



La predicción operativa y el papel del predictor

4

DOI: [10.31978/014-18-009-X.04](https://doi.org/10.31978/014-18-009-X.04)

JUAN CARLOS BULLÓN
GPV Barcelona, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

SAMUEL VIANA
Área de Modelización, AEMET

La predicción era buena, pero luego la atmósfera se equivocó.

Frase popular entre meteorólogos – ANÓNIMO

El término *predicción operativa* engloba todas aquellas actividades encaminadas a elaborar y ofrecer los productos de predicción a los diferentes usuarios. Salvo en el caso de las predicciones automáticas, son los meteorólogos predictores (también denominados predictores operativos) los que se enfrentan al reto de realizar la vigilancia meteorológica y de elaborar las predicciones. ¿Cuándo se disipará una espesa niebla situada sobre las pistas de un aeropuerto? ¿Cómo evolucionará una línea de tormentas conforme avanza hacia una zona poblada? Si está previsto que una profunda borrasca se sitúe en las proximidades de las islas Canarias, ¿las precipitaciones intensas afectarán a las islas o se quedarán en el mar? Ante vientos intensos previstos para el día siguiente, ¿qué nivel de aviso por vientos fuertes conviene emitir y en qué zonas? ¿A partir de qué altura cuajará la nieve en Galicia y qué espesor alcanzará? Este tipo de preguntas forman parte del día a día de los predictores, que han de aprender a convivir con las dudas, afrontarlas y tomar decisiones, a menudo en cortos intervalos de tiempo.

Palabras clave: predicción operativa, predicción operativa 2.0, valor añadido del predictor.

Imagen parte superior: predictor de servicio en el Grupo de Predicción y Vigilancia (GPV) de Barcelona, AEMET.

4.1 Introducción a la predicción operativa

Los servicios meteorológicos se esfuerzan en ofrecer herramientas a los predictores que faciliten y agilicen su labor, que suele tener gran repercusión social, con decisiones de las que a menudo dependen la seguridad de bienes y personas. Así, numerosos especialistas se esfuerzan en mejorar los modelos de predicción, la teledetección y las técnicas aplicadas a la predicción. Las grandes mejoras en supercomputación y los avances científicos y técnicos en los sistemas de

teledetección (como satélites y radares) y en el conocimiento científico del sistema atmosférico en general, han incrementado considerablemente la cantidad y la calidad de herramientas y productos orientados hacia la predicción operativa, permitiendo una mejora sustancial en la calidad de la predicción meteorológica.

Esta diversidad de herramientas al alcance de los predictores se entiende porque las predicciones son diferentes en función del tipo de usuarios a los que van dirigidas, las áreas geográficas y los plazos temporales involucrados (Figura 4.1).

<p>Pronóstico en clave para el aeropuerto de Valencia: TAF LEVC 090500Z 0906/1006 VRB03KT 9999 FEW030 TX28/0913Z TN16/0906Z PROB40 TEMPO 0906/0908 BKN008 BECMG 0910/0912 10010KT BECMG 0918/0920 VRB03KT=</p>
<p style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Predicción España</p> <p>Validez: sábado, 10 junio 2017 de 0 a 24 horas (oficial) Fenómenos significativos Temperaturas significativamente altas en los valles del Tajo, Guadiana y Guadalquivir.</p> <p>Predicción Predominio del tiempo estable en todo el país, con cielos poco nubosos o con intervalos de nubes altas y algunos intervalos de nubes bajas costeras en los litorales de Alborán. No obstante, al final del día se esperan también intervalos de nubes bajas en Galicia y cordillera cantábrica. Temperaturas en ascenso en gran parte de la península y en Baleares. El ascenso será acusado en el Cantábrico oriental. En la embocadura mediterránea del Estrecho, pueden descender ligeramente. En Canarias sin cambios. Se alcanzarán valores por encima de lo normal para esta época del año en la mayor parte del interior peninsular, excepto en el área mediterránea, superándose probablemente los 38 grados en los valles del Tajo, Guadiana, Guadalquivir y zonas próximas. Viento de componente norte en Canarias. De componente este en el tercio oriental peninsular y, con intervalos de fuerte, en el Estrecho. Flojo en el resto, predominando la componente sur en el interior.</p>
<p>AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA BOLETÍN DE FENÓMENOS ADVERSOS DE NIVEL AMARILLO C. AUTÓNOMA: ANDALUCÍA (ORIENTAL) BOLETÍN NÚMERO 123/61ANR_C_C_AM_TT EMITIDO A LAS 10:58 HORA OFICIAL DEL 09/06/2017 VÁLIDO HASTA LAS 00:00 HORA OFICIAL DEL 11/06/2017</p> <p>FENÓMENOS PREVISTOS</p> <p>Fenómeno(1) - Temperatura máxima. 38 °C. Nivel: amarillo. Ámbito geográfico: Granada (Cuenca del Genil); Jaén (Valle del Guadalquivir). Hora de comienzo: 14:00 hora oficial del 10/06/2017. Hora de finalización: 20:00 hora oficial del 10/06/2017. Probabilidad: 40 %-70 %.</p>

