

# REQUISITOS DE USUARIO PARA LOS SATÉLITES POST-MSG APLICADOS AL NOWCASTING Y PREDICCIÓN A MUY CORTO PLAZO

Jorge Tamayo Carmona

SED del CMT en Valencia. INM

## RESUMEN

El consejo de EUMETSAT ha iniciado las actividades preparatorias para planificar las misiones de los satélites geoestacionarios que sustituirán a la serie MSG, próxima a entrar en operación. Con este objetivo, se ha formado, entre otros, un grupo de trabajo dedicado al *Nowcasting* y predicción a muy corto plazo. Entre otras tareas, este grupo debe presentar cuáles son los escenarios previstos a medio y largo plazo (2015-2025) en la evolución de los diferentes sistemas utilizados en el *Nowcasting*, así como establecer una lista de las observaciones y parámetros que sean necesarios para tratar este tema. En este trabajo se presentan algunos de los resultados obtenidos por el grupo, señalando que servicios se pueden prestar en *Nowcasting* y predicción a muy corto plazo, así como que elementos son necesarios observar para ello y cual es su resolución espacio-temporal adecuada.

### 1. Introducción

El consejo de EUMETSAT ha iniciado una serie de actividades para preparar el programa de satélites geoestacionarios que sustituirán a la serie MSG (Meteosat de Segunda Generación), próxima a entrar en estado operativo. Entre aquellas, se incluye el realizar un proceso de consulta de usuarios, cuyo objetivo principal es establecer los requerimientos de usuario europeos para el *Nowcasting* y predicción a muy corto plazo (a partir de ahora, NWC), que sirvan como referencia para posteriores estudios científicos y técnicos, de forma que deriven en los requisitos finales de usuario. Para llevar adelante esta tarea, se ha formado un grupo de trabajo, entre los que se encuentra el arriba firmante, con el objeto de formular en primer lugar los requisitos, sin predeterminedar posibles soluciones o conceptos de la misión.

Como es bien sabido, el *Nowcasting* consiste en primer lugar en la descripción detallada del tiempo predominante y del estado de la atmósfera a escala local. Esto sirve como punto de partida para extrapolaciones y otros métodos de predicción más sofisticados con validez alrededor de hasta dos horas. Sin embargo, si se toma en un sentido más amplio, como es el de la predicción del tiempo a escala local hasta 6 horas y el refinamiento de la predicción hasta 12 horas, queda incorporado dentro de aquel la predicción a muy corto plazo. Este es el entorno en el que está trabajando el grupo mencionado, entre cuyos objetivos se encuentra el señalar los posibles escenarios que a medio y largo plazo (horizonte del 2025) habrá en la evolución de los sistemas de NWC y su uso en Europa, así como una lista de los observables y parámetros que sean necesarios para las diferentes técnicas.

### 2. Previsión de la evolución de las condiciones sociales y tecnológicas

Dados los objetivos del grupo de trabajo, en el que se quieren establecer las necesidades en NWC en el marco temporal del año 2025, es necesario plantearse en primer lugar cuál será la posible evolución en la demanda a los servicios meteorológicos, por lo que se necesita hacer una estimación sobre los posibles cambios sociales que pueden incidir en los requisitos en información meteorológica, además de como la evolución tecnológica prevista puede incidir sobre la misma.

#### 2.1 Previsión en los cambios sociales

Los cambios que pueden preverse dentro del horizonte temporal planteado en cuanto a la necesidad de información meteorológica precisa por parte de la sociedad en los plazos gobernados por el NWC, pueden venir dados por diferentes causas, como son algunas de las que se presentan a continuación.

