

Verificación del modelo HARMONIE-AROME a 1 km de resolución sobre áreas costeras

<https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.343>

Inés Santos Atienza¹ (isantosa@aemet.es)
Elena Padorno Prieto¹ (epadornop@aemet.es)
José Ángel Ruiz Pacheco¹ (jruizp@aemet.es)
Isabel Martínez Marco¹ (imartinezm@aemet.es)

¹AEMET / Dirección de Producción e Infraestructuras / Área de Aplicaciones

RESUMEN

Dentro del marco del Proyecto SAMOA, en AEMET se está ejecutando el modelo de predicción numérica del tiempo HARMONIE-AROME a 1,0 km de resolución sobre cuatro áreas costeras. Esta ejecución del modelo ha implicado un trabajo de investigación y estudio para lograr una configuración adecuada a la nueva resolución espacial, superior a la resolución de la pasada operativa de AEMET, de 2,5 km, y que mantenga la estabilidad del modelo.

Los resultados obtenidos muestran no solo un mayor nivel de detalle y riqueza en la dinámica atmosférica, sino que además presentan una mejora significativa respecto a la pasada operativa en la verificación frente a observaciones reales, especialmente para el viento a 10 metros.

PALABRAS CLAVE: verificación; predicción numérica; muy alta resolución; viento a 10 metros; SAMOA; Puertos del Estado.

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto SAMOA, financiado por Puertos del Estado, tiene como objetivo el desarrollo de un Sistema de Apoyo Meteorológico y Oceanográfico para las Autoridades Portuarias. Son 9 las Autoridades que han formado parte de este proyecto, abarcando un total de 17 puertos distribuidos por toda la costa española.

El desarrollo de la vertiente meteorológica de este proyecto consiste en la integración de información meteorológica y de dispersión de contaminantes de alta calidad y resolución para los puertos. Refiriéndonos como información meteorológica a datos de predicción de variables de superficie: presión y temperatura en superficie, temperatura a 2 metros, viento a 10 metros, humedad específica y relativa a 2 metros, precipitación, cobertura nubosa, flujos de calor sensible y latente y radiación de onda corta y larga. Y siendo el viento a 10 metros la variable de mayor relevancia, no solo por su importancia en el desarrollo de las operaciones portuarias sino también por el papel que esta variable juega debido a su integración en los modelos locales de oleaje.

Para obtener esta información meteorológica de alta resolución y calidad, se ha utilizado el modelo HARMONIE-AROME en su última versión, 40h1.1 (BENGTSSON *et al.*, 2017), al igual que el modelo operacional para las predicciones oficiales de AEMET, pero, en este caso, configurado a 1 km de resolución en la horizontal. Se realizan dos ejecuciones al día, a las 00 UTC y a las 12 UTC, con un alcance de 48 horas sobre cuatro áreas de distintas dimensiones definidas de forma que engloben los 17 puertos participantes:

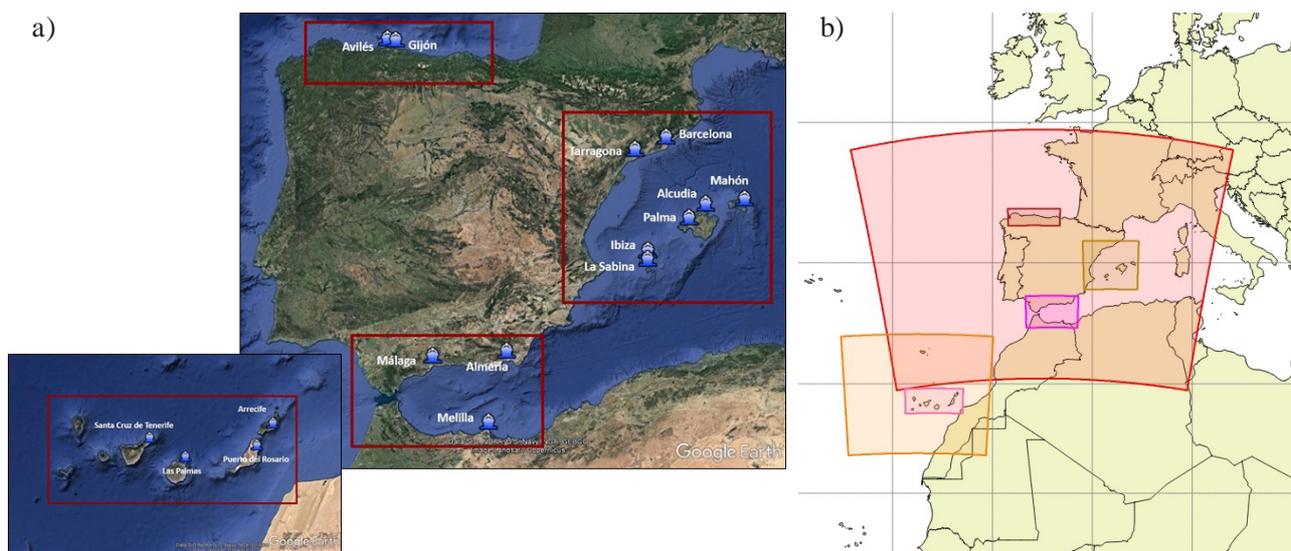


Figura 1. a) Vista geográfica de los cuatro dominios y los puertos incluidos en cada uno.
b) Nuevos dominios de 1 km y dominios operacionales de AEMET, de 2,5 km.

mar Cantábrico, mar Mediterráneo, mar de Alborán e islas Canarias (figura 1). Se ha evitado la ejecución sobre todo el territorio nacional debido al elevado coste computacional que implica utilizar una resolución de 1,0 km sobre el mismo y que el carácter costero de los puntos de interés facilita su agrupación.

