

***Nowcasting*: características, técnicas, sistemas y retos.** **Proyecto ASIST de EUMETNET.**

Luis María Bañón Peregrín ¹⁾

⁽¹⁾ AEMET, Avda. Libertad 11 3017 Guadalupe, Murcia, lbanonp@aemet.es

1.- Introducción

Las escalas temporales y espaciales de los fenómenos meteorológicos están íntimamente relacionadas, y su duración depende de su tamaño: cuanto más grande sean, más tiempo permanecerán en la atmósfera. La predicción del tiempo a varios días tan solo puede enfocarse en los fenómenos de mayor escala, siendo poco predecibles en ese rango de predicción los fenómenos de pequeña escala. La predicción de estos últimos requiere una gran resolución espacial y temporal. Tal resolución solo es posible si la predicción parte de una descripción detallada del tiempo presente, como la que ofrecen los radares o satélites, y si se actualiza tras cada exploración (cada 5 a 10 minutos, si parte de datos radar, o cada 5 o 15 minutos, si parte de datos satelitales). Esta elevada frecuencia en su actualización, obliga a que las predicciones se elaboren en pocos minutos.

La predicción del tiempo de las primeras horas conlleva la de fenómenos de pequeña escala, y se resuelve desplazando el campo observado (radar, satélite, etc.) extrapolando el movimiento detectado en exploraciones anteriores. Esta técnica de predicción, denominada en algunos textos como advección empírica, puede estar orientada tanto al propio campo observado como a objetos dentro del campo, tales como elementos convectivos en radar, o nubosos en satélite. Esta “extrapolación de la observación” puede verse mejorada con la ayuda de modelos conceptuales y/o datos de modelos numéricos de predicción del tiempo (en adelante NPT) que aporten valor a la extrapolación. Este tipo de predicción se ha denominado tradicionalmente “inmediata” o *nowcasting* en inglés.

Los modelos NPT que tan solo servían de apoyo al *nowcasting*, han evolucionado hasta ofrecer información valiosa en el muy corto plazo. Ofrecen predicciones explícitas de alta resolución anidadas en otros modelos, asimilan observaciones detalladas y resuelven algunos fenómenos de pequeña escala; además, asumen predicciones probabilísticas mediante un conjunto de soluciones llamados *ensembles* (Wilson et al. 2006). Estas mejoras están

permitiendo considerar a los modelos NPT de mayor resolución como auténticas herramientas de *nowcasting*.

2.- Habilidad de las diferentes herramientas

En 1980, Browning planteó la habilidad que tenía cada técnica o sistema de predicción en función del rango de predicción. Esta idea conceptual ha sido confirmada posteriormente por diversos autores. En las primeras una a dos horas de predicción, la extrapolación de la observación supera en habilidad a los modelos NPT, disminuyendo esta pericia rápidamente en la predicción de las siguientes horas (ver Figura 1).

En el caso de fenómenos convectivos, la habilidad de la extrapolación decrece rápidamente, siendo muy escasa más allá de las dos horas, al no ser capaz de predecirse el inicio, evolución y variaciones de movimiento de los sistemas convectivos. Por su parte, los modelos NPT son menos hábiles en la predicción de la convección en las primeras tres horas, debido principalmente a la dificultad de estos de iniciar a tiempo el modelo partiendo de un campo detallado de precipitación (Wilson y Xu, 2006).

El número de horas para las que la predicción basada en extrapolación ofrece la mayor habilidad es variable. Más allá de las 3 a 6 horas de predicción, son los modelos NPT los que ofrecen mayor habilidad.