El calentamiento global puede dar lugar a un incremento en los fenómenos adversos en determinadas zonas, por lo que si este tipo de problemas ocurre con mayor frecuencia, la población tenderá a hacerse

más receptiva a los sistemas de avisos, haciendo que las predicciones sean más valiosas, incluso para muy cortos plazos de tiempo

La contaminación atmosférica, principalmente la proveniente de los medios de transporte, está prevista que tienda a aumentar dado el crecimiento del parque móvil, por lo que los avisos de situaciones de riesgo de elevados niveles de polución y las predicciones que permitan establecer las estrategias de control tenderán a convertirse en cada vez más importantes.

Los vertidos tóxicos accidentales han incrementado su frecuencia, tanto en tierra como en el mar, durante los últimos años, dado el incremento que está habiendo en el transporte de estas sustancias, con la previsión de que continúe creciendo en los próximos años. Por otro lado, la necesidad de proteger el entorno medioambiental, llevará a un incremento en la demanda de la detección de los lugares en los que se producen vertidos tóxicos, así como la predicción sobre el desplazamiento de los mismos.

El urbanismo presenta la tendencia a continuar desarrollando mega-ciudades, de manera que la población tiende a perder la percepción del impacto que puede tener sobre ella el tiempo adverso, siendo especialmente vulnerable cuando viaja, por lo que se requerirá cada vez un mayor esfuerzo en el control del tráfico, sobre todo en situaciones meteorológicas adversas.

Cada vez son más diversas las actividades al aire libre que se realizan en el uso del tiempo del ocio, presentando una gran dependencia de las condiciones atmosféricas.

Otro aspecto a tener en cuenta es el incremento de las acciones legales, principalmente demandas, como ocurre en los EE.UU. actualmente, de manera que pueden afectar a la forma en que los avisos son emitidos y distribuidos, así como a su contenido.

## **2.2 Previsión en la evolución tecnológica**

En los últimos años, las innovaciones con mayor impacto en la difusión de la información meteorológica han sido el desarrollo de internet hace unos 20 años y el de la telefonía móvil hace alrededor de 10 años. Es de esperar que en los próximos 25 años siga habiendo importantes innovaciones en las telecomunicaciones con gran influencia sobre los servicios meteorológicos y la difusión de sus productos.

La evolución que está siguiendo la tecnología aplicada a la teledetección es probable que permita que los requerimientos que tendrá en el futuro el NWC puedan ser solucionados en gran medida, de forma sencilla y efectiva. Sin embargo, se vislumbra un posible problema relacionado con el incremento en la demanda para las telecomunicaciones de las bandas correspondientes a las microondas, con la consiguiente restricción en su disponibilidad meteorológica.

Actualmente, el patrón de desarrollo que está siguiendo la industria de la informática muestra que cada 18 meses se duplica la velocidad de los procesadores, lo cual da una proyección de procesadores mil veces más rápidos en los próximos 15 años y cien mil veces más rápidos hacia el 2025. Con estas perspectivas, cabe suponer que la resolución de los modelos numéricos será 6 veces mejor en los próximos 15 años y 18 veces mejor dentro de 25 años. Es decir, cabe esperar que en la época en que se lance la tercera generación de satélites geoestacionarios europeos, la resolución de los modelos globales esté alrededor de 10 km y la de los regionales en 1 km.

## **3. Aplicaciones del NWC**

Tradicionalmente, las técnicas de NWC han sido utilizadas para poder emitir avisos de fenómenos adversos, especialmente para usuarios cualificados, que tienen establecidos diferentes mecanismos de respuesta ante las alertas, como son los responsables de la Protección Civil, la aeronáutica o las fuerzas armadas.

Aunque los avisos siguen siendo la aplicación más importante del NWC, los desarrollos de las telecomunicaciones están haciendo posible que este tipo de información pueda ser recibida y utilizada por un mayor número de usuarios, de forma económica y sencilla, de manera que pueda aumentar el número de aplicaciones y usos de este tipo de servicios, con una difusión directa e inmediata, utilizando, por ejemplo, internet o la telefonía móvil.