2. CONFIGURACIÓN DEL MODELO HARMONIE-AROME

El modelo HARMONIE (*Hirlam Aladin Regional/Meso-scale Operational NWP in Euromed*), desarrollado por los consorcios ALADIN y HIRLAM, es un modelo de predicción numérica del tiempo espectral bi-fourier, de área limitada, no hidrostático, con un núcleo dinámico basado en una discretización semilagrangiana y semiimplícita de dos pasos de tiempo y con coordenada híbrida en la vertical. Su configuración AROME, que incluye parametrizaciones físicas diseñadas para la alta resolución, está preparada para resolver correctamente fenómenos mesoescalares en rejillas horizontales que van desde, aproximadamente, los 2,5 km hasta inferiores al kilómetro. Sin embargo, tanto el cambio de resolución, como de dominios y de objetivos en la ejecución del modelo HARMONIE-AROME para este proyecto respecto a la pasada operativa de AEMET han implicado la toma de distintas decisiones orientadas a lograr un ajuste óptimo para las nuevas necesidades.

Respecto a los datos a utilizar como anidamiento y condiciones de contorno, se optó por el uso del modelo IFS del ECMWF. Tomar la misma pasada nominal del modelo operativo de AEMET, de 2,5 km, aunque más próxima en resolución horizontal, implicaba un mayor tiempo de espera. Por otra parte, el aumento de resolución del modelo del ECMWF a 9 km, que reducía la brecha horizontal, y los buenos resultados obtenidos con este modelo llevaron a su elección.

Debido a la elevada carga de trabajo asociada al desarrollo de un análisis para la nueva resolución y dominios, no se realiza asimilación de datos ni análisis en superficie ni en altura. Cada ejecución parte directamente del correspondiente fichero del IFS regionalizado a las distintas mallas de 1,0 km. Este proceso se realiza mediante la herramienta GL y se conoce como adaptación dinámica. Los resultados obtenidos de este modo en ejecuciones de test resultaron bastante buenos y mejores que los alcanzados con otras técnicas de inicialización sin análisis estudiadas, como por ejemplo el *blending*.

A nivel más técnico, los modelos numéricos espectrales como el HARMONIE, basado en el desarrollo de series de Fourier, requieren de un truncamiento que hace que se dé una acumulación de energía en las escalas de mayor resolución resueltas por el modelo. De modo que, lo que a una resolución puede funcionar sin

problemas, al reducir la rejilla, puede generar una acumulación excesiva de energía en esas nuevas escalas de menor tamaño, conduciendo a la desestabilización del modelo y el fallo de la ejecución en determinadas situaciones (O'BRIEN, 2012). Ante la incidencia de este problema y su persistencia aun tomando distintas medidas para favorecer la estabilidad del modelo, se decidió optar por el esquema predictor/corrector en lugar del esquema de extrapolación estable en dos pasos de tiempo, SETTLS, consiguiendo la ejecución exitosa del modelo sin fallos desde mayo de 2016.

Por último, se modificaron algunos parámetros del esquema de turbulencia HARATU (LENDERINK y HOLTSLAG, 2004) y de difusión horizontal (semilagrangiana) (VANÁ *et al.*, 2008) con el objetivo de lograr una modelización más física de la turbulencia orográfica; muy importante en los nuevos dominios, ya que en muy poca extensión se producen elevados desniveles, como por ejemplo el paso de altitudes a 0 metros hasta los casi 3500 metros en el mar de Alborán, o incluso más para las islas Canarias (figura 2).

