

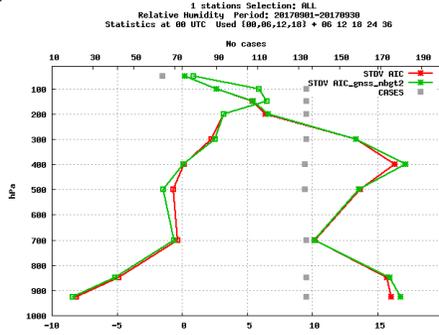
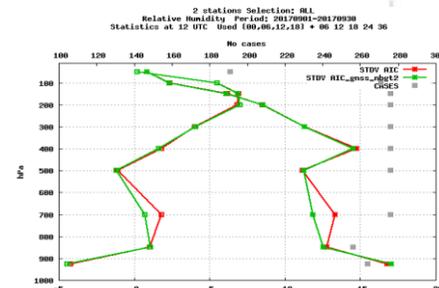
Fuente: <https://www.esa.int/>



Mapa de los receptores GNSS



Impacto en la Península



Impacto en Canarias

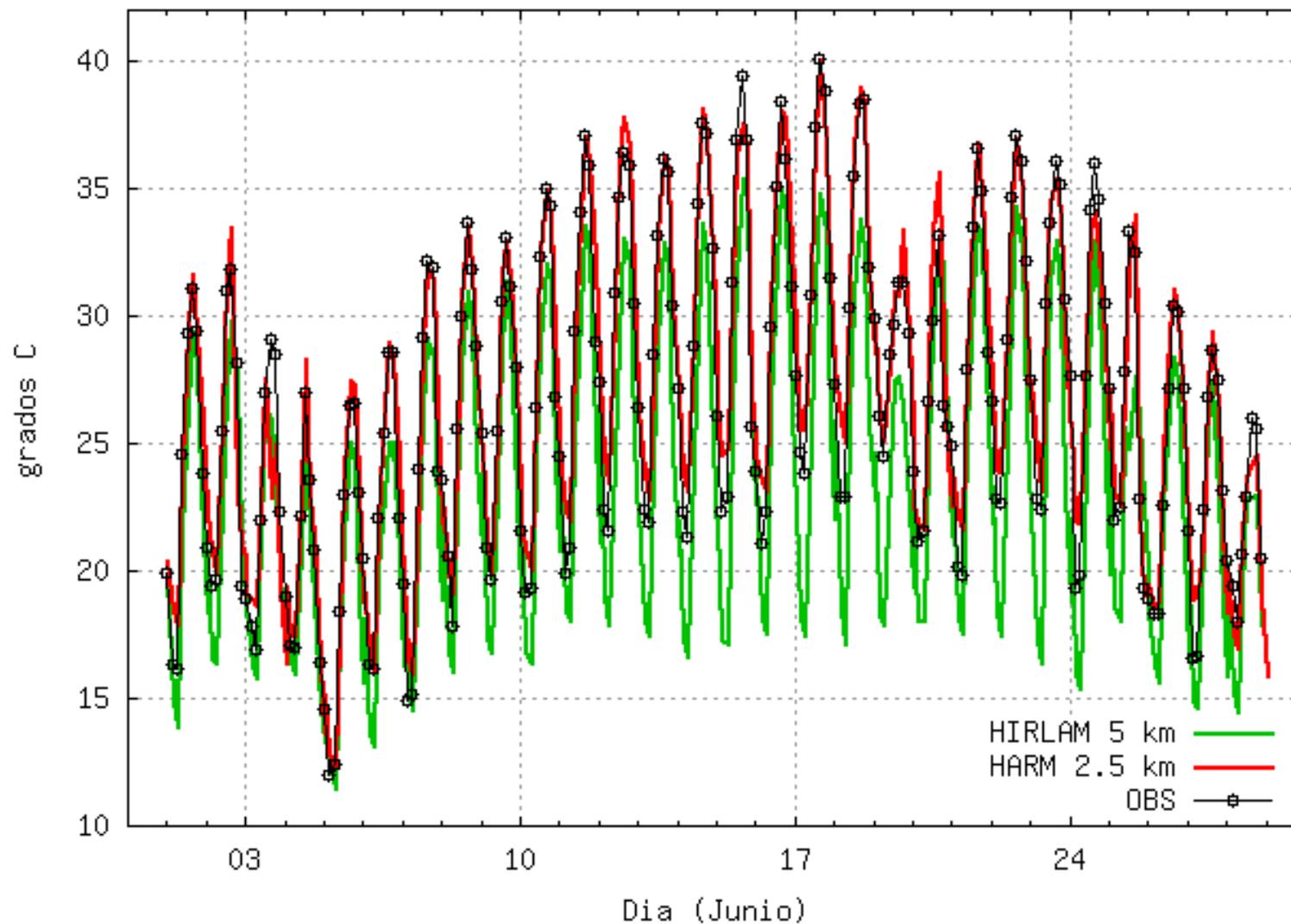
- En solo una hora las observaciones llegan en a los centros de NWP (usando GTS y EuMetCast), en algunos casos se modifica el formato.

En una hora están preparadas para usarlas!!!

- El modelo HARMONIE-AROME se ejecuta cada **tres horas**. Objetivo: Mejorar el campo previo aprovechando mejor las observaciones con alta resolución temporal.
- El tiempo que tarda la asimilación de datos es de aproximadamente 20 minutos mientras que la parte de predicción del modelo tarda aproximadamente una hora.

Verificación: Predicción de las temperaturas de Junio 2017

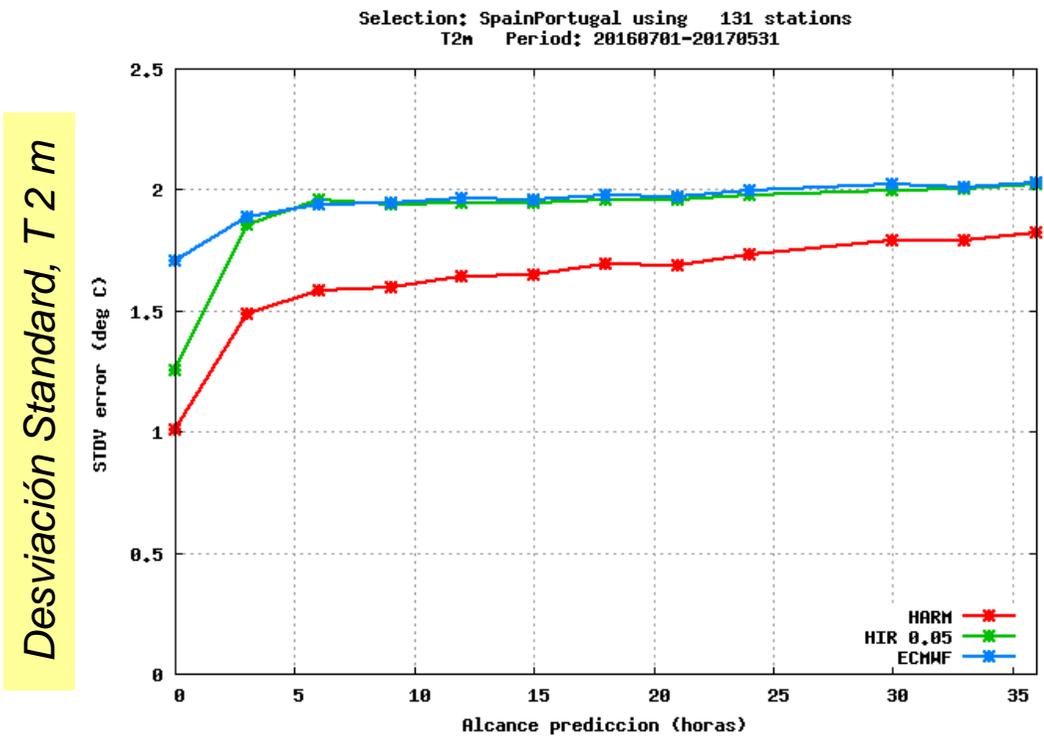
Madrid/Barajas (8221) Evolucion Temperatura 2 m



Verificación: Temperatura a 2 m: Disminución significativa de los errores

Verificación objetiva comparando con los datos observados

Julio 2016-Mayo 2017 (11 meses)