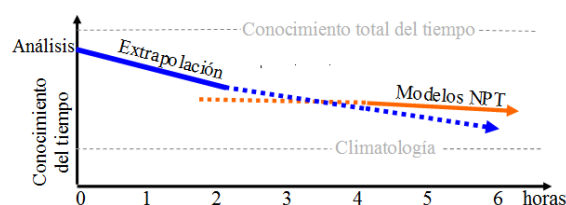


Figura 1. Modelo conceptual de la habilidad predictiva de la extrapolación de la observación y la de los modelos NPT. En el eje de abscisas, las horas de predicción, y en el de ordenadas, el conocimiento del tiempo o habilidad predictiva. La línea

horizontal superior indica el conocimiento total del tiempo en el futuro, mientras que la inferior indica la habilidad de la predicción basada tan solo en la climatología.

Las mejoras tanto en las técnicas de extrapolación como en los modelos NPT están estrechando el cerco a la predicción en esas horas en las que ambos sistemas son capaces de mostrar cierta habilidad.

3.- Extrapolando la observación

Las principales características y retos de la predicción por extrapolación de la observación son:

- La asunción de la persistencia lagrangiana, entendida esta como la suposición de que el campo observado (radar, satélite, etc.) mantendrá constante sus intensidades durante todo el período de predicción (de una hora, a intervalos de 10 minutos, en el caso de los productos DIAGNÓSTICO 2D y 3D de AEMET). Algunos sistemas de *nowcasting* orientados a objetos son capaces de distinguir fusiones y separaciones de células convectivas, sin embargo no son capaces de prever su inicio y disipación. Con el fin de mejorar la habilidad predictiva en, al menos, las primeras 3 horas, se han desarrollado herramientas como el *Auto-Nowcaster* del NCAR (EEUU), que utiliza toda la información disponible (algoritmos automáticos en radar, modelos PNT, e identificación del propio predictor) para detectar líneas de convergencia en la capa límite planetaria donde podrán formarse o intensificarse las nuevas células convectivas.
- El gran reto de este tipo de predicciones es la elección del vector de desplazamiento que, tradicionalmente, se obtiene por correlaciones cruzadas entre los campos observados en un tiempo t y los previamente observados. En el caso de la extrapolación de objetos, el vector velocidad suele inferirse de sus anteriores posiciones, tras el correspondiente proceso de asignación. Los modelos NPT aportan, cada vez más, valiosa información para el cálculo del desplazamiento.
- La precisión de la predicción basada en la extrapolación de la observación depende, entre otros, de la propia precisión de los campos iniciales, del grado de organización del elemento a predecir (especialmente en el caso de la precipitación), de la intensidad del fenómeno (siendo más predecible cuanto mayor sea su intensidad), y del estado de evolución del fenómeno (siendo menos predecible en los estados iniciales y finales).
- Este tipo de advección empírica suele mejorar los resultados cuando se aplica a elementos meteorológicos de mayor escala. Esta

característica está siendo utilizada por algunos sistemas, como *STEPS* de *MetOffice* (Reino Unido), para la descomposición de las imágenes radar en diferentes escalas, la obtención de vectores de desplazamiento de las estructuras de mayor escala, y su posterior advección, despreciando el movimiento de los elementos de menor escala al ser estos impredecibles (*Nowcasting* en *MetOffice*).

4.- *Nowcasting* basado en modelos NPT.

Tradicionalmente, los modelos NPT se han utilizado en el *nowcasting* como apoyo en la advección y aportando información complementaria.

En general, la habilidad de los modelos NPT en las primeras horas de predicción (de 3 a 6 horas) aumenta con el tamaño del elemento a predecir. Mejorar esa habilidad predictiva pasa a abordar los siguientes retos:

- Las nuevas fuentes de datos meteorológicos: observaciones desde aeronaves (*ACARDS*), radares con mayor resolución, doble polaridad e información Doppler, medidas de humedad con receptores GNSS, mayor resolución satelital y sus productos derivados (*NWCSAF*), etc.
- La asimilación de datos, maridaje sinérgico entre la observación y el modelo NPT (Mass, 2011), que está consiguiendo, cada vez con más eficacia, extraer información de la observación manteniendo balanceado el modelo. Los modernos sistemas de asimilación encuentran las trayectorias del modelo que mejor se ajustan a las observaciones durante una ventana de tiempo (4DVAR); o realizan muestreos aleatorios en la generación de *ensembles* iniciales, como ruido del modelo y en el cálculo de perturbaciones (EnKF), etc.
- El conocimiento en profundidad de los procesos físicos en las escalas del *nowcasting*.
- Los tecnológicos y de computación.