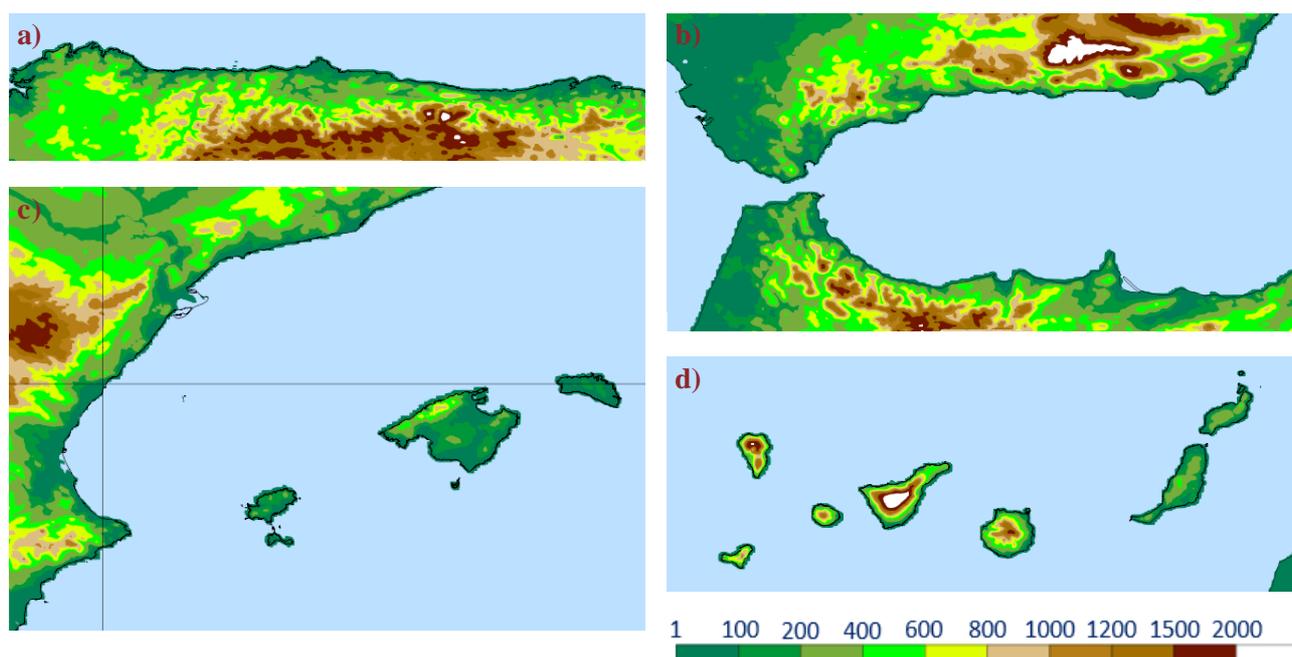


Figura 2. Altitud en metros de la orografía de los distintos dominios: a) mar Cantábrico, b) mar de Alborán, c) mar Mediterráneo y d) islas Canarias.

3. RESULTADOS DE VERIFICACIÓN

3.1. Verificaciones mensuales

Para comprobar el ajuste de las predicciones obtenidas con la configuración a 1,0 km a los datos reales y su valor añadido respecto a la configuración operativa de 2,5 km, se han realizado verificaciones de los resultados frente a las observaciones de la red de estaciones automáticas de AEMET durante distintos periodos de tiempo. Con este objetivo, se ha utilizado la herramienta MONITOR, desarrollada por el grupo HIRLAM, que permite obtener distintos estadísticos mediante comparaciones punto a punto. En concreto, a continuación se mostrarán gráficos de desviación estándar del error cuadrático medio, sesgo, ETS (*Equitable Thread Score*, índice que pondera una tasa de aciertos frente a fallos, agrupando los datos por clases, y eliminando la aleatoriedad), gráficos de dispersión y de variación diaria calculada con medias trihorarias.

Los primeros resultados que se muestran a continuación (figuras 3 a 6) forman parte de las verificaciones realizadas para las cuatro áreas de interés durante los meses de marzo y octubre de 2017, por ser los que presentaban mayor inestabilidad y diferencias en los resultados.

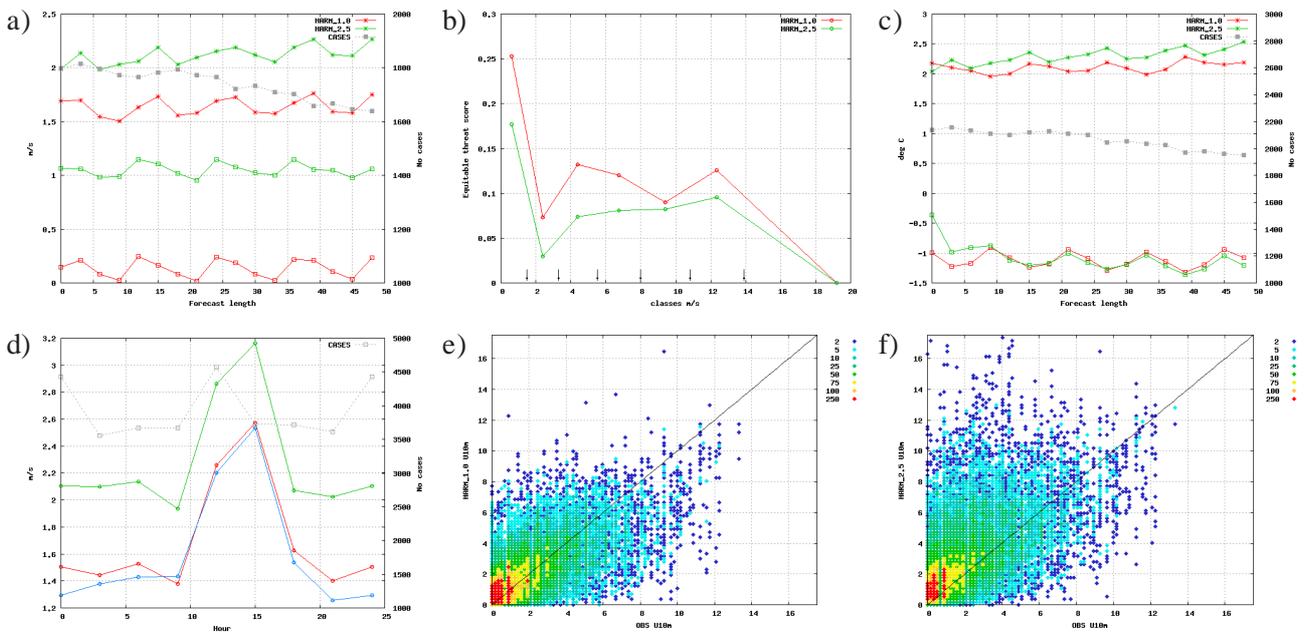


Figura 3. Verificación para el mar Cantábrico, marzo de 2017. HARM-AROME 1,0 (rojo) y HARM-AROME 2,5 (verde). a) STDV y sesgo U10m, b) ETS U10m, c) STDV y sesgo T2m, d) variación media diaria U10m frente a las observaciones (azul), e) eventos observación-predicción del U10m para 1,0 km y f) para 2,5 km.

