

Sistemas de *nowcasting* en los SMN europeos

LUIS BAÑÓN

Definición de *nowcasting* y sus singularidades

La Organización Meteorológica Mundial define el *nowcasting* como la predicción del tiempo con detalle local, desde la mesoescala hacia escalas menores, por cualquier método, desde el presente hasta las primeras 6 horas, incluyendo una detallada descripción del estado del tiempo presente. La extensión del *nowcasting*, o predicción inmediata, hasta las 6 horas está relacionado con el desarrollo de sistemas denominados sin costuras, implementados en varios Servicios Meteorológicos Nacionales, SMN.

Para elaborar predicciones con tan alta resolución espacial y temporal, las herramientas deben apoyarse en las observaciones intensivas, como las obtenidas desde radares, satélites o detectores de descargas eléctricas. Estas herramientas incorporan técnicas de persistencia, métodos estadísticos, heurísticos, de análogos, o están apoyadas en inteligencia artificial. En la vigilancia meteorológica, que es el diagnóstico tridimensional de la atmósfera continuado en el tiempo, el predictor hace uso de todas las técnicas y sistemas disponibles, además de su experiencia y el conocimiento de la atmósfera.

Los modelos numéricos de predicción del tiempo, NPT, resuelven con pericia el comportamiento del tiempo en las primeras horas de predicción. Sin embargo, las técnicas de *nowcasting*, como las basadas en la extrapolación, muestran mejores resultados que los modelos NPT en la predicción de la primera hora y, en ocasiones, más allá. Esta circunstancia obliga a la convivencia de ambos métodos en la predicción del tiempo de las primeras horas.

El Programa de *Nowcasting* de EUMETNET

EUMETNET es una comunidad cuyos miembros son los SMN europeos, y en 2013 implementó un programa para coordinar e impulsar las actividades de *nowcasting* entre sus miembros. La pri-

mera fase, que se denominó *Nowcasting Activity*, se centró en elaborar un inventario de las actuales prácticas y requerimientos de *nowcasting* entre los miembros. En 2015 comenzó la segunda fase del programa, denominada *ASIST (Application oriented analysis and very short range forecast environment)*, que extendió sus objetivos desde el puro *nowcasting* a la predicción a muy corto plazo, de 0 a 12 horas. El principal objetivo de *ASIST* fue el intercambio de conocimientos y experiencias en el desarrollo, implementación y verificación en estos rangos de predicción. En 2019, una nueva fase, denominada *EUMETNET Nowcasting*, E-NWC, amplió sus objetivos a los sistemas de *nowcasting* sin costuras.

Desde el comienzo de estos programas, AEMET ha formado parte activa de ellos, liderando áreas de trabajo, participando activamente en el grupo de expertos, y estando presente en las ediciones bienales de la Conferencia Europea de *Nowcasting*, siendo anfitriona en 2019.

Tipos de sistemas de *nowcasting*

Los sistemas o herramientas de *nowcasting* pueden clasificarse desde distintos puntos de vista. En este artículo, se hará distinción entre los sistemas orientados a objetos convectivos detectados con radar, satélite o rayos; los sistemas orientados a campos, tanto radar como satélite, deterministas o probabilistas; los propios modelos numéricos de *nowcasting*; y los sistemas que integran los anteriores, llamados sin costuras, tanto deterministas como probabilistas.

Sistemas de *nowcasting* orientados a objetos convectivos

Un objeto convectivo es una nube, principalmente un cumulonimbo, con elevado contenido de gotas de agua de tamaño precipitable, lo que se mostrará en altos valores de la reflectividad de los ecos emitidos por los radares meteorológicos. Los cumulonimbos tienen los to-

pes nubosos muy fríos, lo que quedará reflejado como bajas temperaturas de brillo medidas desde los satélites meteorológicos geostacionarios. En el caso de tormentas, la actividad eléctrica quedará reflejada en la red de observación de descargas. Para cada uno de estos sistemas de observación, se establecen unos valores umbrales para seleccionar los objetos convectivos (por ejemplo: reflectividad mayor a 35 dBZ, temperatura de brillo menor de -20 °C, o presencia de rayos). Una vez considerada la nube como objeto, en las siguientes exploraciones radar, satélite o de descargas, el sistema prestará atención a la posición del objeto identificado, infiriendo de sus sucesivas posiciones su velocidad de desplazamiento. Posteriormente, se extrapola la posición del objeto, normalmente en las siguientes una a dos horas, aplicando el vector de desplazamiento al centroide del objeto. En general, la extrapolación no conlleva cambios en las características del objeto convectivo.