Para que los modelos NPT puedan ofrecer el detalle espacial requerido en el rango de predicción de las primeras horas, deben asimilar datos muy detallados, especialmente los procedentes del radar y/o satélite. En el proceso de asimilación, cuanto más se ajuste el modelo NPT a los datos observados, más desbalanceado podrá quedar dicho modelo para una adecuada predicción más allá del período de *nowcasting*. Por otro lado, semejante asimilación de datos conlleva un alto coste computacional, que se refleja en un retraso vital en el suministro de una predicción tan perecedera. Estos elementos hacen que, según varios autores, la predicción basada en la extrapolación seguirá superando en habilidad a los modelos NPT durante, al menos, el próximo lustro.

5.- Los usuarios necesitan predicción sin costuras.

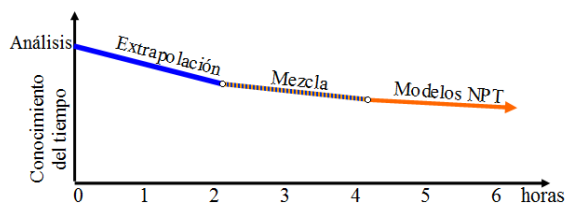


Figura 2. Modelo conceptual de la habilidad predictiva de la extrapolación de la observación, de los modelos NPT, y de la mezcla (o blending) de ambos sistemas.

La predicción meteorológica de las primeras horas puede abordarse desde distintos sistemas de predicción. Cada sistema preverá valores distintos para la misma variable en un mismo punto y rango de predicción. Sin embargo, para el uso óptimo de esas predicciones, estas deben presentarse “sin costuras” (*seamless*, en inglés), independientemente del sistema que las elabore: una única solución en cada momento. Esta necesidad ha alentado el desarrollo de métodos de unión o mezcla (*blending*, en inglés) de lo mejor, en cada momento, de cada sistema. Estos métodos suelen ponderar el valor de la extrapolación con el de los modelos NPT en la zona de unas 2 a 6 horas de predicción, teniendo mayor peso la extrapolación en las primeras horas, y el modelo en las últimas (ver Figura 2). Buen ejemplo de mezcla de sistemas es el INCA desarrollado por el ZAMG (Austria) y utilizado en más de diez Servicios Meteorológicos Nacionales (en adelante SMN), así como el MEANDER del OMSZ (Hungria), solo para precipitación.

Un caso singular de *blending* es el utilizado en NIWOT del NCAR por el que, ante la presencia de ecos convectivos en el radar, el sistema va extendiendo espacialmente los ecos en cada paso de la extrapolación, siempre y cuando el modelo NPT muestre convección en el entorno a esas horas.

6.- Los usuarios necesitan información sobre la fiabilidad de la predicción.

La complejidad de los sistemas meteorológicos, así como las limitaciones técnicas y computacionales, obligan a que algunos de los procesos meteorológicos solo puedan expresarse de manera aproximada en los sistemas de predicción (*ECMWF*, 2016). A la vista de estas aproximaciones, la manera de hacer predicciones más fiables es mediante métodos heurísticos (en el caso de la extrapolación) y *ensembles* (en la extrapolación y en los modelos NPT), ya que tienen en cuenta tanto la incertidumbre de las observaciones o condiciones iniciales, como las de las técnicas de extrapolación y las propias del modelo NPT (ver Figura 3).