Los cuatro casos que no se incluyen en este artículo: mar Cantábrico y mar Mediterráneo durante octubre de 2017 y mar de Alborán e islas Canarias durante marzo de 2017, presentan resultados similares.

En general, se aprecia una clara mejora en la predicción de los vientos a 10 metros con el modelo a 1,0 km de resolución que, aun manteniendo la sobreestimación de la configuración de 2,5 km, la reduce considerablemente en todos los casos; obteniéndose un índice ETS superior para todas las clases de vientos y apreciándose la correspondiente redistribución de los puntos en los gráficos de dispersión, junto con un mayor agrupamiento hacia la diagonal. Para el resto de variables, el comportamiento es similar en ambas ejecuciones, salvo la temperatura a 2 metros, que presenta un ligero empeoramiento en el caso de 1,0 km; con una

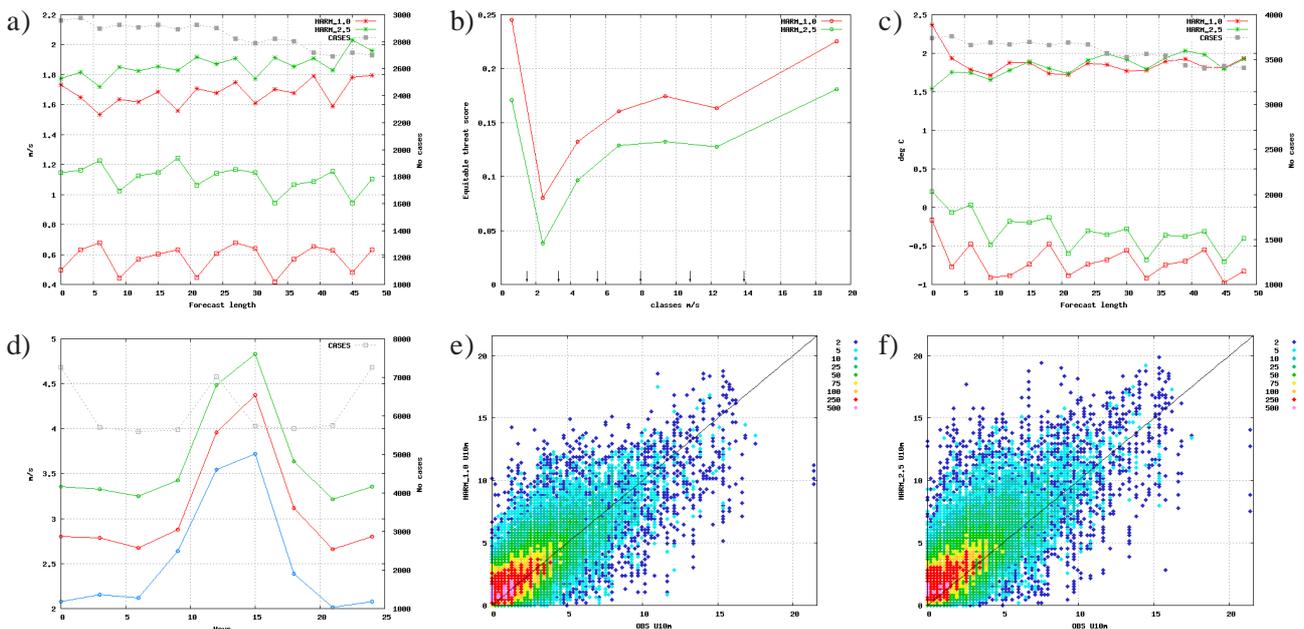


Figura 4. Verificación para el mar Mediterráneo, marzo de 2017. Leyenda como en la figura 3.