La mayoría de los SMN europeos disponen de sistemas de identificación, seguimiento y extrapolación de objetos convectivos, y combinan la información radar con la de descargas, apoyándose en la aportada por los modelos NPT, usando las imágenes de satélite como respaldo. AEMET desarrolló YRADAR3D, que analiza todos los niveles verticales explorados por el radar (frente a otra herramienta 2D que analiza solo la exploración más baja del radar) para caracterizar la potencial adversidad de la célula, incluyendo la probabilidad de granizadas. Météo-France dispone de la herramienta 2D *OPIC-RADAR*¹ que, además de prever zonas con fuertes precipitaciones, combina los datos doppler del radar, con los previstos de helicidad, para estimar las rachas máximas esperables en superficie asociadas a las células. El SMN alemán utiliza *KONRAD3D*², que, además de granizo y rachas fuertes de viento, diagnostica acumulaciones elevadas de lluvia en células de lento movimiento o superposición de estas. Actualmente, disponen de una versión probabilística llamada

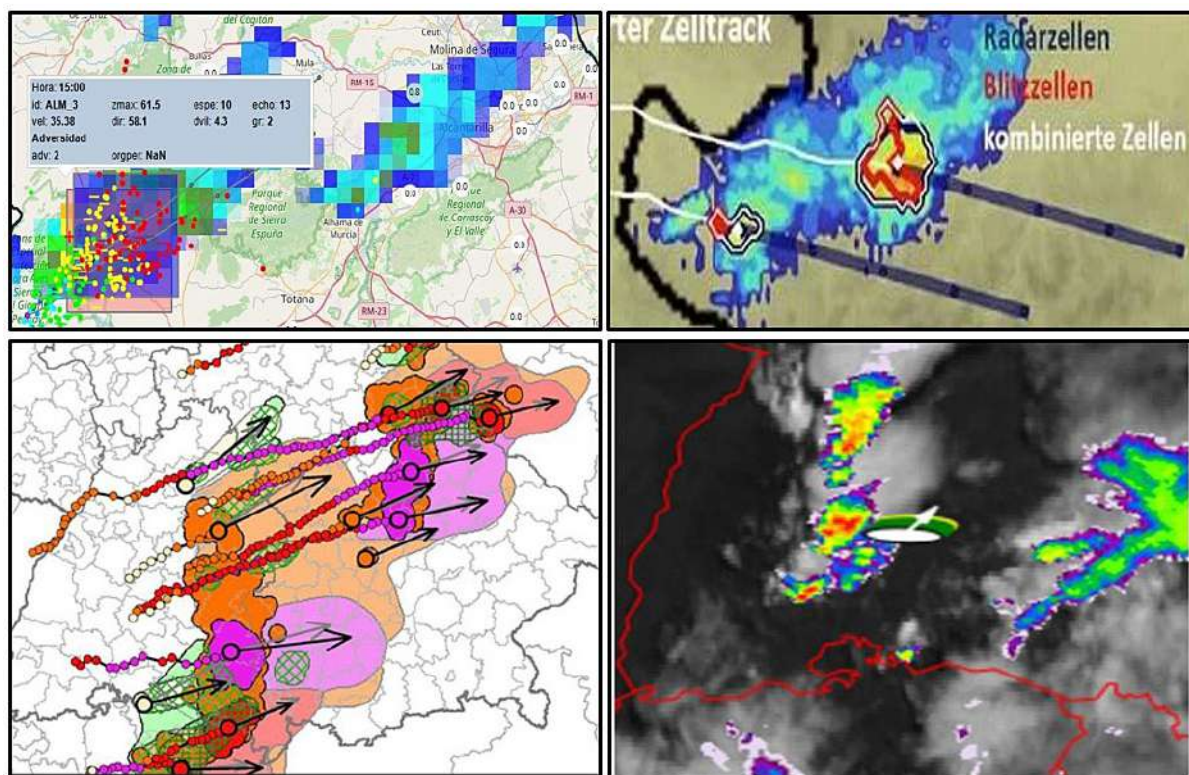


Figura 1. Arriba izquierda, producto YRADAR3D de AEMET. Arriba derecha, A-TNT austriaco. Abajo derecha, COALITION-3 de MeteoSwiss. Abajo izquierda, NowCastMIX del DWD alemán.