En el caso de los sistemas de predicción por extrapolación, la mayor parte de la incertidumbre proviene de los errores y estimaciones de la observación (relación Z-R en radar, filtros, etc.), el diagnóstico del vector velocidad de desplazamiento del campo observado, y la propia suposición lagrangiana que no tiene en cuenta la intensificación o disipación de los elementos meteorológicos. En la primera hora de predicción, la principal fuente de errores proviene del vector de desplazamiento, lo que ha llevado al desarrollo de diversos métodos heurísticos que incluyen conocimientos previos en forma de modelo conceptual o estadísticos, como la minería de datos, la inteligencia artificial y la lógica difusa (*WWRP/NWG*, 2004). En algunos sistemas, para obtener un rango de posibilidades de desplazamiento de la observación, se aplican directamente errores estocásticos al vector velocidad. Otros sistemas, principalmente enfocados a la advección empírica de la precipitación radar, utilizan como posibles vectores de desplazamiento los calculados en intervalos anteriores de tiempo o, simplemente, consideran las intensidades de precipitación de píxeles cercanos ($2\pi R$ de Météo-France, Francia), píxeles viento atrás (TULISET del FMI, Finlandia), o perturban la observación para obtener una distribución de probabilidad de precipitación en cada punto.

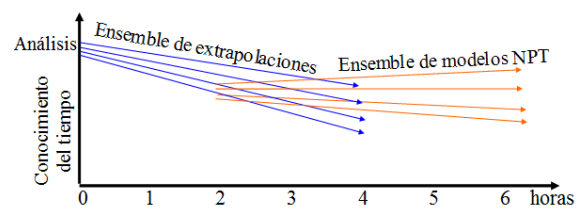


Figura 3. Modelo conceptual de la habilidad predictiva de un ensemble (o método heurístico) de extrapolaciones de la observación, y de un ensemble de los modelos NPT.

Por su parte, las fuentes de incertidumbre en los modelos NPT provienen de la diferente precisión y cobertura de las distintas observaciones meteorológicas, la obligación de resolver los procesos físicos y dinámicos discretizando el espacio y el tiempo, la respuesta no lineal de la atmósfera a las pequeñas perturbaciones, y los ciclos de integración restrictivos, que son mayores que los ciclos de vida de fenómenos tales como la convección (Pierce et al. 2012). El manejo de la incertidumbre en la predicción con modelos NPT pasa por generar *ensembles* provocando perturbaciones en las observaciones, en el análisis, con sistemas multi-físicas, multi-modelo, multi-condiciones de contorno, etc. La dispersión (*spread*, en inglés) de los *ensembles* cuantifica la incertidumbre de la predicción, y su fiabilidad.

7.- Los usuarios necesitan predicción sin costuras con información de su fiabilidad.

Los usuarios necesitan conocer en cada momento (desde minutos a más de 6 horas de predicción) la probabilidad de que una variable meteorológica supere un umbral determinado (ver Figura 4). Algunos sistemas de predicción inmediata y muy corto plazo ya ofrecen productos probabilísticos sin costuras. En ellos, en cada punto de grid se consideran los diferentes valores ofrecidos por cada sistema de predicción, y se combinan linealmente (En-INCA del ZAMG, aún con extrapolación “determinista” y *ensembles* del modelo), o en función de la calidad en cada momento de cada sistema (RAVAKE del FMI, para precipitación).

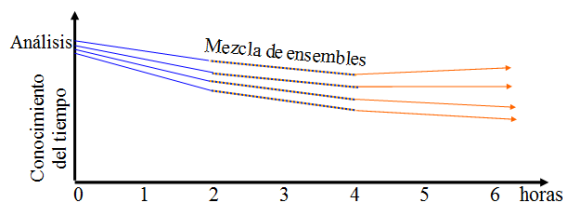


Figura 4. Modelo conceptual de la habilidad predictiva de un ensemble (o método heurístico) de extrapolaciones de la observación, de un ensemble de los modelos NPT y de la mezcla (o blending) de ambos ensembles.