Desviación Standard, T 2 m

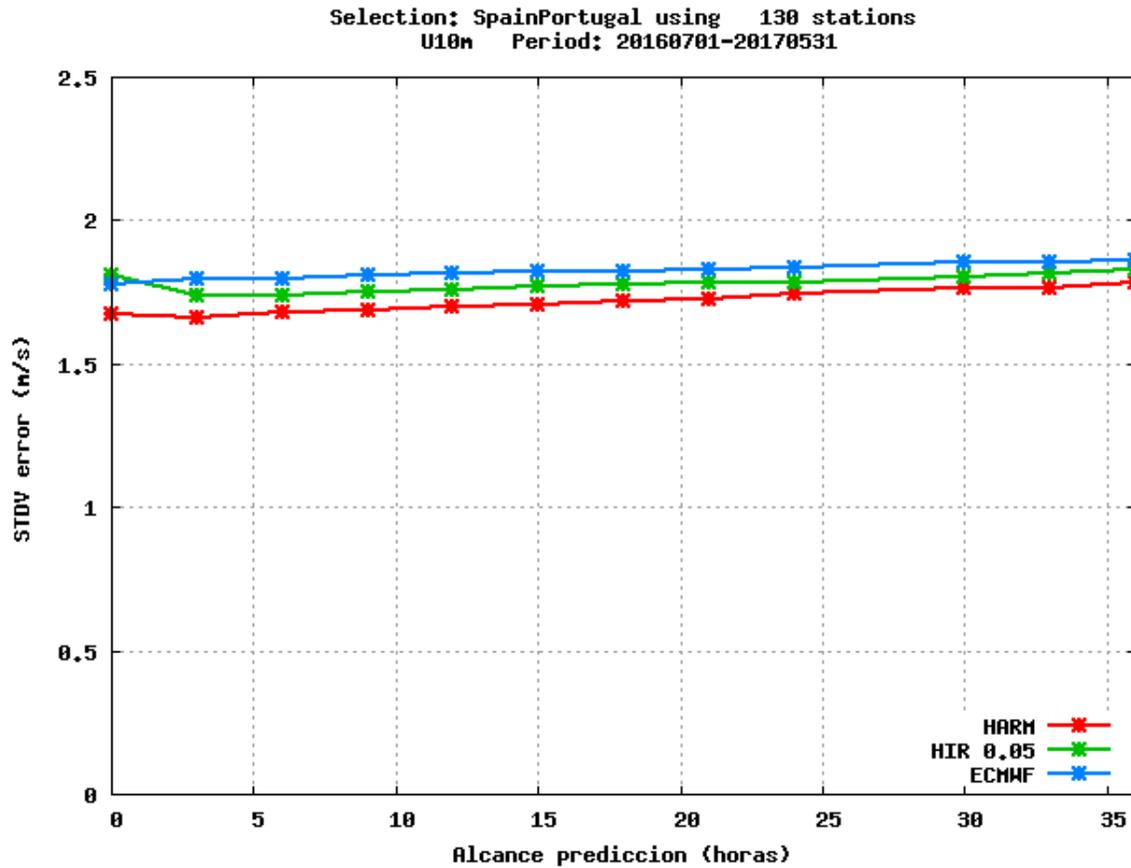
HARM-AROME, HIRLAM 0.05, ECMWF

Verificación: Viento 10 m: Disminución de los errores

Verificación objetiva comparando con los datos observados

Julio 2016-Mayo 2017 (11 meses)

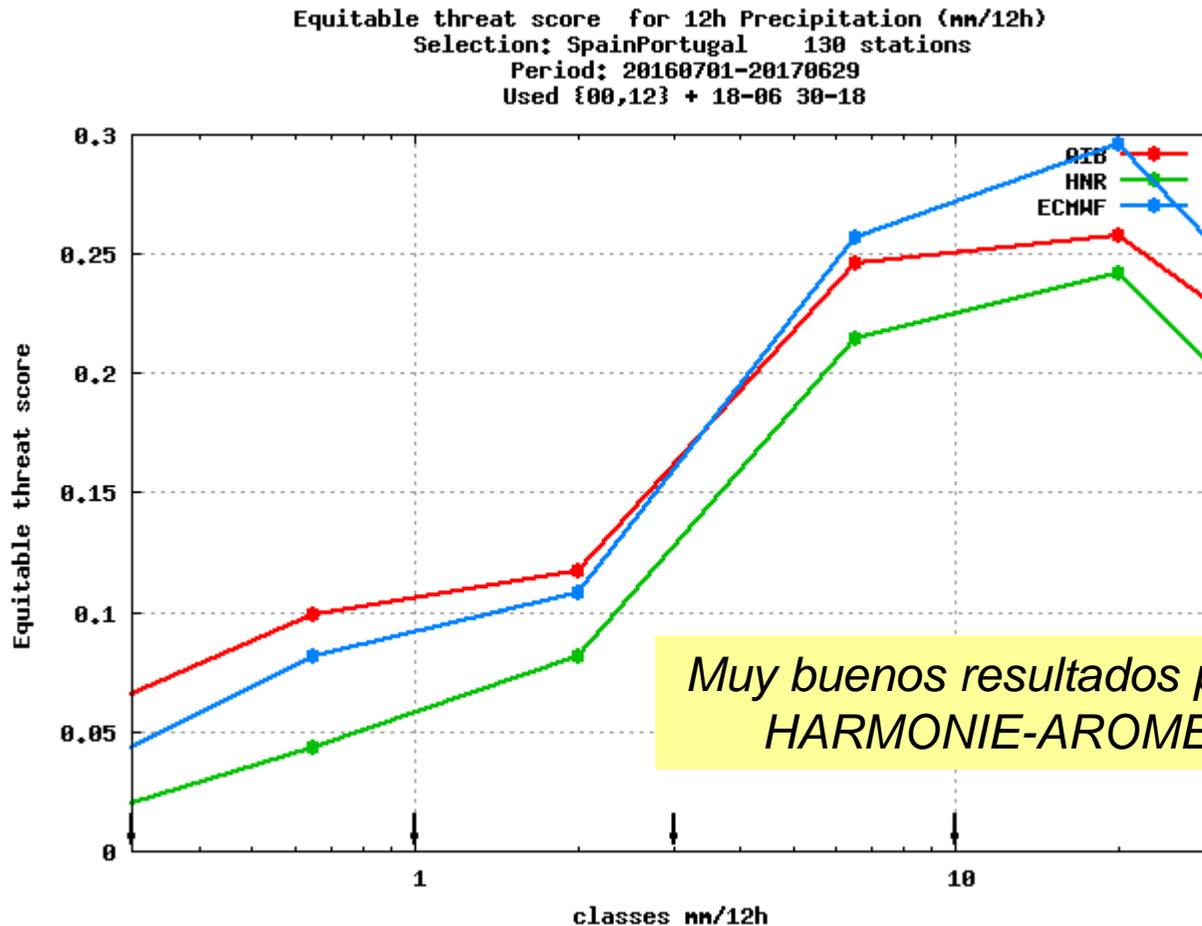
Desviación Standard, T 2 m



HARM-AROME, HIRLAM 0.05, ECMWF

Verificación: Precipitación: Verificación frente a observaciones

Este tipo de verificación puntual penaliza a los modelos de mayor resolución y es conveniente utilizar verificación espacial

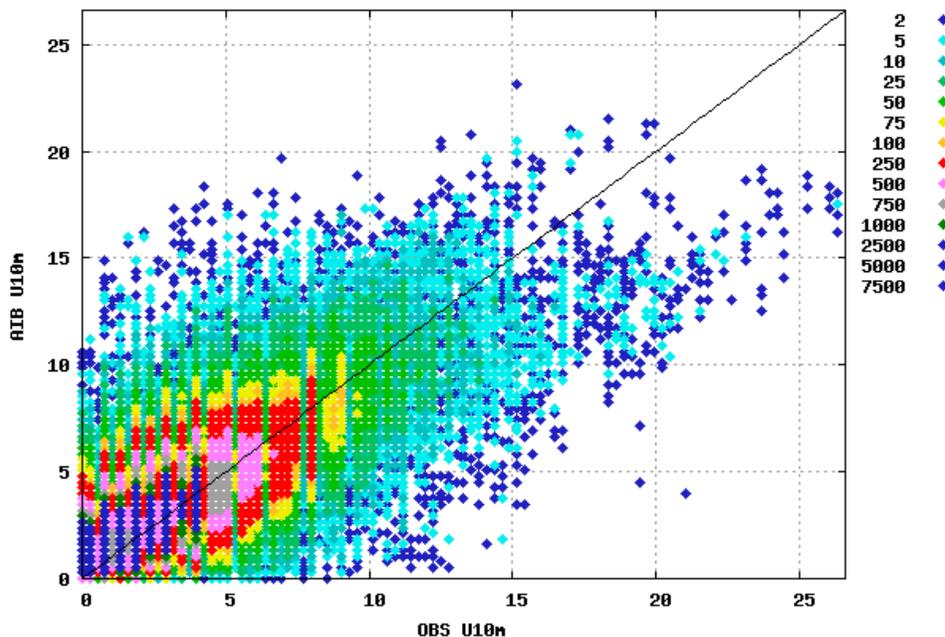


+
↑ Mejora
↓

HARM-AROME, HIRLAM 0.05, ECMWF

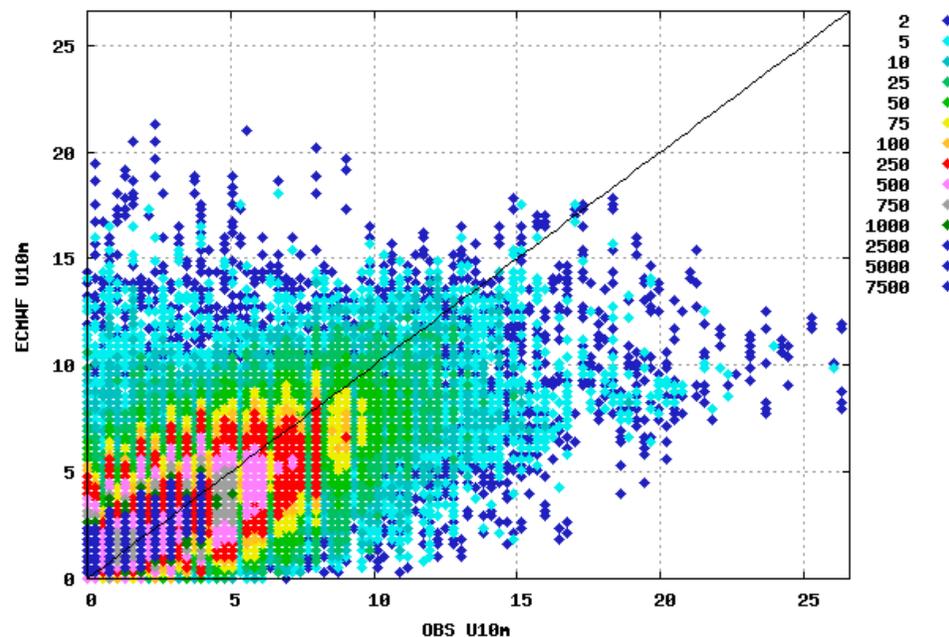
HARMONIE

Scatterplot for 130 stations Selection: SpainPortugal
U10m [m/s]
Period: 20160701-20170531
Used {00,06,12,18} + 06 18 30



ECMWF

Scatterplot for 130 stations Selection: SpainPortugal
U10m [m/s]
Period: 20160701-20170531
Used {00,06,12,18} + 06 18 30



Los puntos deberían de estar centrados alrededor de la diagonal
Cuanto mejor sea la dispersión mejor

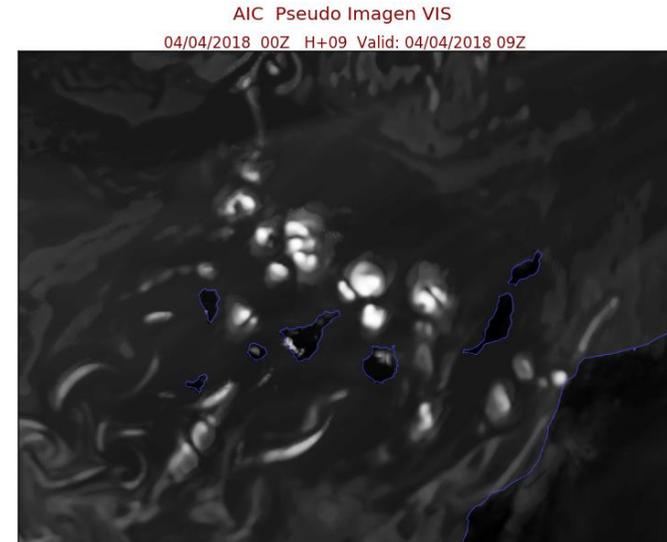
Clara mejora de las predicciones de vientos fuertes

Productos: Pseudoimágenes de satélite.