KONRAD3D-EPS. A-TNT es el nombre del sistema austriaco, basado en tres diferentes rutinas, una para identificar, seguir y extrapolar los objetos detectados en radar, otra para los objetos de rayos, y una tercera para combinarlos.

Otros sistemas europeos orientados a objetos convectivos tienen como principal fuente de observación las imágenes satelitales. El NWCSAF³ (*Nowcasting Satellite Applications Facilities*, de EUMETSAT) ha desarrollado el producto RDT para el diagnóstico de la precipitación convectiva que, con umbrales adaptativos, analiza las temperaturas de brillo de los topos nubosos y detecta rápidamente el inicio, desarrollo y desplazamiento del objeto. MeteoSwiss, el SMN suizo, desarrolló COALITION-3⁴ para analizar y seguir las nubes convectivas en la zona de los Alpes. El sistema utiliza técnicas de *Machine Learning* con datos históricos de radar, satélite y rayos como predictores, ayudándose de un modelo NPT para prever la potencial severidad de la nube en los siguientes 45 minutos. El IAFMS italiano desarrolló con esta técnica un producto similar llamado NEFODINA⁵, usando tan solo como predictores datos satelitales,

y estimando la intensidad del sistema en los siguientes 15 minutos.

Los objetos convectivos son también seguidos con los sistemas de detección de descargas eléctricas, usando técnicas de agrupamiento de los rayos. AEMET, al igual que otros SMN, ha desarrollado para sus usuarios aeroportuarios unos avisos automáticos de llegada inminente de una tormenta, intersectando la extrapolación del objeto de rayos con el área del aeropuerto.

La mayoría de los citados sistemas ofrecen información de la célula de manera determinista. Sin embargo, son varias las herramientas que añaden incertidumbre a la posición, al desplazamiento o a la intensidad de la célula en el proceso de extrapolación. El producto CellMOS⁶ del SMN alemán utiliza las ecuaciones de regresión obtenidas con técnicas MOS, *Model Output Statistic*, para predecir áreas con distintas probabilidades de granizo, rayos, y rachas o precipitaciones fuertes. Los objetos convectivos detectados en CellMOS y en KONRAD3D, más datos complementarios de radar, rayos, satélite y modelos NPT, son introducidos en un avanzado sistema de emisión de po-

lignos de aviso por fenómenos adversos asociados a la convección llamado NowCastMIX⁷, que combina la información mediante lógica difusa. AEMET dispone de un producto experimental para los usuarios aeronáuticos que, a partir de los objetos satelitales en RDT, muestra niveles de probabilidad sobre dónde encontrarlos en la siguiente hora.

Sistemas de nowcasting orientados a campos radar y satélite

Muchos SMN europeos, en respuesta a las crecientes necesidades de los usuarios, han desarrollado herramientas que extrapolan el mosaico de la red de radares para el nowcasting de la precipitación, o de las imágenes de satélite para el de la nubosidad y radiación.

El SMN francés dispone del sistema 2PIR, que utiliza una rutina de advección denominada semi-lagrangiana que, aplicada al mosaico de radares nacional, prevé, cada 5 minutos, la precipitación en los siguientes 70 en casi cualquier localidad de Francia. Para reducir las limitaciones de este tipo de productos, falsos ecos,

¹ Chèze J., et al. Radar-based products for nowcasting in France. RAINGAIN, 2014.

² ECSS2023-150_presentation.pdf (copernicus.org)

³ NWC/GEO (Geostationary) Near Real Time v2021 - NWCSAF

⁴ COALITION-3 - MeteoSwiss (admin.ch)

⁵ Approfondimento Nefodina | Meteo Aeronautica Militare (meteoam.it)

⁶ Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Nowcasting applications - Thunderstorm detection and forecasting system (CellMOS) (dwd.de)

⁷ James P., et al. 2018. NowCastMIX: Automated Integrated Warnings for Severe Convection on Nowcasting Time Scales. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0038.1>

Sistemas de nowcasting en los SMN europeos

realces orográficos o movimientos anómalos, *Météo-France* está implementando técnicas de *Deep Learning*. *PySTEPS*⁸ es un proyecto de código abierto para el nowcasting probabilístico de la precipitación, que aplica filtros en cascada, extrapola solo las formas más grandes, y genera ensembles (conjunto de predicciones a partir de ligeras modificaciones) de nowcasting mediante procesos estocásticos. Varios SMN, tienen implementado *pySTEPS*. El SMN alemán, DWD, emplea un sistema de extrapolación del campo radar llamado *RADVOR*⁹ que, además de la predicción en 120 minutos a intervalos de 5, suma la precipitación previa estimada por el radar a la prevista en el nowcasting, emitiendo avisos de acumulación en intervalos horarios.