Figura 4.1: Algunos ejemplos de boletines de predicción elaborados por los predictores de la *Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*. Arriba: predicción en clave para el aeropuerto de Valencia. En el centro: predicción general para España. Abajo: boletín de fenómenos meteorológicos adversos para Andalucía oriental.

Según el tipo de usuarios las predicciones pueden ser boletines de predicción generalista para el gran público, de fenómenos meteorológicos adversos, aeronáuticos, marítimos, de montaña, o bien otras específicas relacionadas con el turismo, fiestas locales, agricultura, medios de transporte, producción eléctrica, etc. Dependiendo de su área de extensión, las predicciones pueden ser para localidades o zonas muy limitadas, como ciudades, playas o aeropuertos, para áreas más amplias, como provincias o zonas costeras, o para áreas muy extensas, como un país o una amplia zona aeronáutica o de alta mar. Por último, según el plazo de predicción, pueden ser de *nowcasting* (para las inmediatas horas), de *corto plazo* (para los próximos 2 ó 3 días), de *medio plazo* (para los días siguientes), y en un escalón inferior en cuanto a su fiabilidad y precisión, las predicciones *mensuales* y *estacionales*.

En función de cada uno de estos casos las herramientas de predicción a utilizar pueden ser bastante diferentes, así como los criterios a aplicar. Es muy distinto hacer una predicción para un aeropuerto que para una extensa área como las islas Canarias. O realizar una predicción de tipo *nowcasting*, en la cual los sistemas de teledetección son fundamentales, que una de medio plazo, donde se utilizan casi exclusivamente modelos de predicción.

Con el aumento de las herramientas disponibles para la predicción, el predictor se encuentra ante numerosas fuentes de información. Con su experiencia debe elegir según el caso las que le serán más útiles. Como su trabajo siempre está limitado en el tiempo, en ocasiones debe decidir con bastante celeridad, añadiendo una presión extra que no sufren otros meteorólogos como los que se dedican a predicción numérica, a desarrollar nuevas técnicas de predicción o a estudios de situaciones pasadas.

El predictor es quien acaba definiendo las predicciones y los avisos meteorológicos generales o de aeródromos y el que suele asumir la interlocución con las protecciones civiles, los usuarios aeronáuticos y marítimos, o cualquier otro al que preste servicios. Por ello, en situaciones complicadas, las decisiones se toman en equipo y por consenso, mejorándolas y evitando que dependan de una sola persona, especialmente las que implican avisos por fenómenos adversos.

4.2 El trabajo del predictor en función del rango de predicción

La primera tarea de un meteorólogo a la hora de elaborar una predicción es realizar un diagnóstico adecuado del estado de la atmósfera. En función del alcance temporal de la predicción, tendrá que seleccionar unos u otros productos de teledetección, analizar con mayor o menor detalle las observaciones disponibles, el tiempo pasado, los campos de análisis de los modelos numéricos, etc. Además, como se verá en la siguiente sección, las escalas temporales y espaciales en la atmósfera están estrechamente ligadas. Por todo ello merece la pena detenerse un poco más en la clasificación por rango temporal mencionada en el punto anterior.

4.2.1 Nowcasting

El *nowcasting* consiste en la predicción a muy corto plazo, para las horas inmediatas. Es en este caso cuando el predictor se suele enfrentar a las decisiones más difíciles y delicadas y con menor tiempo de actuación. Ante episodios extremos, intentará deducir su probable evolución en las próximas horas y, si procede, actuar con rapidez emitiendo avisos meteorológicos, modificando previsiones o asesorando a Protección Civil o a la torre de control de un aeropuerto.