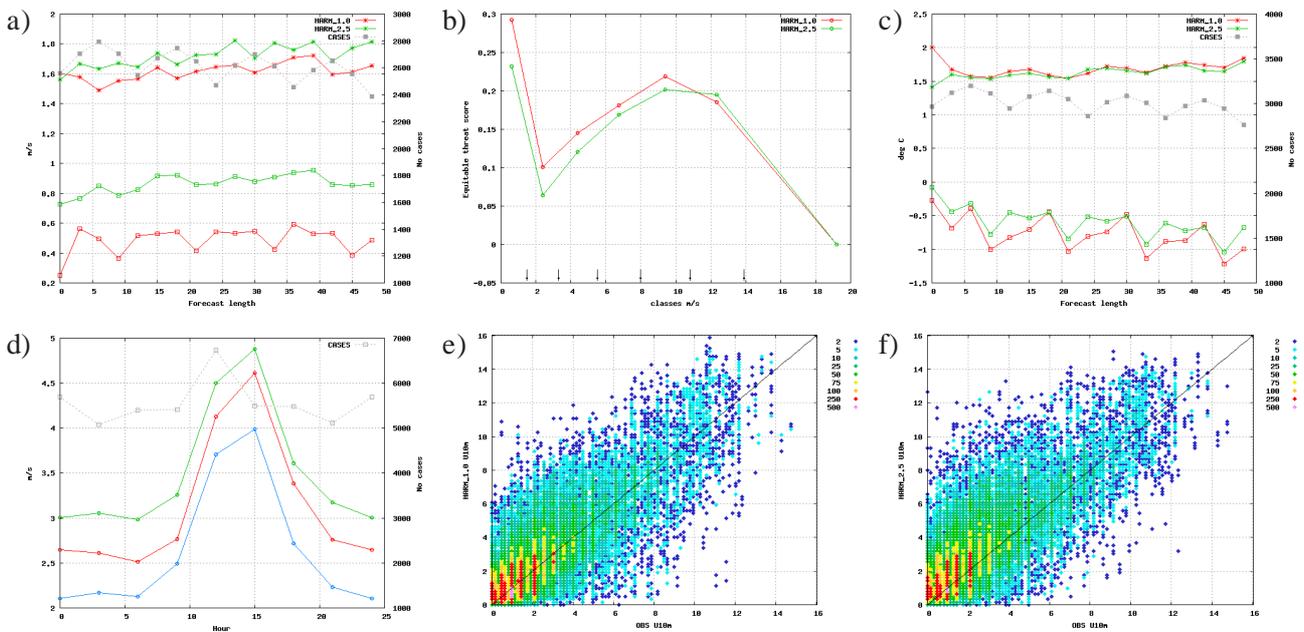


Figura 5. Verificación para el mar de Alborán, octubre de 2017. Leyenda como en la figura 3.

desviación estándar del error cuadrático medio similar en ambos casos pero con un sesgo algo más negativo. También el índice ETS de la precipitación a 12 horas parece empeorar ligeramente.

Comparando los ocho casos verificados en conjunto, los cuatro dominios por los dos meses, merece la pena destacar que los índices de verificación durante octubre de 2017 son mejores para ambas configuraciones que en marzo, posiblemente debido a una mayor inestabilidad atmosférica, y menor predecibilidad, en marzo. Esta mejor verificación de ambas configuraciones en octubre va acompañada en los cuatro dominios de una menor diferencia entre los índices de verificación de una y otra resolución respecto al mes de marzo. Sin embargo, al centrar el foco en los dominios, la relación entre bondad de la verificación del modelo en general y diferencia entre ambas resoluciones se invierte. Los dominios de mar de Alborán e islas Canarias son los que en cada mes proporcionan peores índices de verificación respecto a los otros dos dominios y presentan también las menores diferencias relativas entre ambas resoluciones.

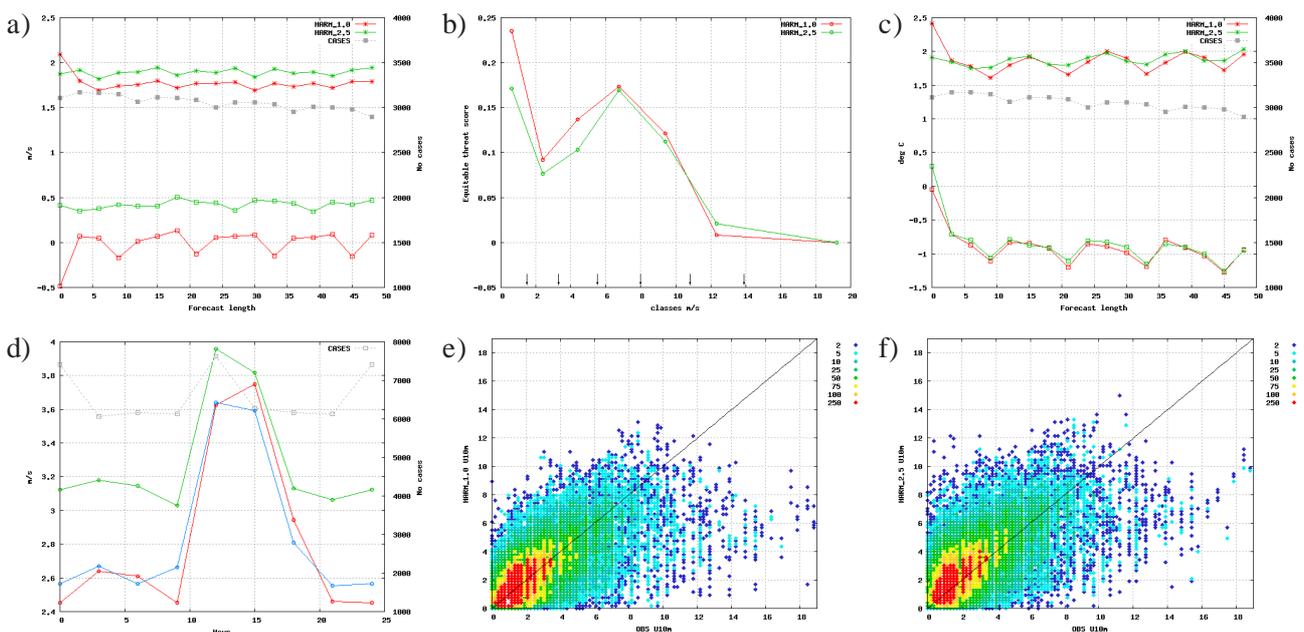


Figura 6. Verificación para las islas Canarias, octubre de 2017. Leyenda como en la figura 3.