*Imagen visible Satelite
METEOSAT*



Imagen visible simulada



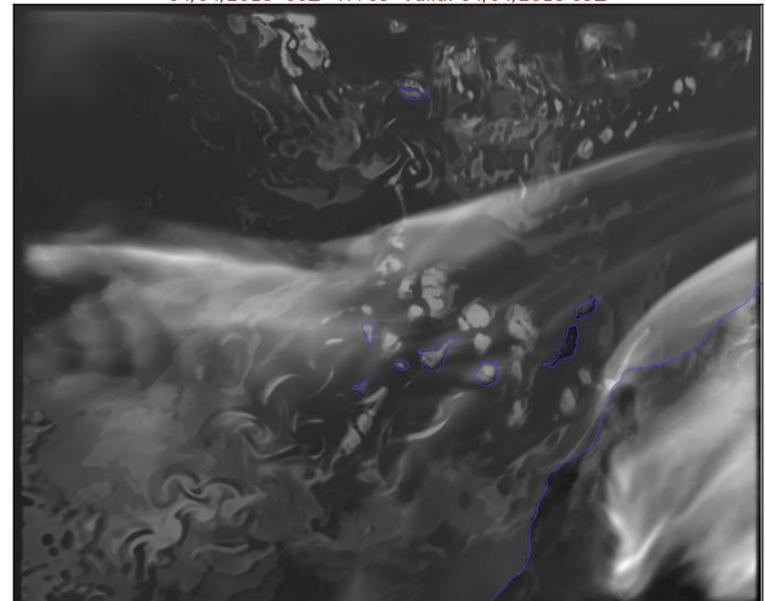
Productos: Pseudoimágenes de satélite.

Imagen visible infrarrojo METEOSAT



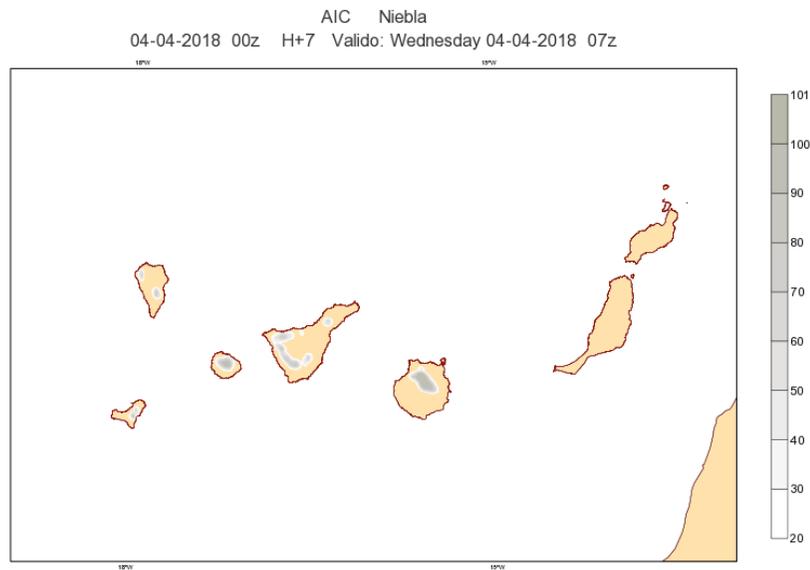
Imagen infrarrojo simulada

AIC Pseudo Imagen IR
04/04/2018 00Z H+09 Valid: 04/04/2018 09Z

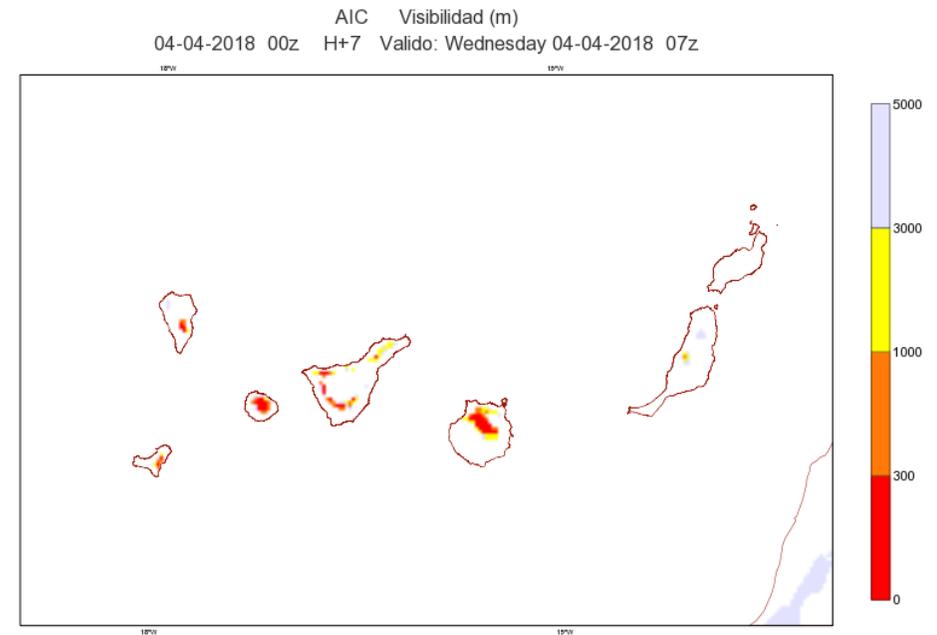


Productos: Niebla y visibilidad.

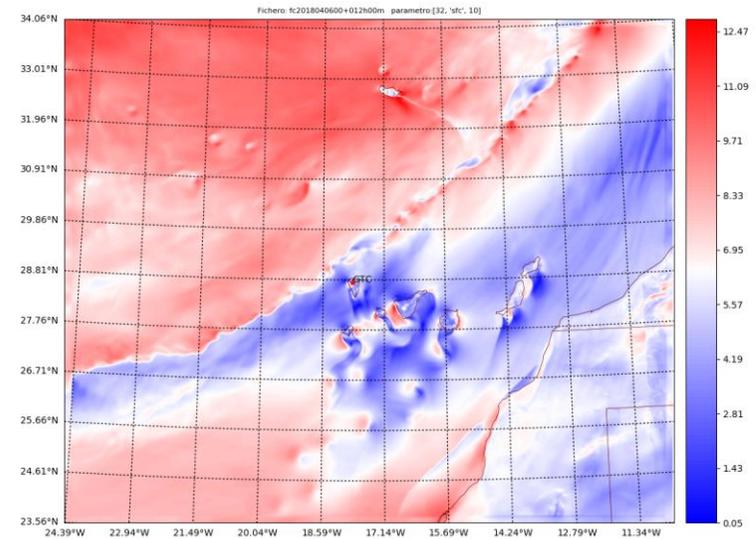
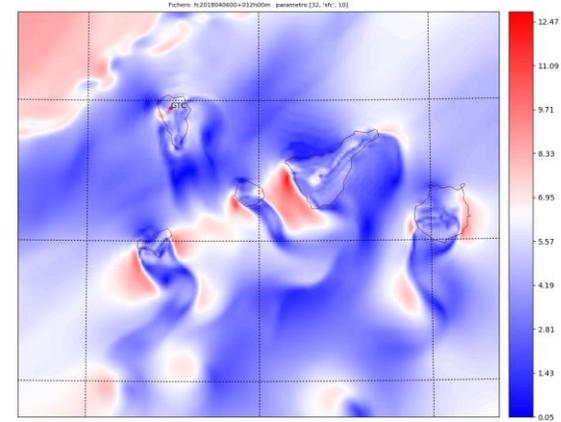
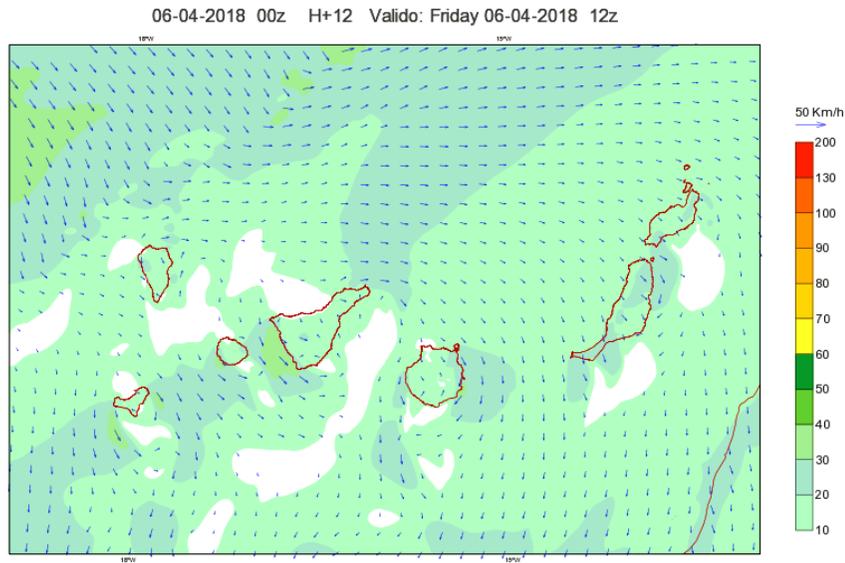
Niebla