### **3.1 Avisos**

Un elemento primordial para este producto es la disponibilidad de un mecanismo de difusión que permita alertar de forma útil al usuario, de manera que los avisos únicamente tienen sentido si pueden llegar al usuario de manera que pueda reaccionar a tiempo.

Evidentemente, hay diferentes categorías de riesgos y dentro de cada una de ellas, son diversos los fenómenos a considerar. A continuación, se señalan algunos de estos.

Los fenómenos que pueden considerarse como amenazas directas para las vidas y los bienes son los vertidos tóxicos accidentales, los niveles elevados de contaminación atmosférica y de radiación UV, el granizo grande, los rayos, las inundaciones, los aludes, las nevadas intensas, el engelamiento, los deslizamientos del terreno, los incendios, las olas de frío y los golpes de calor, la precipitación engelante, el oleaje intenso, las mareas de tempestad y los vientos fuertes.

Los requisitos aeronáuticos pueden dividirse en los necesarios para aeropuertos y sus proximidades y en vuelo. Para los primeros, los elementos principales sobre los que informar son la visibilidad, nieve sobre el terreno, condiciones de engelamiento en el suelo, rachas y cizalladura del viento, precipitación intensa y turbulencia debida a estelas. En cuanto a los segundos, se necesita conocer la turbulencia, cenizas volcánicas, engelamiento, nubes bajas y visibilidad, ozono y rayos cósmicos.

El transporte, tanto marítimo como terrestre, puede verse afectado de manera significativa por el tiempo adverso. Los principales elementos sobre los que emitir avisos son, para el marítimo, los vientos fuertes, oleaje, niebla y engelamiento, y para el terrestre, nieblas densas, lluvias intensas, desbordamiento de cauces de agua, precipitación engelante, nevadas, deslizamientos, aludes, heladas, vientos fuertes y tormentas de polvo o arena.

Los servicios públicos que pueden verse afectados de forma más significativa por el tiempo adverso son los suministros de gas, fundamentalmente por los desbordamientos, deslizamientos y aludes; el eléctrico, por los rayos, vientos fuertes y engelamiento; el de agua potable, por los desbordamientos de los ríos, aludes, deslizamientos y heladas; el de combustibles líquidos por los rayos, el alcantarillado por las inundaciones y, por último, las telecomunicaciones por los rayos, vientos fuertes, engelamiento, precipitaciones y nubosidad.

### **3.2 Información pormenorizada**

Este tipo de información la puede buscar y recibir el usuario de forma activa, estando caracterizada su distribución por una recepción selectiva, mediante telefonía fija o móvil, internet, etc. La información de este tipo que este relacionada con los avisos meteorológicos se ha detallado en el apartado anterior.

A los servicios públicos les puede ser de gran utilidad este tipo de información en cuanto a la planificación de necesidades de energía, sobre todo para la industria eléctrica, relacionadas con súbitos descensos de la temperatura en invierno o ascensos en verano o las telecomunicaciones, que son atenuadas en el rango de las microondas por las precipitaciones, mientras que el tiempo adverso puede dar lugar a una saturación en las líneas por el incremento en las llamadas.

La planificación de las rutas para el transporte necesita de este tipo de información, tanto las aéreas, en el que el consumo de combustible y duración del vuelo queda determinado por los vientos favorables o la necesidad de evitar zonas adversas, como por mar, en el que los costes dependen de manera directa del tiempo de viaje, y por tierra, en el que el tiempo adverso da lugar a una menor velocidad del tráfico, incrementa el riesgo de accidentes y provoca grandes retrasos.

Las actividades de ocio al aire libre son un usuario claro de este servicio. Las que se desarrollan en tierra, sobre todo necesitan información sobre precipitación, temperatura, insolación y viento. Las que se llevan a cabo en el mar, prioritariamente a poca distancia de las costas, están sobre todo influenciadas por los mismos elementos que las terrestres y además por la temperatura del mar, oleaje, mareas, corrientes y transparencia del agua. En cuanto a las actividades recreativas aéreas, además de los elementos que afectan a la aviación en los aerodromos y sus proximidades, señalados anteriormente, se encuentran el

viento y turbulencia en capas bajas, precipitación, base y topes nubosos, térmicas, inversiones y ondas de montaña.