Así, entre los gráficos de verificación mostrados, se encuentran el caso de menores diferencias entre las dos configuraciones a distinta resolución horizontal, mar de Alborán durante octubre de 2017 (figura 5), y el caso de mayores diferencias entre configuraciones, mar Cantábrico durante marzo de 2017 (figura 3).

Por otra parte, el dominio del mar Cantábrico es claramente el que mayor mejora presenta respecto a los 2,5 km, quizás debido al tipo de fenómenos atmosféricos dominantes en la zona, donde principalmente se dan situaciones frontales provenientes del Atlántico por el noroeste.

3.2. Verificación de vientos

Debido a la importancia de las variables de viento para el proyecto SAMOA, se han realizado también verificaciones tanto para viento a 10 metros como para racha de viento máxima en los dominios de mar Mediterráneo e islas Canarias durante todo el pasado mes de agosto. Durante este mes se dieron vientos intensos, registrándose rachas muy fuertes (más de 70 km/h) durante numerosos días en distintas estaciones; como por ejemplo, los 80 km/h alcanzados en la estación meteorológica de Es Mercada (islas Baleares) el 10 de agosto, los 95 km/h de Barbate (Cádiz) el 19 o los 107 km/h de Agaete-Suerte Alta (Las Palmas) el día 9.

Nuevamente se aprecia en las gráficas (figura 7 y figura 8) una mejor verificación de los resultados del modelo a 1,0 km de resolución frente al de 2,5 km; tanto para los vientos medios a 10 metros como para las rachas de viento máximas. En ambos dominios se da una reducción de la sobreestimación de vientos y rachas sin perjuicio en la predicción de las rachas de viento máximas que, aun con un sesgo inferior en la más alta resolución, siguen estando ligeramente sobreestimadas y con una desviación estándar muy inferior a la de los datos obtenidos para la resolución de 2,5 km.

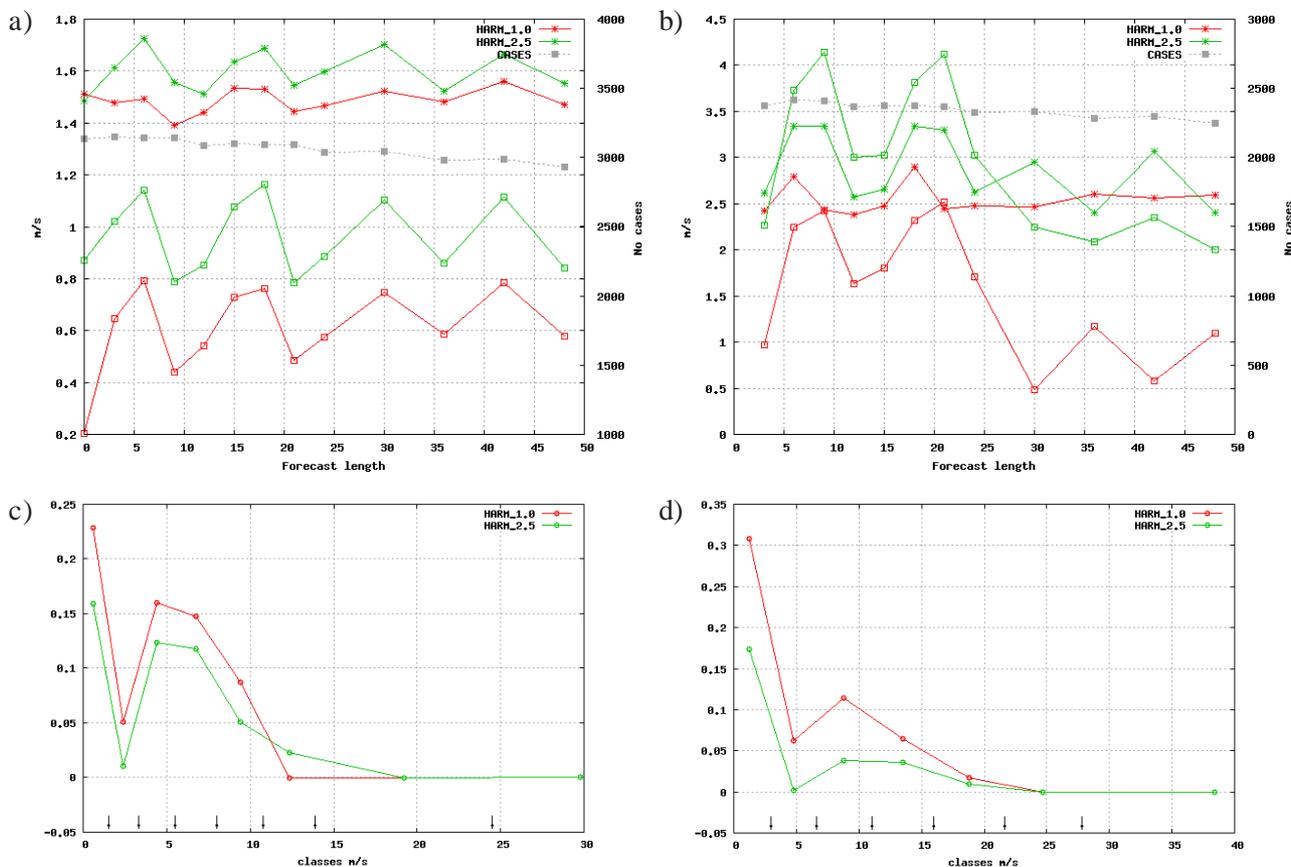


Figura 7. Verificación de vientos para mar Mediterráneo, agosto de 2018.
HARM-AROME 1,0 (rojo) y HARM-AROME 2,5 (verde).

a) STDV y sesgo U10m, b) STDV y sesgo racha máxima de vientos, c) ETS U10m y d) ETS rachas.