Los productos *EXIM* del *NWCSAF* son buen ejemplo del nowcasting de la nubosidad mediante la extrapolación de imágenes de satélite. *EXIM* obtiene el campo de vientos comparando imágenes sucesivas, y extrapola hasta los 60 minutos a intervalos de 15.

Modelos NWP de nowcasting

Algunos modelos NPT se están adaptando a las necesidades del nowcasting, con predicciones de gran detalle espacio-temporal en las primeras 6 horas. Estos modelos están basados en los de mesoescala no hidrostáticos, de los que toman sus condiciones de contorno y la primera estimación, diferenciándose de estos en la menor duración de la ventana de observación, en la asimilación de observaciones extra como las de radar, en su mayor resolución espacial, y en ejecuciones más frecuentes, al menos cada hora. La pericia de estas predicciones supera al de la extrapolación hacia el final del rango del nowcasting.

Para capturar la incertidumbre asociada a la predicción de estos modelos, algunos SMN europeos combinan, para un mismo momento de predicción, los

resultados de las ejecuciones del modelo de las horas anteriores, a modo del llamado ensemble de hombre pobre. Otros optan por combinar las salidas de diferentes modelos, o aplicar técnicas estadísticas, incluida la inteligencia artificial, para generar miembros de un ensemble.

Sistemas sin costuras: deterministas y probabilistas

Como ya se ha comentado, las técnicas de nowcasting más tradicionales basadas en la extrapolación tienen gran pericia en los primeros momentos de la predicción, mientras que los modelos NPT de nowcasting son mejores tras estos. Para disponer de la mejor predicción en cada momento, sin sufrir discontinuidades en valores, resoluciones, o formatos, se han desarrollado los sistemas de nowcasting sin costuras, en los que la predicción es la suma de los valores de la extrapolación multiplicados por un coeficiente, digamos α , más los valores del modelo NPT multiplicados por $1-\alpha$, siendo α igual a 1 en los primeros momentos y disminuyendo con el tiempo de predicción, anulándose, frecuentemente, hacia las 6 horas de predicción.

*PIAF*¹⁰ es el sistema de nowcasting sin costuras de la precipitación de *Météo-France*, y, teniendo en cuenta la irregular orografía del país, divide el mosaico nacional radar en seis partes. El sistema analiza la pericia de las extrapolaciones previas en cada parte del mosaico, otorgando diferentes valores iniciales al coeficiente α . *PIAF* fusiona el citado producto *2PIR* con la precipitación resuelta por un modelo NPT de nowcasting. *Météo-France* está trabajando en una versión probabilística, *PIAF-EPS*, considerando perturbaciones espaciales en la extrapolación radar. El ensemble así formado se ensamblará con otro de hombre pobre. *INCA*¹¹, desarrollado principalmente por el SMN austriaco e implementado en

una docena de SMN europeos, no se limita al nowcasting de la precipitación. Al igual que *PIAF*, ensambla la extrapolación del campo radar con la predicción de un modelo NPT de nowcasting, pero, además, extrapola la imagen de satélite para ensamblarla con la nubosidad prevista por el modelo y así predecir con detalle la nubosidad y radiación. Complementariamente a estas variables, *INCA* realiza análisis detallados de temperatura, humedad o viento, y sus evoluciones son dependientes de las tendencias indicadas por el modelo. Existe una versión probabilística en pruebas llamada *En-INCA*. El SMN de Hungría desarrolló el sistema sin costuras *MEANDER*¹², con nowcasting de varias variables en las primeras tres horas, incluyendo un proceso de emisión de avisos para la ayuda a la toma de decisiones.

Para ciertos usuarios, la evolución de la radiación con gran detalle temporal resulta de especial interés. Son varios los SMN europeos con sistemas de nowcasting sin costuras que ensamblan la nubosidad satelital extrapolada con la prevista por el modelo, y de ahí obtienen la predicción de la radiación en superficie, especialmente útil para plantas de energía solar y la agricultura. Buen ejemplo de estos sistemas es *SESORA*¹⁴ del DWD alemán, que, mediante modelos de transferencia radiativa, calcula la interacción de la radiación solar con la atmósfera, con la superficie terrestre y con las nubes ensambladas en el sistema.