9.- Claves para el futuro del *nowcasting* y la predicción a muy corto plazo.

En los últimos años, se ha avanzado en la mejora de los sistemas de *nowcasting*, quedando aún margen para la óptima extrapolación de la observación. Entre las posibles mejoras figura la adecuada combinación de la advección de campos con la de objetos, variando de una a otra en función de la situación meteorológica. Cualquier mejora del “músculo” o del “cerebro” de los radares meteorológicos implica una mejora en el *nowcasting* de la primera hora. El campo de viento Doppler del radar empleado para la advección empírica mejora los resultados frente a otros métodos (Pierce et al. 2012). Por otra parte, la combinación de productos satelitales y datos de modelos NPT ofrecerá interesantes posibilidades tales como *nowcasting* probabilístico del inicio de la convección (Mecikalski et al. 2015), o como la extrapolación del producto *Convective Rainfall Rate* del *NWCSAF* mediante vientos obtenidos del *High Resolution Wind (Extrapolated Imagery)*, etc.

La habilidad de gran parte de los sistemas de *nowcasting* basados en la extrapolación de la observación está limitada al ciclo de vida de las estructuras atmosféricas. El inicio y disipación de células convectivas seguirá planteando grandes retos. Sistemas expertos del tipo *Auto-Nowcaster* se plantean como una posibilidad en el *nowcasting* de

la convección más allá de la primera hora (Wilson et al. 2011).

Los nuevos sistemas de observación ofrecen muy valiosa información, aunque irregular en su formato, en su distribución espacial y en su frecuencia de observación. Los sistemas de predicción inmediata y a muy corto plazo mejorarán sus habilidades en la medida en la que estos datos vayan quedando disponible en tiempo y forma para su uso. La asimilación de toda esta nueva información por los modelos NPT se plantea como un verdadero reto, teniendo que extraerse del amplio abanico de observaciones la máxima información sin desbalanceo interno del modelo. Los modelos avanzan en su capacidad de asimilar observaciones de teledetección (radar, satélite, etc.), de ejecutar sus rutinas en ciclos cada vez más frecuentes (llegarán a ser comparables al de los ciclos de los fenómenos atmosféricos), y de ofrecer soluciones cada vez más rápidas. Actualmente, son varios los modelos NPT que asimilan datos, incluidos los del radar, con ciclos cada hora, y que ofrecen predicciones cada 15 minutos a resoluciones de unos 3 km (caso del *High Resolution Rapid Refresh* del NCEP). Mientras vaya llegando ese momento tendrán que convivir los sistemas de advección empírica y los modelos NPT en la predicción de las primeras horas (Pierce et al. 2012), lo que obliga a sistemas combinados que ofrezcan predicciones sin costuras.

Las mejoras de la predicción inmediata y a muy corto plazo, y su rápida disponibilidad, han aumentado la capacidad de los usuarios de evitar o adaptarse a los peligros del tiempo. Esta mayor capacidad debe alentar a los SMN a mejorar o desarrollar infraestructuras efectivas de *nowcasting* que liberen al predictor de otras tareas para que pueda dedicarle tiempo, tanto al *nowcasting* como al entrenamiento (Wilson et al., 2011). Debido a la naturaleza inmediata y perecedera de este tipo de predicciones, cada vez son más los sistemas que emiten avisos automáticos que, tras un corto tiempo de validación por el predictor, van directamente al usuario (*SIGOONS* de *MetèoFrance* y *NowCastMix* de *DWD*, Alemania, por ejemplo).

La información meteorológica suele tener elevado carácter técnico, no siendo siempre inmediata su interpretación. Este hecho, sumado al carácter perecedero del *nowcasting* obliga a realizar tareas multidisciplinares previas para aportar el máximo valor añadido a la predicción. Así, en el diseño y desarrollo de los sistemas de los SMN, y de las aplicaciones de los usuarios finales (referidas en ocasiones como *downstream applications*, en inglés), deben intervenir tanto los propios programadores de los sistemas de *nowcasting* como los predictores, los desarrolladores de productos para los servicios públicos del tiempo, los gestores de

desastres y los usuarios específicos (PWS Workshop, 2006). Una vez desarrollados los sistemas, resulta obligado llevar a cabo ejercicios de entrenamiento en el que intervengan todos los actores.