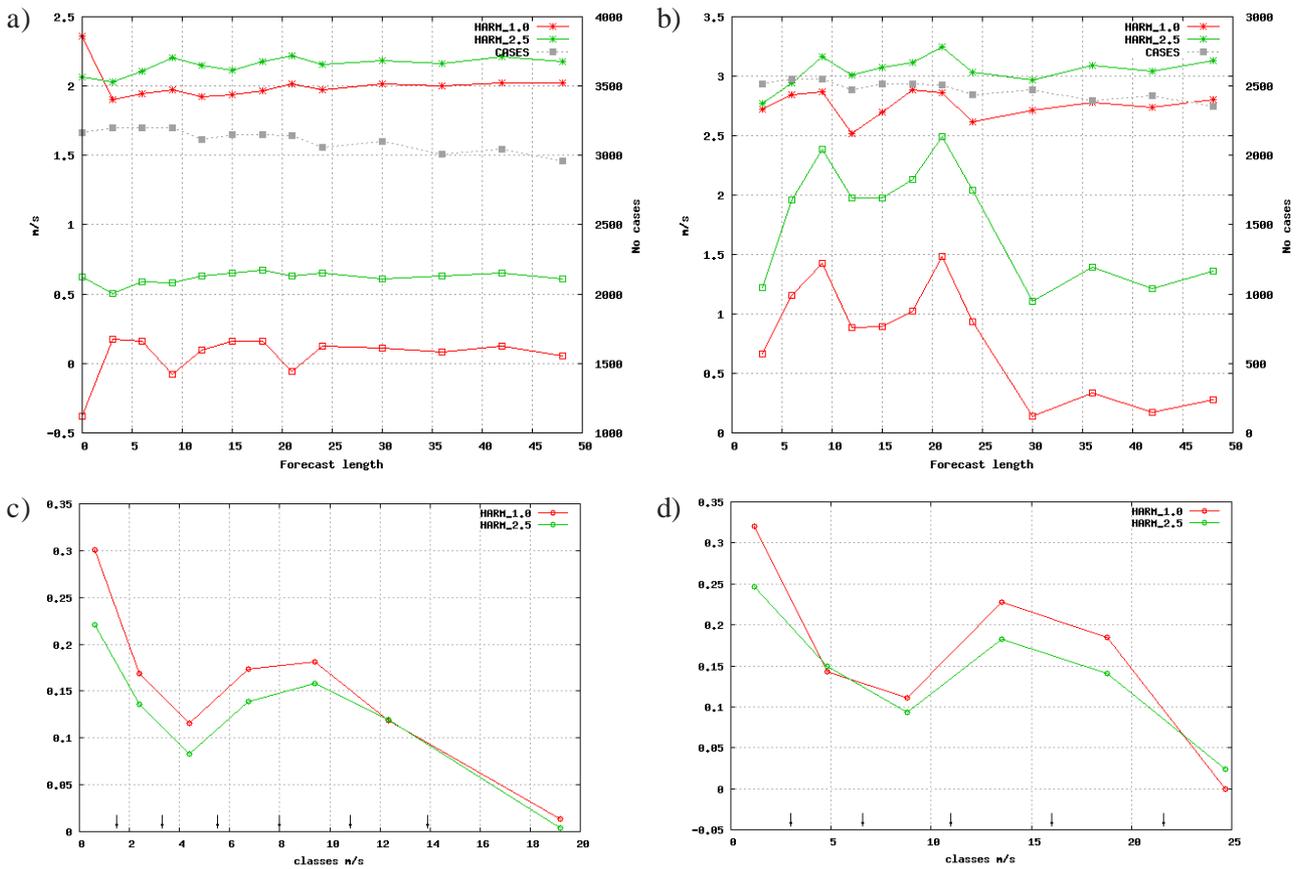


Figura 8. Verificación de vientos para islas Canarias, agosto de 2018. Leyenda como en la figura 7.

4. CONCLUSIONES

Tanto los resultados de verificación como la comparativa de situaciones concretas confirman que la configuración elegida para el modelo HARMONIE-AROME a 1,0 km de resolución da lugar a una mejora general en la predicción respecto a la configuración operativa de 2,5 km; especialmente para el viento a 10 metros. Esta mejora de la predicción del viento está asociada a una reducción de la sobreestimación actual, sin perjuicio en la correcta captura y representación de los vientos más intensos. Además, los resultados cuantitativos se acompañan de un mayor nivel de detalle y riqueza dinámica en las salidas asociada a la mayor resolución horizontal (figura 9).