El SMN finlandés desarrolló hace años el sistema *RAVAKE*¹⁵ para el nowcasting de la probabilidad de superación de umbrales de precipitación, obteniendo 51 extrapolaciones diferentes del campo radar. Para cada pixel, la rutina considera sus vecinos en una elipse en torno a él, aumentando sus ejes con el tiempo de extrapolación hasta un máximo de 6 horas a intervalos de 15 minutos. Todas estas extrapolaciones son conectadas con un ensemble de un modelo NPT de

⁸ [pySTEPS | the nowcasting initiative](#)

⁹ [Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Our services - RADVOR \(radar precipitation forecast\) \(dwd.de\)](#)

¹⁰ [SPDA2_Moisselin_3ENC2019.pdf \(aemet.es\)](#)

¹¹ Haiden T., et al. 2010. *Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA)*. [INCA_system.pdf \(zamg.ac.at\)](#)

¹² Horváth Á., et al. 2015. *MEANDER: The objective nowcasting system of the Hungarian Meteorological Service*. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service.

¹³ Lovat A., et al. 2022. *Hydro meteorological evaluation of two nowcasting systems for Mediterranean heavy precipitation events with operational considerations*. HAL open science.

¹⁴ Urbich I., et al. 2019. *The Seamless Solar Radiation (SESORA) Forecast for Solar Surface Irradiance-Method and Validation*.

<https://doi.org/10.3390/rs11212576>

¹⁵ [Heavy rainfall nowcasting \(RAVAKE\) - EnhANCing emergency management and response to extreme WeaTHER and climate Events » ANYWHERE - Products Catalogue \(upc.es\)](#)