Visibilidad horizontal (campo experimental)

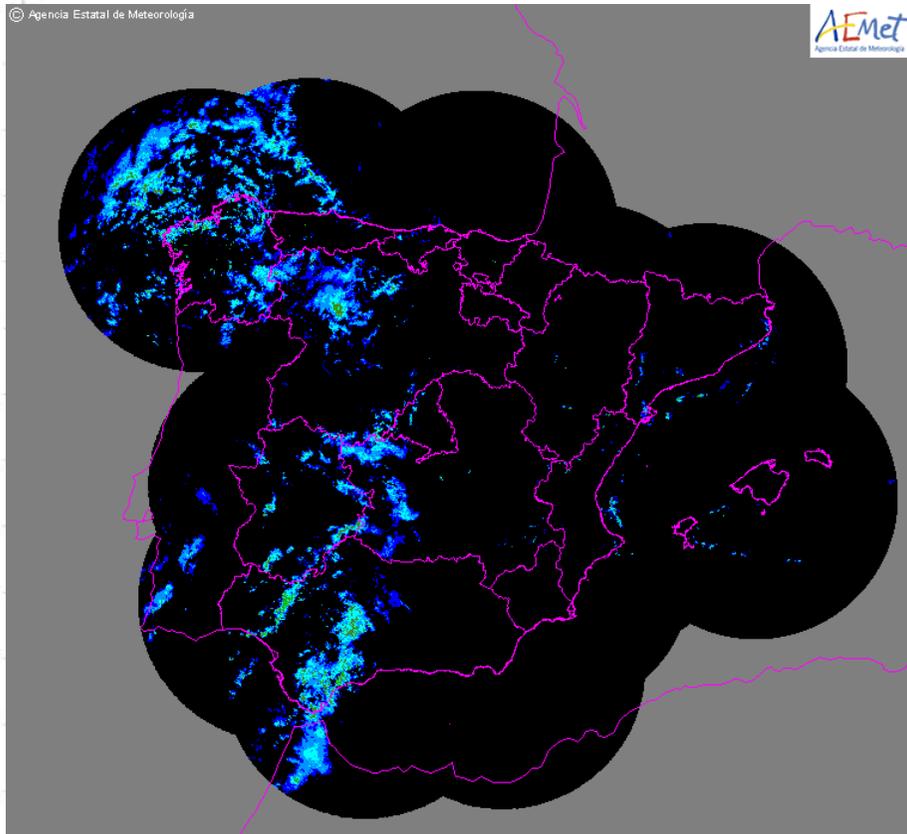


Viento



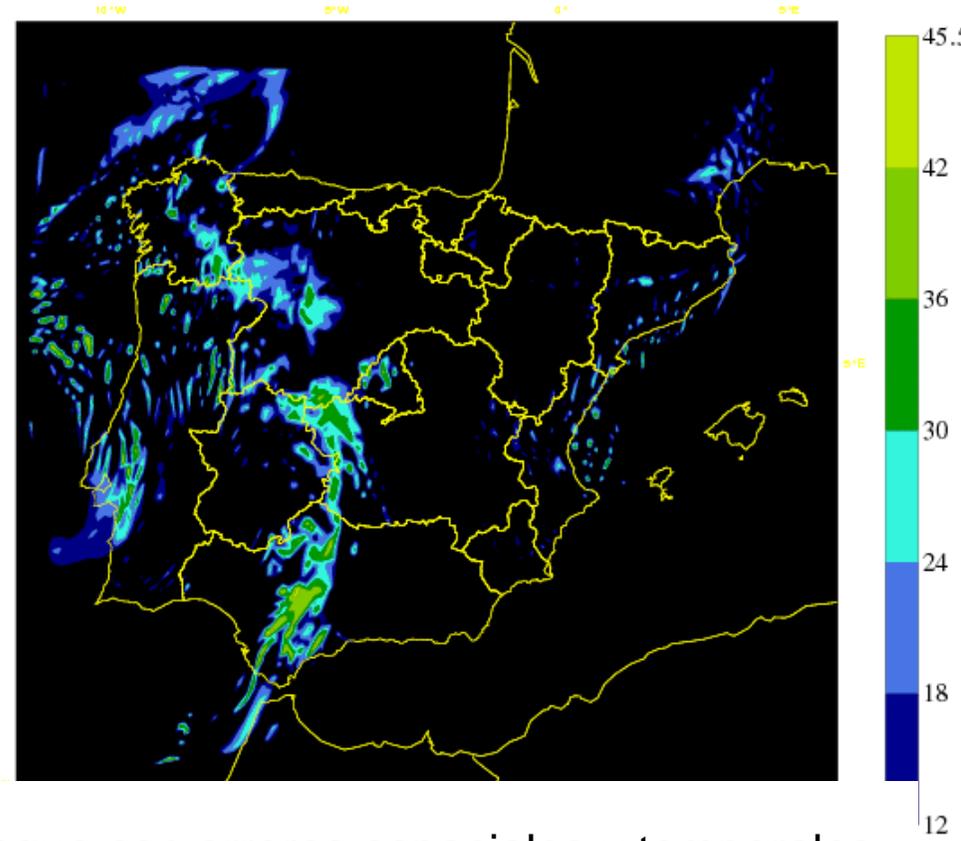
Productos: Simulación de la reflectividad radar (Precipitación)

Radar



HARM-AROME

HARM Reflectividad 300m (dBZ)
17/11/2012 00z HARM H+ 03 Valid: 17/11/2012 03z



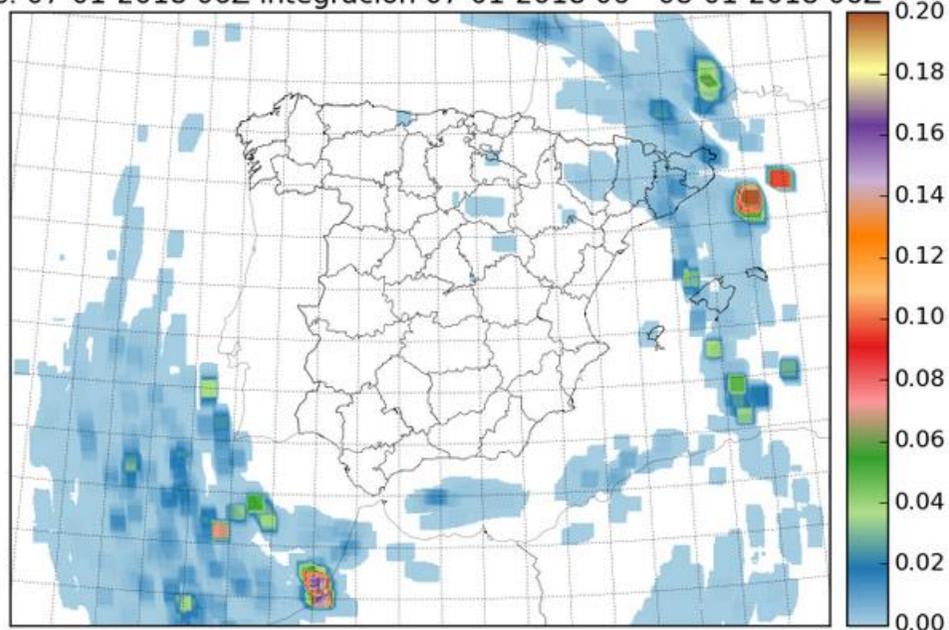
Patrones de precipitación bastante realistas aunque con errores espaciales y temporales que **sugieren una interpretación probabilística de las salidas del modelo**

Productos: Estimación de descargas eléctricas.

- Esta basado en la integración de graupel en la vertical siguiendo la aproximación del KNMI y adaptada a la red de detección de rayos de AEMET. La Performance depends very much on the representation of convection it is a good estimator of lightning activity
- A tool has been develop to generate warnings for aviation (consensus approach)

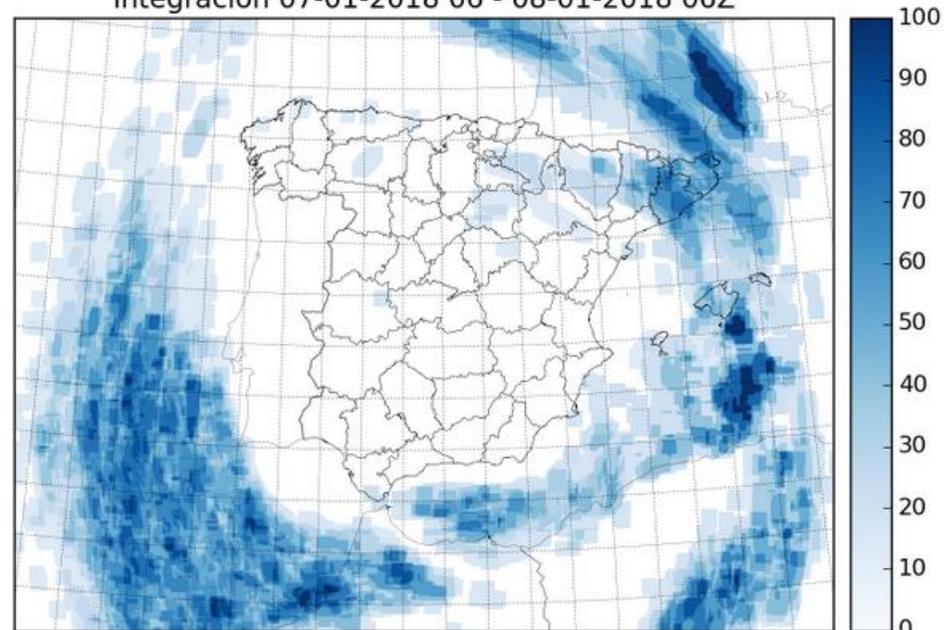
HARMONIE: Rayos estimados (rayos/km²).