Las fuerzas armadas y de seguridad son usuarios de esta información pormenorizada, ya que las condiciones atmosféricas pueden afectar de forma significativa a sus actividades, sobre todo en aquellas zonas donde se emplee equipamiento sofisticado y el apoyo meteorológico ordinario no sea suficiente. Las condiciones meteorológicas pueden ser específicas para cada aplicación y para cada sistema y equipo utilizado. A título de ejemplo, para la detección de objetivos, se necesitan los perfiles verticales de temperatura y humedad, ya que afectan de manera importante a la propagación de las ondas electromagnéticas.

#### 4. Requerimientos de los diferentes métodos de predicción del NWC

Se puede anticipar que, en el horizonte temporal al que se refiere este trabajo (hacia el 2025), las técnicas de extrapolación y diagnóstico continuarán siendo las herramientas más importantes para la predicción hasta una hora, mientras que los productos obtenidos de los modelos numéricos, apoyados por técnicas de diagnóstico específicas, serán las dominantes para intervalos de tiempo más amplios.

A continuación se presentan los diferentes parámetros que son necesarios observar para los diferentes métodos de predicción relacionados con el NWC.

##### 4.1 Observación/extrapolación

Prácticamente todos los requisitos de cualquiera de los servicios que se puedan suministrar incluyen la observación y extrapolación del estado de la variable de interés. Dado que la extrapolación es una técnica apropiada únicamente para periodos temporales muy cortos, las variables de interés están principalmente limitadas a las que tienen una influencia directa sobre las vidas y los bienes.

El uso de la extrapolación para realizar predicciones de muy corto plazo está en el corazón del *Nowcasting*. Su utilidad depende del tiempo de vida de los diferentes elementos de la variable considerada. La técnica más sencilla, la persistencia, es una buena forma de estimar la evolución de numerosas variables hasta una hora, o incluso algo más. Otras técnicas, como la extrapolación del desplazamiento previo es más útil para predecir otros parámetros, tales como la nubosidad o la precipitación. Si se dispone de unas salidas realistas de los modelos numéricos para la zona y variables de interés, una ampliación de estas técnicas es utilizar la extrapolación de las diferencias entre las observaciones y los datos del modelo.

Para realizar una verdadera vigilancia se necesitan hacer observaciones cada 5', aunque, dependiendo del tiempo de respuesta del usuario a un aviso, puede no haber un beneficio adicional en realizar medidas con una frecuencia superior a los 15', especialmente si se incluye información sobre la evolución entre las observaciones.

Los parámetros a observar son la intensidad de la precipitación, el granizo, la intensidad de las nevadas, la lluvia engelante, el viento en superficie, las subsidencias intensas, la nubosidad, las zonas de nieblas y estratos, las zonas inundadas, la cobertura nivosa, las variaciones del nivel del suelo (deslizamientos), las zonas con temperaturas de suelo muy altas (incendios), el humo, los rayos, el engelamiento en superficie y las heladas, la turbulencia, el oleaje, las nubes de cenizas volcánicas, las áreas de tormentas de polvo y arena y las zonas de contaminación atmosférica y de vertidos tóxicos en superficie.

En la tabla 1 se presentan algunas de estas variables, con los requisitos estimados para las mismas.