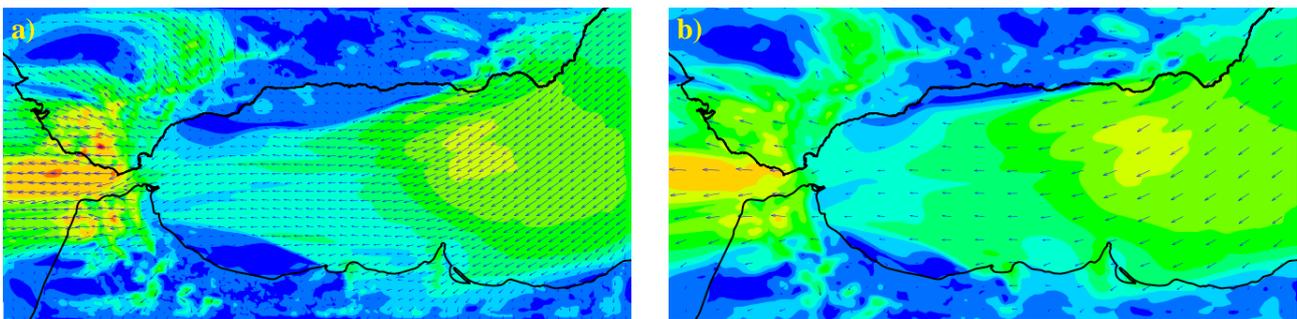


Figura 9. Predicciones del viento a 10 m de la pasada 20180919_00 con un alcance de 10h, válidas para el 19 septiembre 2018 a las 10 UTC: a) HARMONIE-AROME 1,0km y b) HARMONIE-AROME 2,5 km. En ambas imágenes solo se representan uno de cada ocho símbolos de viento.

El trabajo realizado, una primera aproximación a la muy alta resolución, desarrollado en el entorno de un proyecto muy claramente definido y con un objetivo muy concreto, ha alcanzado con creces los objetivos marcados para la diseminación de predicciones de alta resolución y calidad en las ubicaciones de interés establecidos en el proyecto SAMOA. Sin embargo, a nivel de desarrollo del modelo, quedaría mucho trabajo por realizar; como la ampliación del dominio para cubrir todo el territorio nacional, el desarrollo de un análisis, la realización de estudios más técnicos sobre el comportamiento de los espectros que permitan entender mejor el modelo y, quizás, poder optar por estrategias que mejoren la modelización acorde con nuestros objetivos y la integración de las mejoras continuas en la física y la dinámica en las que la comunidad HIRLAM-ALADIN trabaja permanentemente. También se podrían utilizar otras herramientas de verificación que no sean punto a punto, con su doble penalización, como por ejemplo el SAL, basada en medir la bondad de la predicción de un fenómeno respecto a la realidad mediante comparaciones de la estructura, amplitud y localización del mismo; lo que tiene mucho más sentido que la verificación tradicional, especialmente para variables discretas como la precipitación.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al personal del Área de Modelización por su apoyo y colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- BENGTSSON, L., ANDRAE, U., ASPELIEN, T., BATRAK, Y., CALVO, J., DE ROOY, W. C., GLEESON, E., HANSEN-SASS, B., HOMLEID, M., HORTAL, M., IVARSSON, K., LENDERINK, G., NIEMELÄ, S., NIELSEN, K. P., ONVLEED, J., RONTU, L., SAMUELSSON, P., SANTOS MUÑOZ, D., SUBÍAS, A., TIJM, S., TOLL, V., YANG, X. y ØDEGAARD KØLTZOWB, M., 2017. The HARMONIE-AROME Model Configuration in ALADIN-HIRLAM NWP System. *Monthly Weather Review*, 145, 1919-1935.
- BROUSSEAU, P., BERRE, L., BOUTTIER, F. y DESROZIERS, G., 2011. Background-error covariances for a convective-scale data-assimilation system: AROME-France 3D-Var. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 409-422.
- DANIELSON, J. y GESCH, D., 2011. Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010). U.S. Geological Survey Technical Report, Open-File Report 2011-1073, 26 pp.
- DE ROOY, W. C., 2014. The fog above sea problem: Part 1 analysis. *ALADIN-HIRLAM Newsletter*, 2, 9-15.
- DE ROOY, W. C. y DE VRIES, H., 2017. Harmonie verification and evaluation. *HIRLAM Technical Report*, 70.
- LAURITZEN, P. H., JABLONOWSKI, C., TAYLOR, M. A. y NAIR, R. D., 2011. Numerical Techniques for global atmospheric models. *Lecture Notes in Computational Science and Engineering*, Springer, vol. 80, p. 556.
- LENDERINK, G. y HOLTSLAG, A. A. M., 2004. An updated length-scale formulation for turbulent mixing in clear and cloudy boundary layers. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 130, 3405-3427.
- O'BRIEN, E., 2012. Numerical stability and kinetic energy spectra in high-resolution HARMONIE. *HIRLAM Newsletter*, 59, 27-32.
- SEITY, Y., BROUSSEAU, P., MALARDEN, S., HELLO, G., BERNARD, P., BOUTTIER, F., LAC, C. y MASSON, V., 2011. The AROME-France convective-scale operational model. *Monthly Weather Review*, 139, 976-991.
- VANÁ, F., BÉNARD, P., GELEYN J., SIMON, A. y SEITY, Y., 2008. Semi-Lagrangian advection scheme with controlled damping: An alternative to nonlinear horizontal diffusion in a numerical weather prediction model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134, 523-537.