En este rango de predicción, la teledetección es básica para realizar un buen diagnóstico y, con ayuda de los modelos de predicción, poder predecir mejor la evolución atmosférica. Hay una serie de sistemas de teledetección a disposición del predictor, como las imágenes de satélites, los radares meteorológicos, la red de detección de rayos, las estaciones meteorológicas en superficie, las boyas marinas o los sondeos meteorológicos para datos en altura. Según la situación elegirá unos u otros. Las redes sociales se han incorporado recientemente, aportando en tiempo real información de numerosos puntos, muchas veces acompañadas de imágenes o vídeos que muestran los fenómenos o sus efectos *in situ*.

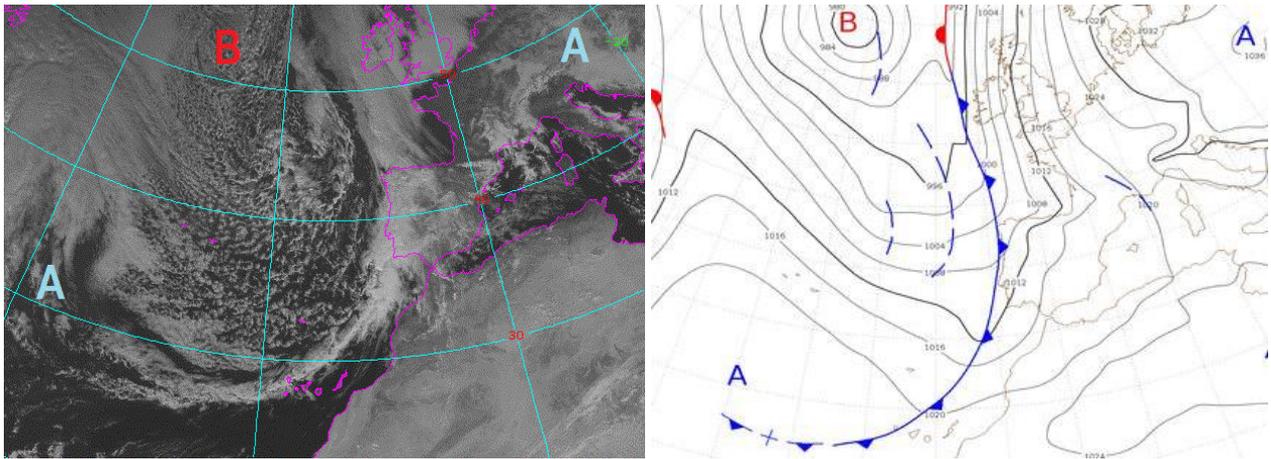


Figura 4.2: Frente frío alcanzando la península ibérica en imagen de canal visible del Meteosat y su reflejo en la correspondiente guía técnica de diagnóstico de AEMET (26 de enero de 2017)