Pas: 07-01-2018 06Z Integracion 07-01-2018 06 - 08-01-2018 06Z

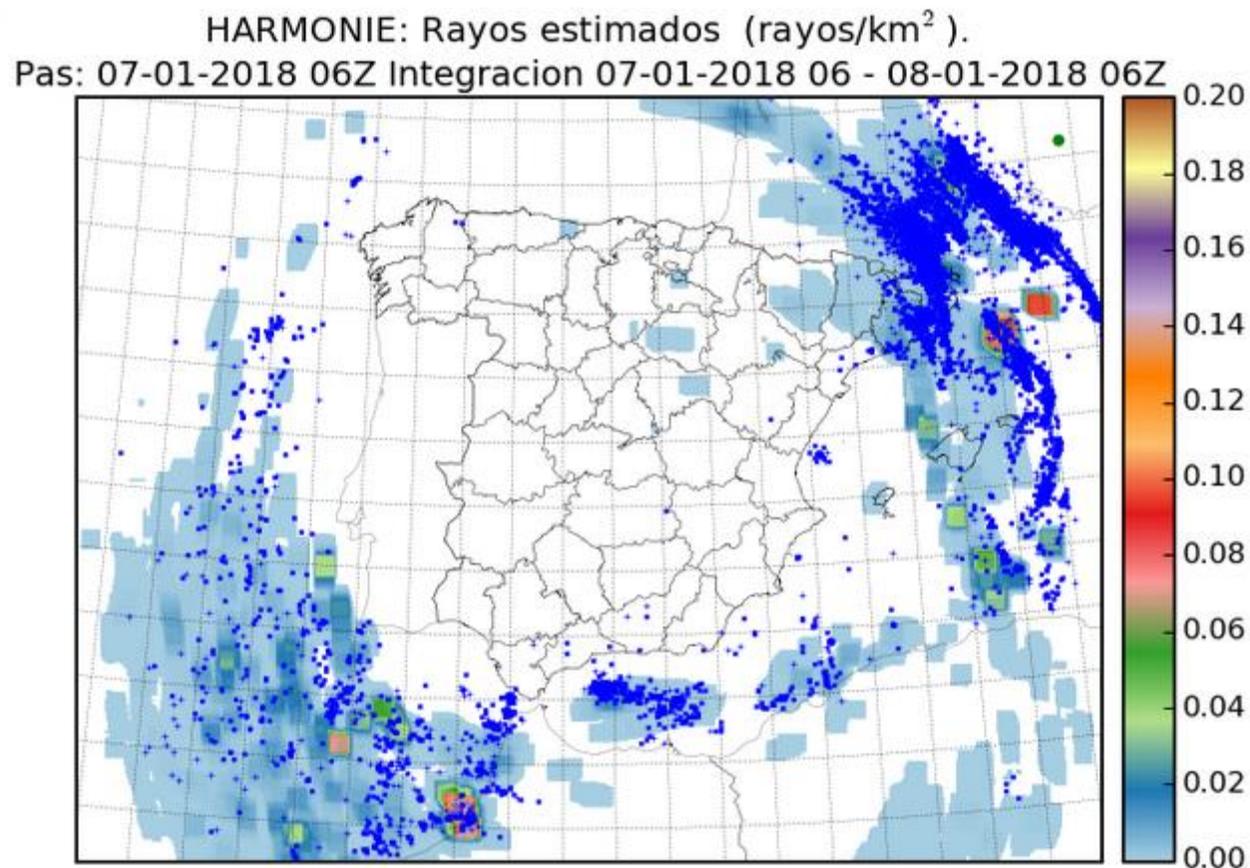


HARMONIE: Consenso entre pasadas (%).

Integracion 07-01-2018 06 - 08-01-2018 06Z



Lightning estimation: Comparison with observations

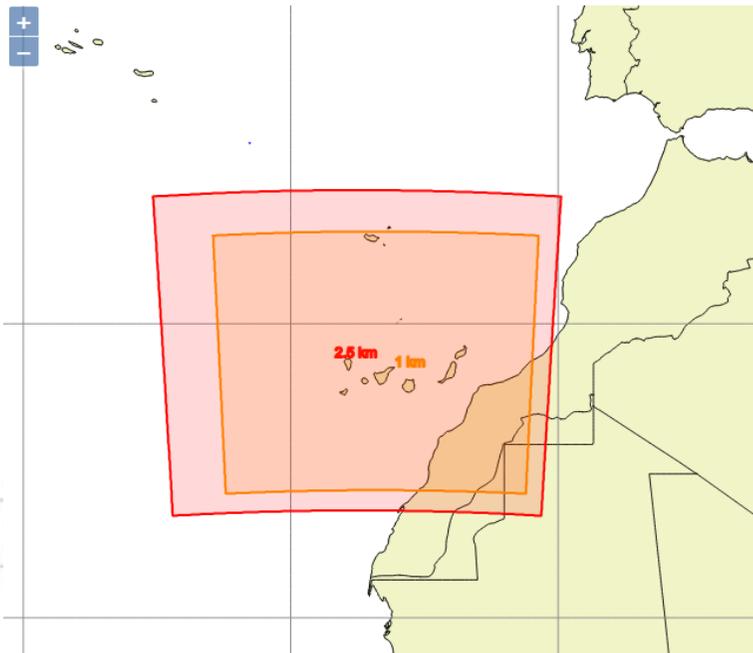


Simulated lightning density in 24 hr compared to actual clou-earth discharges (blue crosses)

jsosac@aemet.es

Nuevos desarrollos.

- **HARMONIE-AROME** con resolución de 1 Km.
- Aemet tiene un compromiso de tener un modelo a 1 km sobre el área de Canarias.
 - La comunidad HIRLAM esta muy interesada en estudiar el comportamiento de HARMONIE-AROME sobre un dominio marítimo.
 - Se va a realizar un experimento paralelo en la zona del mar Báltico.
 - De momento solo se ha realizado un caso de estudio de un episodio de convección.



- **2.5 km** (576x480) SETTLS + 3DVAR
- **1 km** (1152x960) PC + blending
- **1 km cubic grid** PC + blending