Variable	Nivel	Precisión	Resolución		
			Horizontal	Vertical	Temporal
Lluvia intensa	SFC	10 mm h <sup>-1</sup>	1 km		5'
Granizo grande	SFC	85% detección	1 km		5'
Nevada	SFC	1 mm h <sup>-1</sup>	1 km		10'
Lluvia engelante	SFC	85% detección	10 km		1 h
Viento	SFC	1 m s <sup>-1</sup> y 10°	10 km		15'
Viento fuerte	SFC	85% detección	100 m		1'

Subsidencias intensas	Capa límite	85% detección	50 m		1'
Presión	SFC	1 hPa	10 km		1 h
Nubes bajas	Capa límite	10%	200 m	50 m	5'
Nieblas	SFC	85% detección	200 m	30 m	1'
Cobertura nivosa	SFC	30%	1 km		15'
T. suelo > 500 K	SFC	85% detección	100 m		1'
Localización humo	Capa límite	85% detección	100 m		1'
Engelamiento	SFC	1 cm	500 m		15'

Tabla 1: Requisitos de algunos parámetros para observación/extrapolación en NWC

#### 4.2 Convección

Este es uno de los aspectos que puede dar lugar a tiempo más adverso y generalmente uno de los más difíciles de predecir. Los métodos de NWC son capaces de estimar el desplazamiento de una tormenta ya existente, pero no pueden predecir su inicio y desarrollo con una precisión suficiente. En el marco temporal de este estudio, los ordenadores se espera que sean lo suficientemente potentes como para permitir que los modelos numéricos regionales puedan resolver la estructura de la convección. Sin embargo, aparecerán otros problemas, principalmente ligados a la inicialización de los modelos y en la interpretación de sus resultados. Se puede anticipar que las técnicas de diagnóstico más simples continuarán siendo utilizadas y desarrolladas para tiempos de predicción de hasta alrededor de una hora.

Se puede dividir la predicción de la convección en tres etapas: entorno previo, inicio y vigilancia.

La predicción del entorno previo está dominada por el diagnóstico de los campos observados para detectar las áreas de riesgo y señalar las posibles características de la convección que pueda desarrollarse en ellas. Para ello, los principales parámetros a detectar son la inestabilidad atmosférica, la localización de la convergencia en capas bajas, las zonas de convergencia de humedad, el carácter de la helicidad, la cizalladura del viento, el DCAPE, así como las velocidades verticales.

Para predecir el lugar y hora del inicio de la convección se utilizan una gran variedad de técnicas de diagnóstico, entre las que se incluyen la detectar la altura de la capa límite y la hora en la que desaparece la inversión de tapadera, la localización de líneas de nubes, el ascenso de los toques de los cúmulos, la localización de las ondas de gravedad, las áreas de convergencia en niveles bajos, la temperatura de superficie, determinar la atenuación de la radiación solar debida a los aerosoles o nubes altas, la tendencia de la humedad en capas bajas, la intensidad de las advecciones frías de niveles medios-altos, detección de las bajas mesoescalares y del forzamiento dinámico mesoescalar.

Una vez iniciados los desarrollos, las técnicas de observación y extrapolación son la base para la vigilancia y predicción de las zonas de tiempo adverso. Para ello, los parámetros a observar son el ritmo de crecimiento de los toques nubosos, el perfil de la precipitación dentro de las nubes, la actividad eléctrica, la organización de líneas de turbonada, los vórtices meso-gamma y los ciclos de vida de los *overshoots*.

En la tabla 2 se presentan algunas variables que pueden utilizarse para poder realizar estos servicios, con sus requisitos necesarios.

Variable	Nivel	Precisión	Resolución		
			Horizontal	Vertical	Temporal
Índice inestabilidad	Baja troposfera	1 K	1 km	500 m	15'
Convergencia	SFC	1 m s <sup>-1</sup> en 10 km	1 km		15'
Humedad	SFC	0,5 g kg <sup>-1</sup>	1 km		15'
Perfil de viento	Baja troposfera	1 m s <sup>-1</sup>	1 km	500 m	15'
Perfil de T.	Baja troposfera	0,5 K	1 km	100 m	15'
Perfil humedad	Baja troposfera	5%	1 km	100 m	15'
Ascenso tope nuboso		10 cm s <sup>-1</sup>	100 m		30''
Perfil precipitación	Baja troposfera	5 mm h <sup>-1</sup>	1 km	500 m	5'
Rayos		90% detección	1 km		1'