La reciente revolución de las plataformas móviles está acercando los productos de *nowcasting* a los usuarios finales, que ya no solo acceden a ellos ante tiempo adverso, sino que los incorporan en su toma rutinaria de decisiones. El amplio rango de necesidades de los usuarios, está impulsando la aparición de empresas de servicios privados con quienes los SMN tendrán que interactuar para suministrar *nowcasting* (Wilson, 2011).

9.- El papel de ASIST

Los desarrollos de los sistemas de predicción inmediata han sido llevados a cabo de forma aislada por cada SMN (*WWRP Nowcasting Working Group*, 2004). En los últimos años ha aumentado la colaboración regional y se han producido importantes avances, tanto en los sistemas de extrapolación como en los modelos NPT. Esta circunstancia ha llevado a la OMM a impulsar proyectos de estudios de tecnologías ya operativas (*Forecast Demonstration Project, FDP*), y de nuevos desarrollos (*Research Demonstration Project, RDP*) con el fin de avanzar en el estado del arte de la predicción inmediata y a muy corto plazo.

El proyecto ASIST (*Applications oriented análisis and very short range forecast environmenT*) está auspiciado por EUMETNET, y nació en 2016 aprovechando experiencias anteriores (*Nowcasting Activity*, 2013-2014). El proyecto ofrece un marco en el que abordar los temas más relevantes del *nowcasting* (partiendo de la observación) al muy corto plazo (finalizando en los modelos NPT), con especial atención a las necesidades de los usuarios (sus propias aplicaciones). ASIST pretende explorar el potencial de suministrar a los usuarios, *nowcasting* probabilístico y predicción por *ensembles* en el muy corto plazo, procurando dar recomendaciones para su implementación. Además, explorará el beneficio del intercambio de observaciones y predicciones (por ejemplo las orientadas a objetos) entre regiones y países limítrofes, y pondrá a prueba (*Testbed* en el *ESSL*) los diferentes sistemas europeos de *nowcasting*. El objetivo de ASIST es el de realzar la capacidad de los SMN en el *nowcasting* y la predicción a muy corto plazo, aportando una plataforma de expertos europeos que aborden los retos presentes y futuros.

Bibliografía

ECMWF: *Experts on model uncertainty chart way forward*. Nota de prensa del 20 de abril de 2016. www.ecmwf.int

Mass, Clifford: *Nowcasting: The Next Revolution in Weather Prediction*. Bulletin of the American Meteorological Society. 2011.

Mecikalski, J.: *Probabilistic 0-1-h Convective Initiation Nowcasts that Combine Geostationary Satellite Observations and Numerical Weather Prediction Model Data*. 2015.

Pierce, C., Seed, A., Ballard, S., Simonin, D. y Li, Z.: Capítulo 4, *Nowcasting*, del libro “*Doppler Radar Observations-Weather Radar, Wind Profiles, Ionospheric Radar, and Other Advanced Applications*”.. 2012.

Wilson, J. y Xu, M. (2006): *Experiments in Blending Radar Echo Extrapolation and NWP for Nowcasting Convective Storms*. Proceedings of ERAD 2006.

WWRP Nowcasting Working Group - COST 722. Joint Session. Presentación. 2004.

A Pilot Project on Nowcasting Techniques for PWS Applications. Concept paper. PWS Workshop on Warnings of Real-Time Hazards by Using Nowcasting Technology. 2006.

<http://www.metoffice.gov.uk/learning/science/hours-ahead/nowcasting>

<http://www.eumetnet.eu/nowcasting-activity>