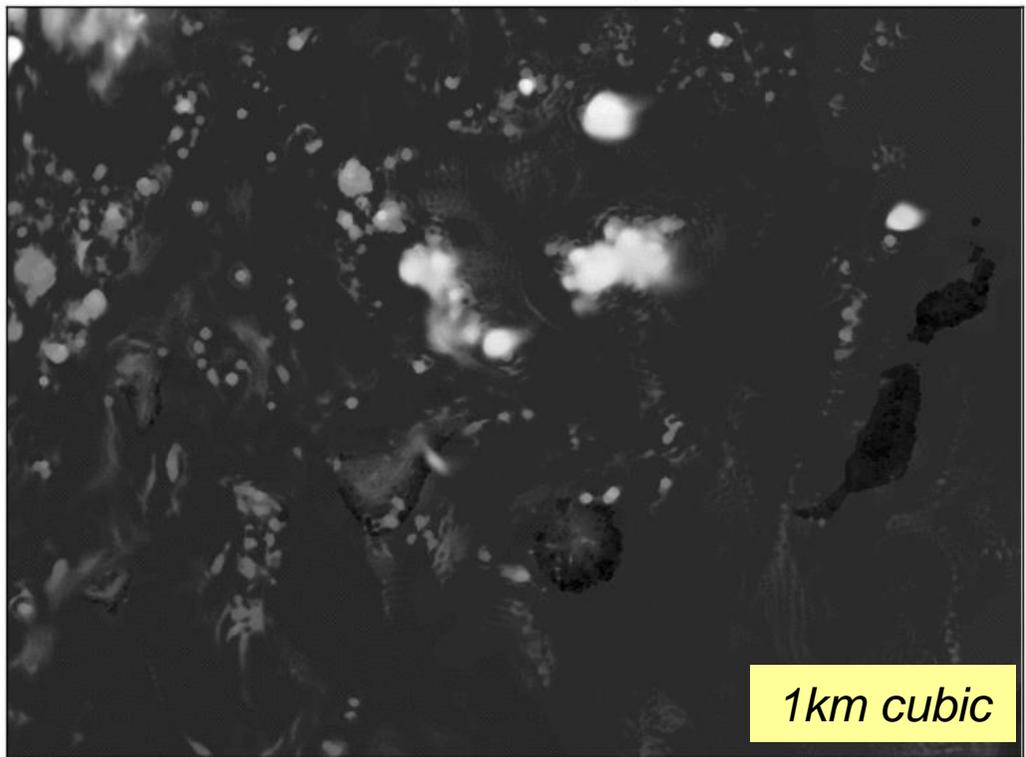


IR 10.8

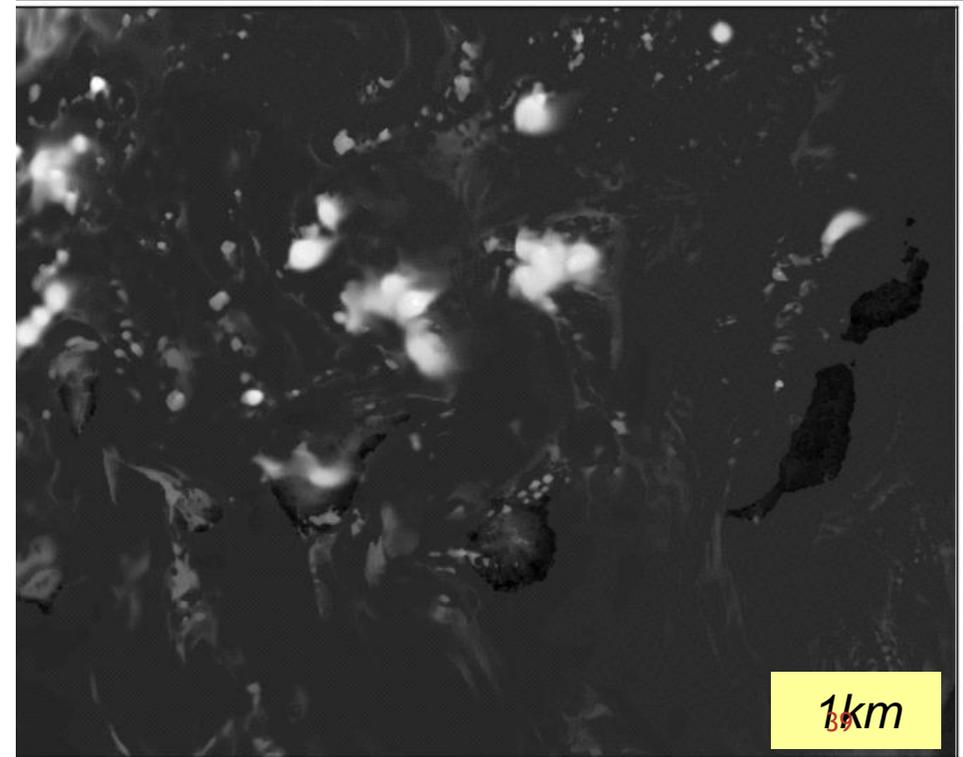


2.5km

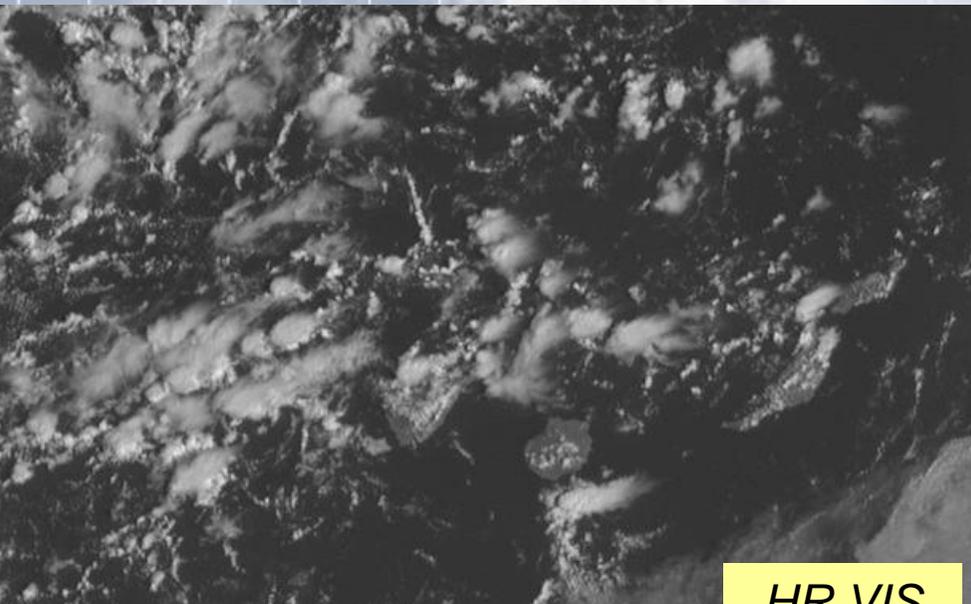
1km_c Pseudo Imagen IR
18/03/2017 00Z H+10 Valid: 18/03/2017 10Z