Tabla 2. Requisitos de algunas variables para la predicción de la convección

### **4.3 Otros sistemas**

La estructura general de los sistemas no convectivos está en general bien manejada por parte de los modelos numéricos para periodos de predicción que van más allá de las 24 h, de manera que el NWC es aplicable sobre todo a los sistemas menos predecibles, como los ciclones intensos, o a los detalles más difíciles de estimar, como pueden ser las zonas de nubosidad y precipitación, de nieblas y estratos y los vientos locales. A continuación se señalan algunos de los requisitos para estos elementos, buena parte de los cuales ya están incluidos en las necesidades para observación-extrapolación o en las de la convección.

Las borrascas intensas suelen estar bien detectadas por parte de los modelos numéricos, aunque estos son incapaces de indicar con precisión la localización de los máximos locales de viento. Para poder refinar esta predicción, se puede realizar una extrapolación de las diferencias entre los valores observados y los previstos por el modelo, para lo cual es necesario disponer de datos de viento y presión en superficie con gran resolución espacial y temporal.

El desplazamiento de los ciclones tropicales cada vez se está estimando mejor por parte de los modelos una vez se han formado. Hay una clara evidencia acerca de que la predicción de su intensidad también va a aumentar a medida que la resolución de los modelos se incrementa. Sin embargo, continuará siendo necesario identificar las estructuras de mesoescala que difieran de las previstas por el modelo y extrapolarlas. Para ello es necesario conocer, con gran resolución espacial y temporal, el viento en superficie, la precipitación y el estado del mar.

Los vientos locales pueden ser los elementos predominantes del tiempo especialmente en zonas de orografía complicada. Los requisitos para las técnicas de NWC consisten en la necesidad de conocer el balance entre el gradiente de presión a través de las montañas y la resistencia al movimiento presentada por la inestabilidad térmica en los niveles bajos, que es modificada de manera local por parte del calentamiento del suelo y modulada por la nubosidad y cobertura nival. Así pues, se necesitan datos de estos cinco parámetros para el control de este elemento.

Las áreas de precipitación intensa, producidas por ascensos macro o mesoescalares, pueden determinarse mediante técnicas adecuadas de NWC, para las que se necesitan conocer los perfiles verticales del viento, temperatura y humedad, así como el nivel del isocero y su razón de descenso debido a la fusión de la precipitación sólida.

Por último, para la predicción de la formación de nieblas nocturnas se utilizan técnicas en las que se predice el enfriamiento del aire, que está modificado por la cobertura nubosa y la mezcla turbulenta. Para predecir su formación, se necesita el conocimiento de la humedad y temperatura en superficie, así como el perfil vertical de estos elementos en las capas bajas y la detección de zonas de bruma previas.

## **5. Conclusiones**

Por parte del grupo de trabajo se han analizado los requerimientos de las diferentes técnicas de *Nowcasting* y predicción a muy corto plazo, considerando no únicamente los fenómenos adversos y la situación actual, sino también la evolución en la demanda de estos servicios.

Se han establecido los requisitos de las diferentes variables, señalando la precisión necesaria, niveles en los que se han de obtener y resoluciones horizontal, vertical y temporal de las mismas. Estos se han realizado sin tener en cuenta las limitaciones tecnológicas.

Estos requerimientos se utilizarán como punto de partida para los correspondientes estudios científicos y técnicos y establecer finalmente los requisitos de usuario finales.

## **Agradecimientos**

A los miembros del grupo de trabajo, cuyos co-presidentes son K. Browning y V. Levizzani, que han elaborado los requisitos de NWC para el post-MSG, recopilados por parte de B. Golding.