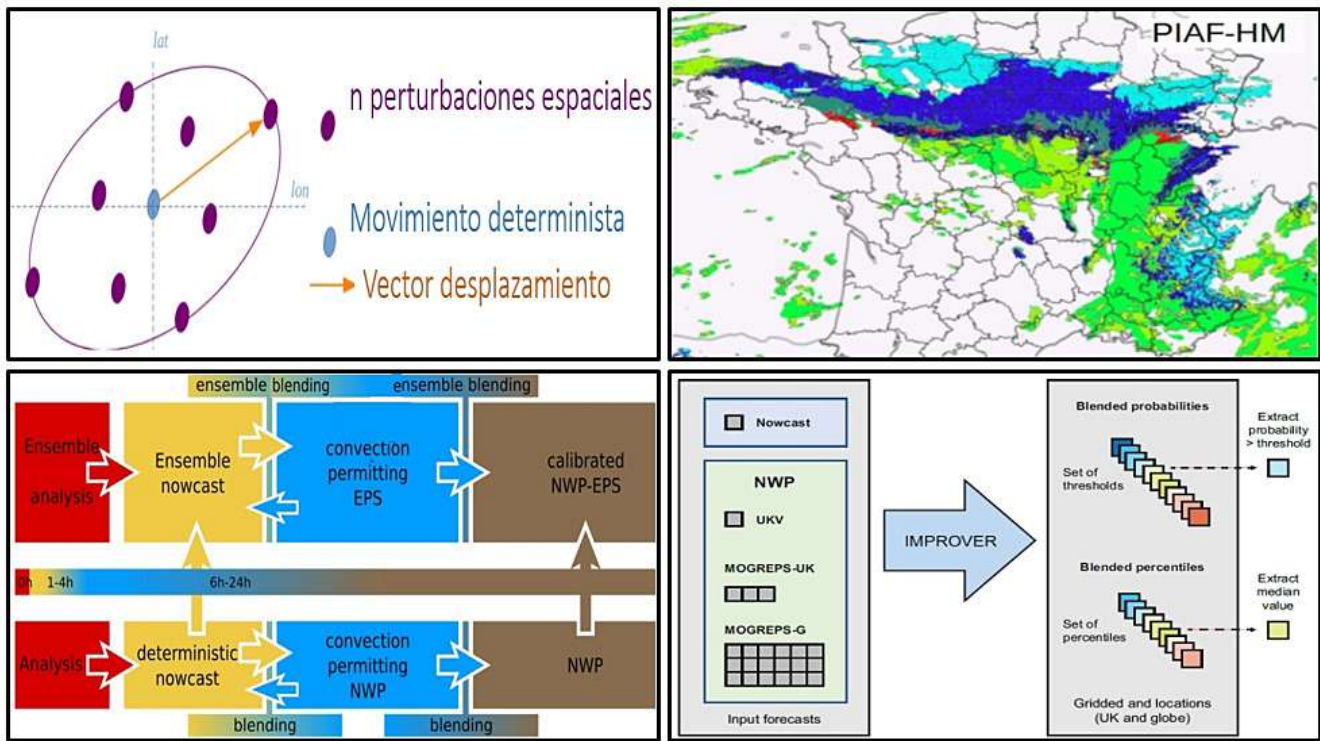


Figura 2. Arriba izquierda, esquema de las perturbaciones espaciales mencionadas en el texto. Arriba derecha, versión hidrológica del producto PIAF de Météo-France, con tipos de hidrometeoros¹³. Abajo izquierda, esquema del sistema SAPHIR de Geosphere Austria. Abajo derecha, esquema básico del sistema IMPROVER del MetOffice británico.

51 miembros, combinando los de hombre pobre con los obtenidos por métodos gaussianos. El SMN belga está desarrollando el proyecto *IMA* para la predicción probabilista, desde el nowcasting hasta las 24 horas. El producto, que está orientado a la hidrología y las energías renovables, combina *pySTEPS* para la precipitación, con el citado sistema *INCA* en su versión belga para el resto de variables. Por otro lado, el sistema cuenta con un ensemble de hombre pobre a partir de dos modelos NPT. *SAPHIR*¹⁶ es el sistema probabilístico sin costuras, a resolución de 1x1 km, que están desarrollando desde el SMN austriaco para el nowcasting, y predicción hasta las 72 horas, de varias variables. El sistema parte de un ensemble de análisis aplicando perturbaciones estocásticas a la observación. Para generar miembros del ensemble en la fase de nowcasting, el sistema aplica perturbaciones espaciales a los campos del producto *INCA*.

*SINFONY*¹⁷ es la denominación que dio el DWD alemán al sistema de nowcasting probabilístico sin costuras, orientado especialmente a eventos convectivos severos. La herramienta aplica *STEPS*

(original del citado *pySTEPS*) al mosaico radar, y extrapola, cada 5 minutos, un ensemble de estados que ensambla con los de un modelo NPT probabilístico de nowcasting. Simultáneamente, el sistema aplica el mencionado *KONRAD3D-EPS* a los objetos convectivos del ensemble extrapolado y del ensemble del modelo. A estos últimos, se les aplica previamente un operador para adaptarlos a cómo se observarían con un radar. Las incertidumbres de las células de ambas partes se ensamblan con métodos bayesianos.

MetOffice, el SMN británico, tras años usando *STEPS*, ha optado por rutinas más rápidas con el sistema *IMPROVER*¹⁸, consistente en una cadena de procesos probabilísticos para el nowcasting de la precipitación y de otras variables. El proceso, cada 15 minutos, extrapola el mosaico radar con una rutina basada en la denominada ecuación del flujo óptico. A cada paso del proceso, el sistema realiza verificaciones del nowcasting. Para ampliar los miembros con los que calcular probabilidades, *IMPROVER* usa el método de los vecinos espaciales, o temporales como el ensemble de hombre pobre.

Conclusiones

A pesar de las recientes mejoras en los modelos NPT, la pericia del nowcasting más tradicional, como la simple extrapolación, sigue superando en los primeros momentos de predicción a la pericia de los modelos, lo que obliga a la convivencia de ambos sistemas. Esta circunstancia hace que los usuarios demanden herramientas sin costuras que combinen ambos métodos. La necesidad de transmitir, en cada paso, la incertidumbre del nowcasting, invita a los SMN europeos a apostar por sistemas probabilísticos sin costuras. En el caso de la precipitación, aún se distinguen los sistemas probabilísticos orientados a objetos convectivos de los orientados al campo de precipitación radar. El siguiente paso de desarrollo apunta a la combinación de ambos enfoques. La aplicación de técnicas de inteligencia artificial (redes neuronales profundas, convolucionales, etc.), está aportando valor en cada uno de los procesos del nowcasting, lo que resulta prometedor ante los, cada vez más exigentes, requerimientos de los usuarios. Es tarea de los SMN europeos satisfacer tal demanda.

¹⁶ Wang Y., et al. 2017. Seamless probabilistic Analysis and Prediction in very High Resolution (SAPHIR). EMS Annual Meeting.
¹⁷ Blahak U. et al. 2023. *SINFONY – the Combination of Nowcasting and NWP on the Convective Scale at DWD*. Series of lectures E-NWC
¹⁸ Roberts N. et al. 2022. IMPROVER. The New Probabilistic Post processing System at the Met Office. BAMS.