1km cubic

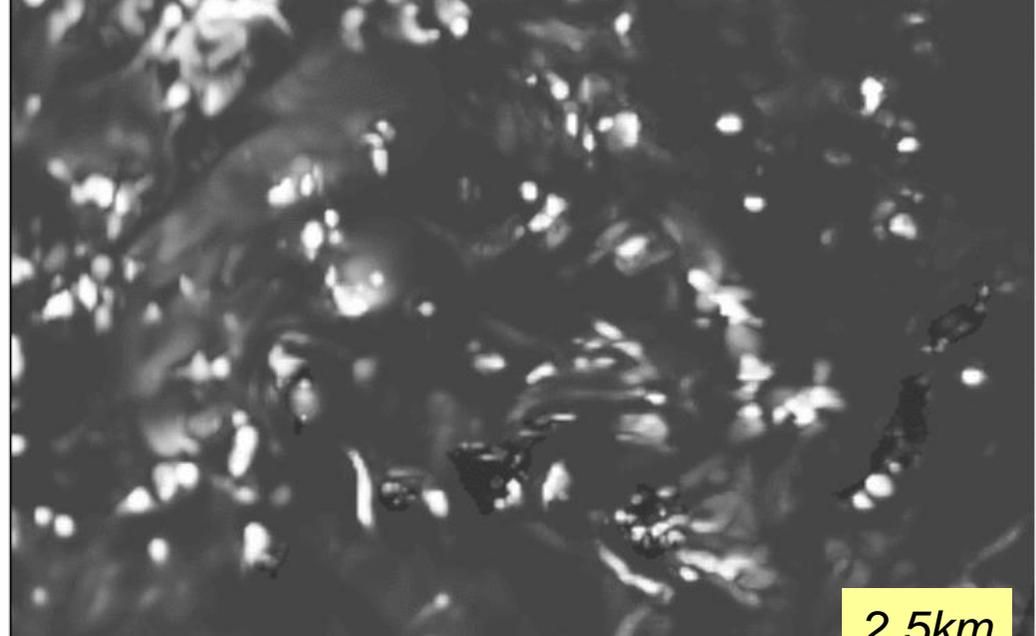


1km



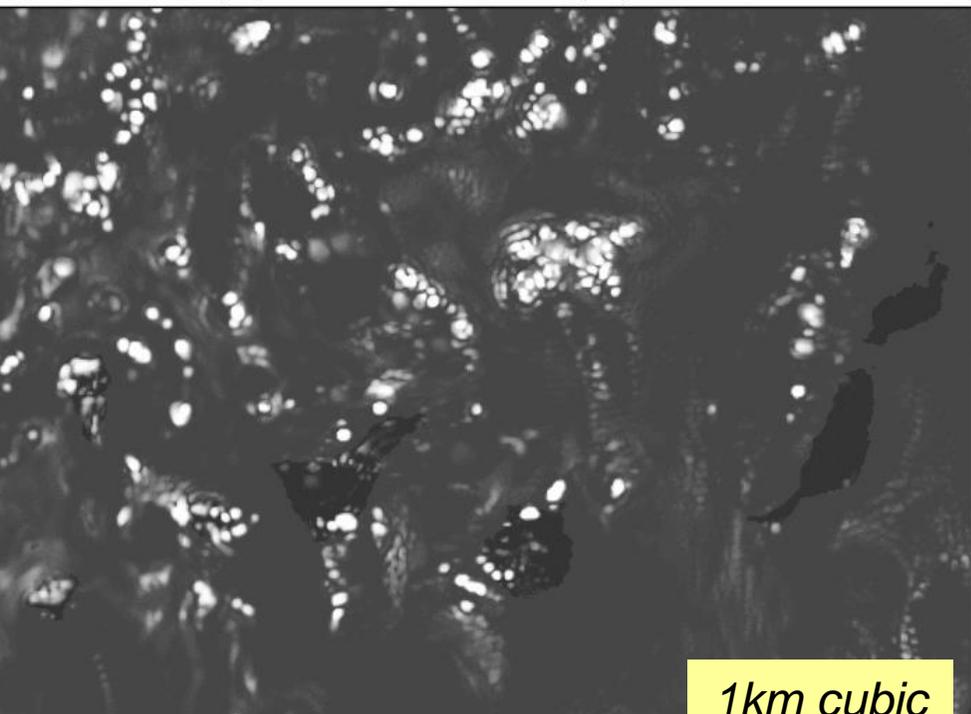
HR VIS

AIC1c Pseudo Imagen VIS
18/03/2017 00Z H+10 Valid: 18/03/2017 10Z

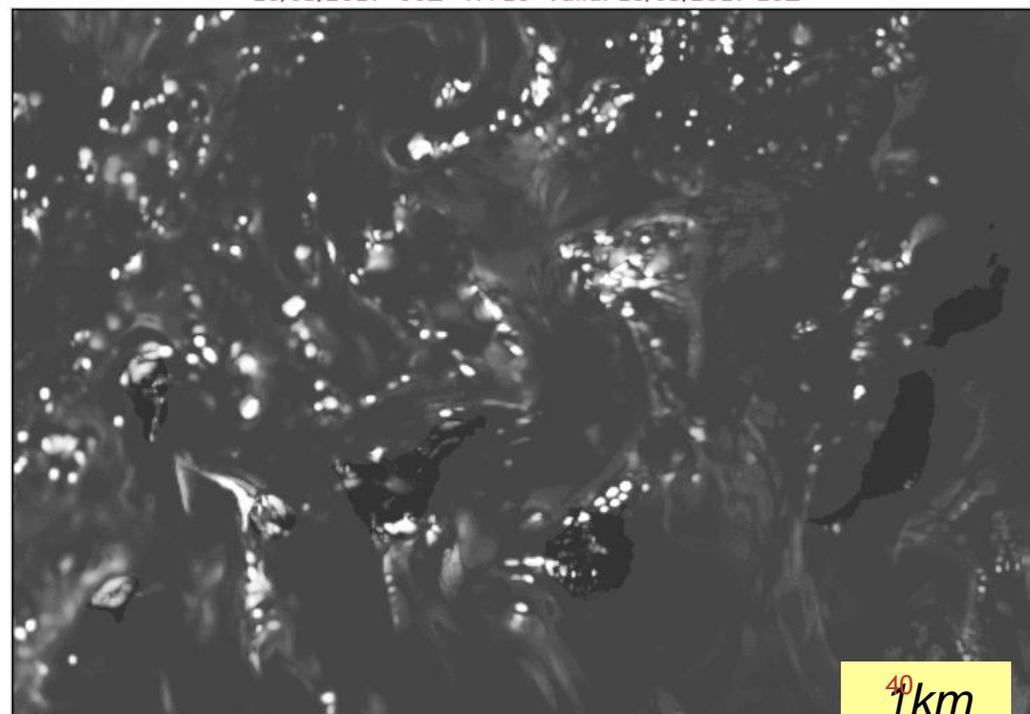


2.5km

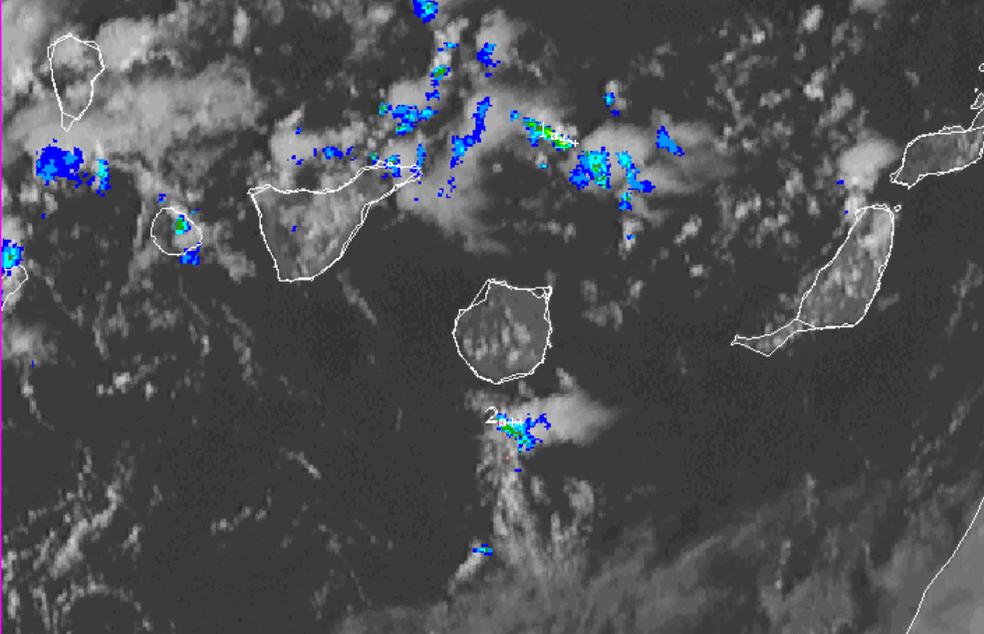
PC_1km Pseudo Imagen VIS
18/03/2017 00Z H+10 Valid: 18/03/2017 10Z



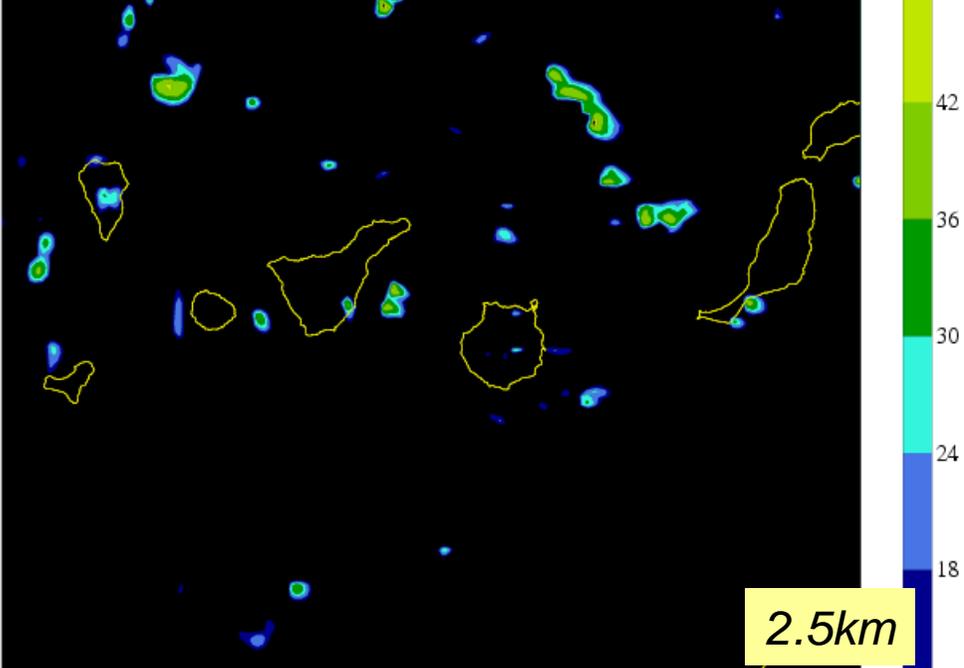
1km cubic



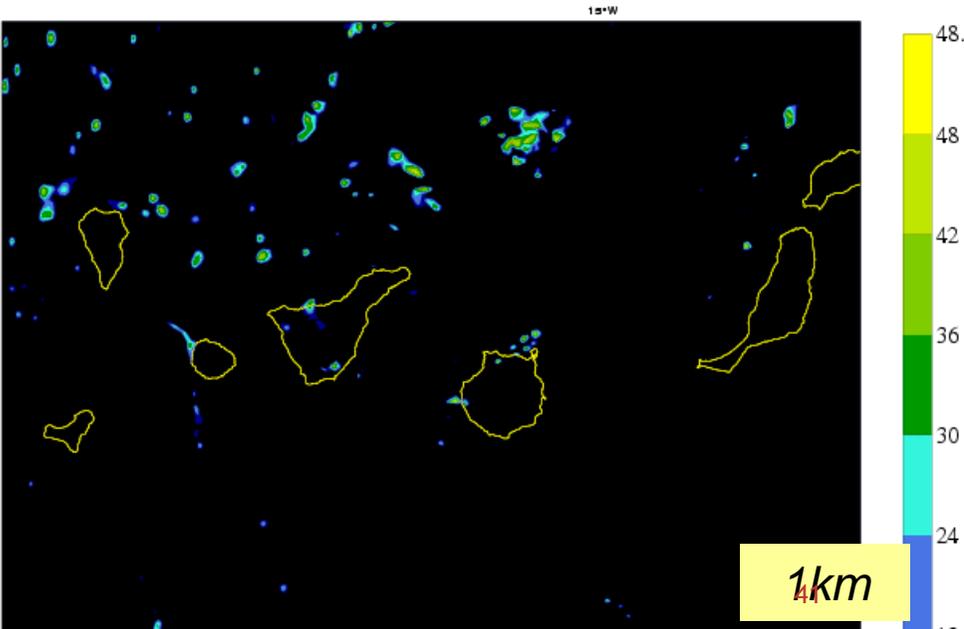
40km



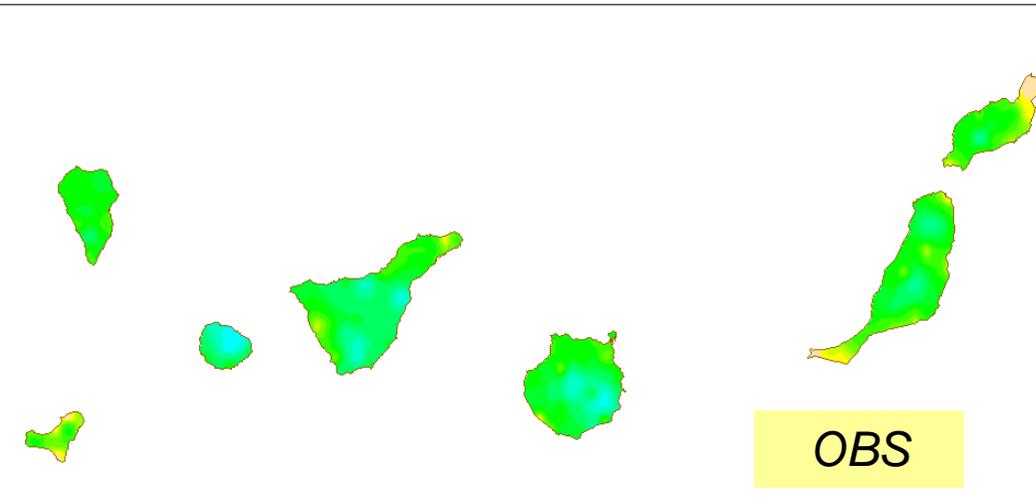
Sat + radar



AIC1 Reflectividad 1000m (dBZ)
 18/03/2017 00z H+ 10 Valid: 18/03/2017 10z

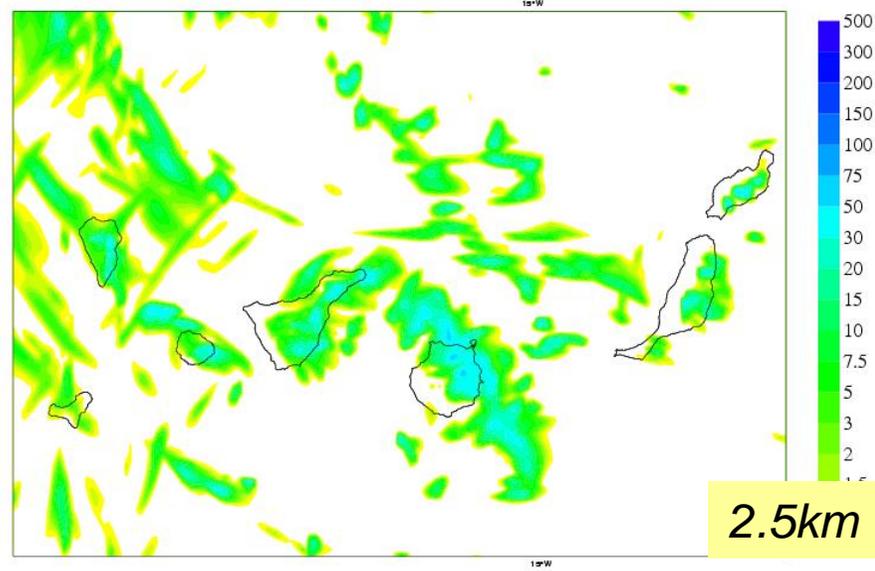


Saturday, 18 March 2017 -Precipitacion de 07 a 07



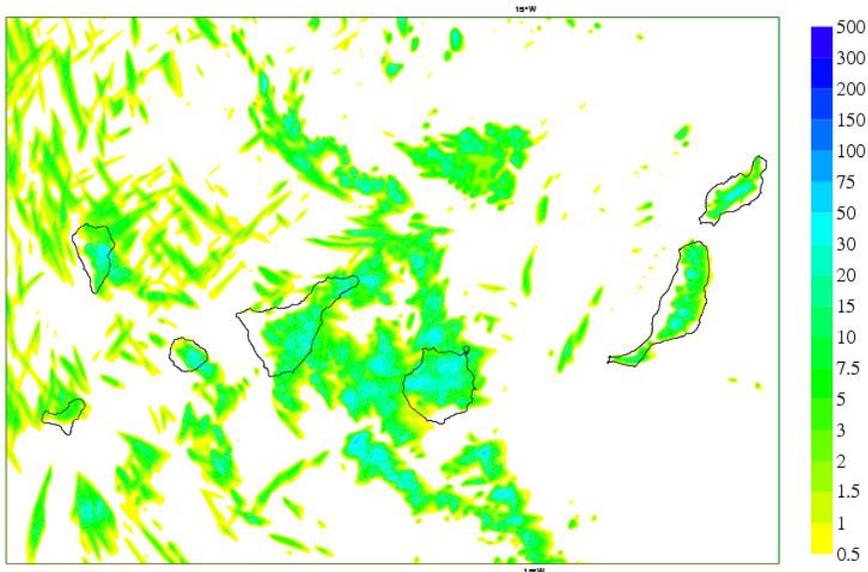
OBS

AIC1 Precipitation (mm/24hr)
18/03/2017 00z H+ 07 Valid: 18/03/2017 07z



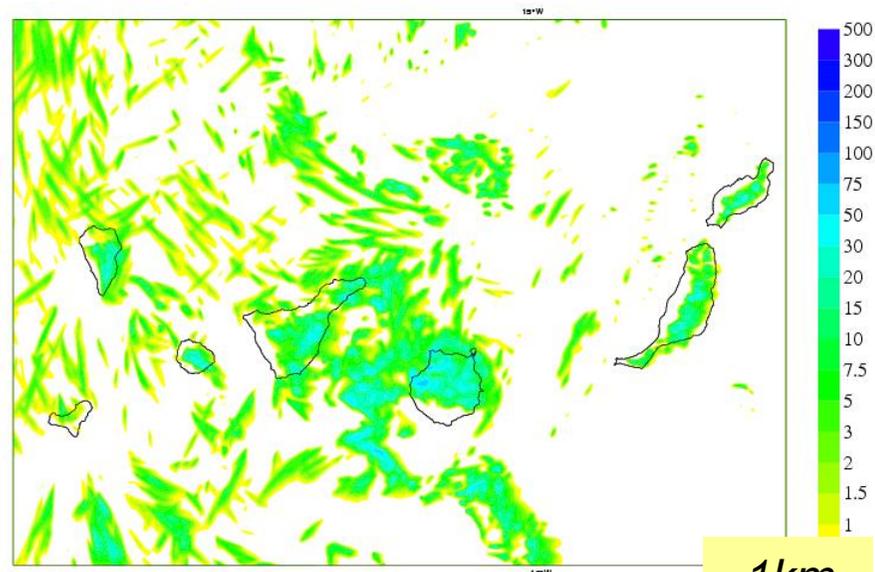
2.5km

AIC1 Precipitation (mm/24hr)
18/03/2017 00z H+ 07 Valid: 18/03/2017 07z



1km cubic

AIC1 Precipitation (mm/24hr)
18/03/2017 00z H+ 07 Valid: 18/03/2017 07z



1km

Nuevos desarrollos. 1Km de resolución.

- HARMONIE-AROME con resolución de 1 Km.
- Todavía queda mucho trabajo por hacer, en este caso la convección se subestima, da lugar a estructuras son realistas, pero todavía un poco ruidosas.
- De debe también trabajar en la asimilación de datos y realizar ciclos mas cortos para un mejor uso de las observaciones.

- En el área de Modelización nos encargamos de gestionar el postproceso de usuarios del modelo.
- Se ejecuta simultáneamente con el modelo de predicción en el mismo ordenador, de manera que el usuario pueda recibir el producto lo antes posible.
- ¿Que usuarios piden datos del modelo?
 - Desde compañías de energía renovables que nos piden datos de viento interpolado en altura o datos de radiación y nubosidad.
 - Industrias que piden viento y humedad a determinadas alturas.
 - Organismos públicos:
 - Confederaciones hidrográficas.
 - Universidades.
 - Aeronáutica.
 - Defensa.
 - Dirección General de Trafico.
 - Ayuntamientos.

Postprocesos de usuarios.

- Desde nuestro punto de vista solo tenemos dos tipos de usuarios.
 - Usuarios de ficheros grib, que piden determinados variables del modelo en un área más pequeña.
 - Usuarios de ficheros ASCII, que solo necesitan saber la predicción de una variable determinada en un punto.

```

Informacion del modelo AIB

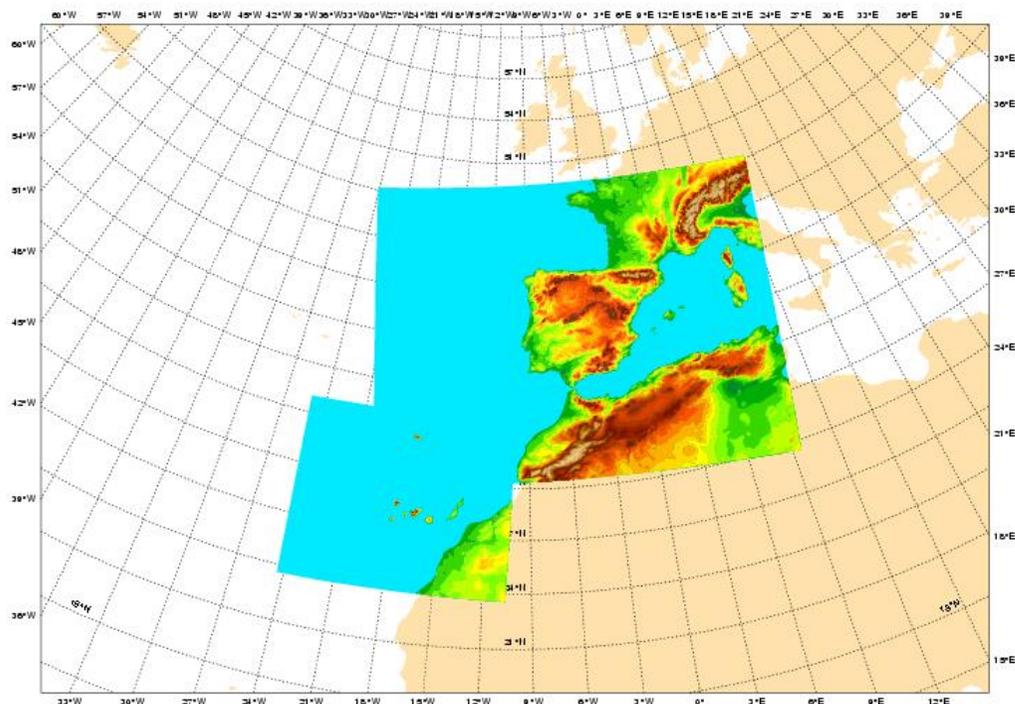
          FECHA DE LA PASADA: 2017 11 15 6

PUENTE DE CADIZ      LAT:36.52      LON:-6.26

  Fecha              NIVEL              fff(km/h)              ddd(g)
  -----              -
2017111507            0                27.7                  86
2017111508            0                26.1                  78
2017111509            0                22.7                  64
2017111510            0                18.2                  58
2017111511            0                26.3                 109
2017111512            0                25.6                 106
2017111513            0                25.2                 106
2017111514            0                24.7                 107
2017111515            0                21.4                 109
2017111516            0                21.3                 113
2017111517            0                22.5                 116
2017111518            0                24.4                 117
2017111519            0                26.8                 116
2017111520            0                28.8                 115
2017111521            0                27.4                 117
2017111522            0                24.1                 112
  
```

Integración operativa gracias al nuevo sistema de super-computación AEMET

- La integración operativa de HARMONIE-AROME requiere unas **12 veces más de potencia de cálculo** que el sistema HIRLAM



Disponibile: + 2:40 *Peninsula*, + 2:10 *Canarias*
a partir de la hora del análisis.

- **8 pasadas al día**
- Forecast length:
 - H+48 con salidas cada **15 min** para las variables de superficie seleccionadas.



nimbus

Bullx
computer

- **HARMONIE-AROME:** Nuevo modelo operativo de 2.5 km de resolución horizontal
- Pertenece a una **nueva generación de modelos:**
 - No Hidrostáticos
 - Resuelven explícitamente la convección profunda
- **Supone una mejora significativa en las predicciones locales**
 - Precipitación y especialmente lluvias fuertes
 - Viento
 - Temperaturas
 - Nieblas
- Modelos muy complejos cuyo desarrollo sólo es posible gracias a la colaboración internacional
 - **Colaboración ente los consorcios ALADIN y HIRLAM.**
 - **Forma parte del llamado “Sistema Compartido ALADIN-HIRLAM ”**

Una descripción detallada de la configuración HARMONIE-AROME puede encontrarse en

- Bengtsson, L. et al 2017: The HARMONIE-AROME model configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP system. *Mon. Wea. Rev.*
<https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0417.1>

Código compartido ALADIN-HIRLAM

La configuración HARMONIE-AROME forma parte del código compartido ALADIN-HIRLAM fruto de la colaboración de los consorcios ALADIN y HIRLAM, y Météo-France.

El Consorcio HIRLAM está constituido por los Servicios Meteorológicos de Dinamarca, Estonia, Finlandia, Islandia, Irlanda, Lituania, Holanda, Noruega, España y Suecia, con Francia como miembro asociado.

El consorcio ALADIN está formado por Argelia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Republica Checa, Francia, Hungría, Marruecos, Polonia, Portugal, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, Túnez y Turquía. [SEP]



Gracias