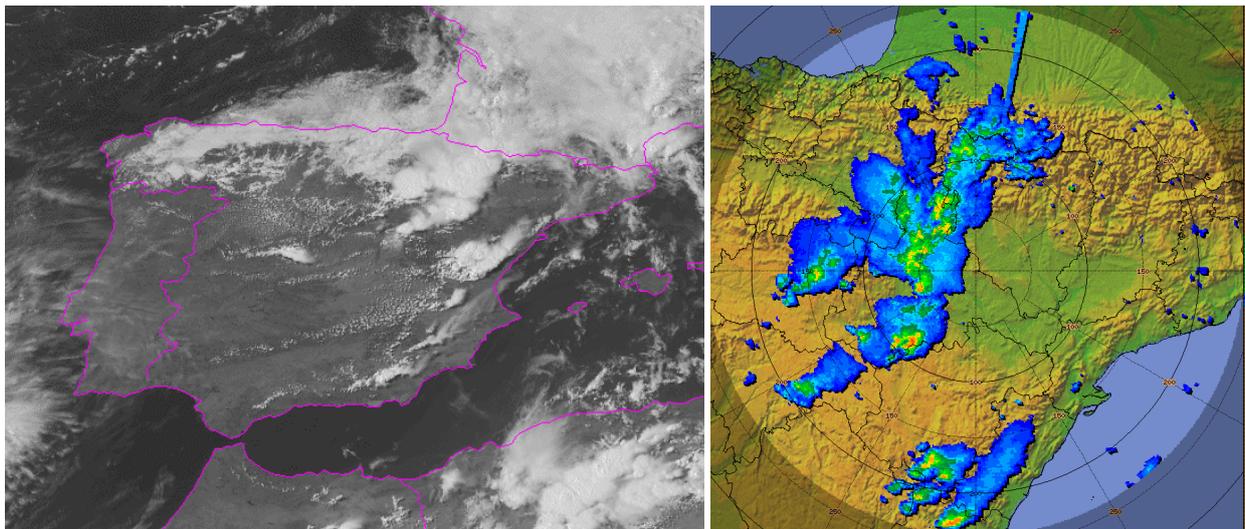


Figura 4.3: Células convectivas en el canal visible del Meteosat y en el radar de Zaragoza (3 de junio de 2017)

Los sistemas de teledetección permiten detectar estructuras meteorológicas a gran escala, denominada **escala sinóptica**, como las **vaguadas** y **dorsales**, depresiones aisladas en niveles altos (**depresión aislada de niveles altos (DANA)**), **corriente en chorro** en capas altas de la troposfera, frentes (Figura 4.2), intrusiones de polvo sahariano (Figura 4.17 en la página 39), etc. A menor escala, o **mesoescala**, **sistema convectivo de mesoescala (SCM)** (Figura 4.3), **líneas de turbonada**, mesociclones, zonas de convergencia, áreas con niebla, etc. A pequeña escala (**microescala**) se pueden detectar fenómenos de incidencia más local, como los **tornados** o las nieblas locales.

4.2.2 Predicción a corto plazo

Para la predicción a dos o tres días los sistemas de teledetección pierden importancia, mientras la ganan los modelos deterministas de predicción, ya sean de escala global, como el ECHRES del ECMWF (sec. 19.2 en la página 291), o de área limitada, de mayor resolución pero menor alcance, como el HARMONIE-AROME (sec. 10.1 en la página 130 y sec. 20.4 en la página 310).

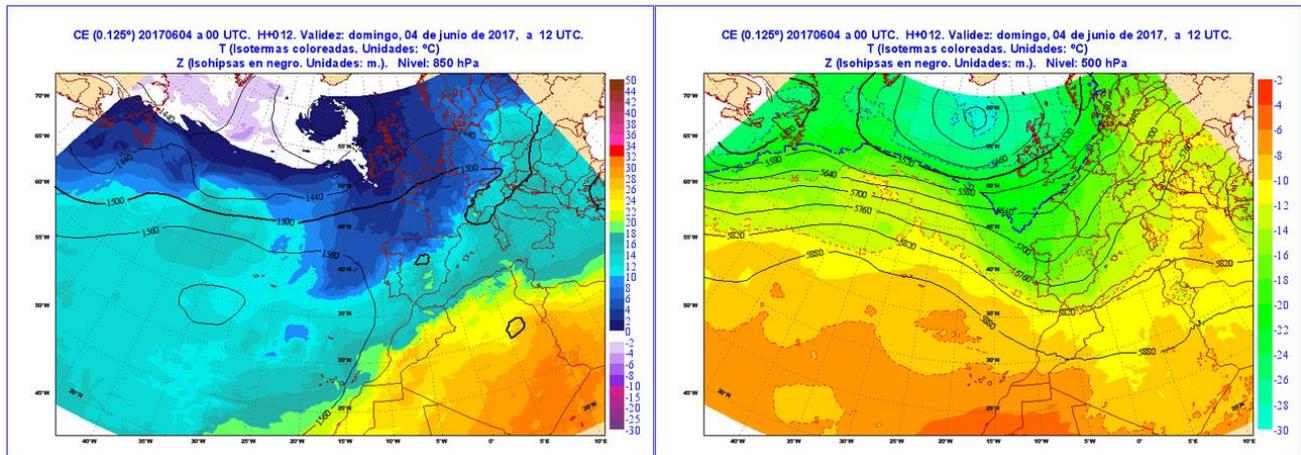


Figura 4.4: Situación sinóptica prevista por el ECHRES a 850 hPa (izquierda) y 500 hPa (derecha) para el 4 de junio de 2017

Gracias al aumento de potencia de cálculo de los superordenadores, los modelos deterministas van aumentando su resolución y fiabilidad a pocos días. Por ello para el corto plazo son muy útiles. Los sistemas de predicción por conjuntos para el corto plazo, como el anterior AEMET-SREPS o el próximo AEMET-gamma-SREPS, requieren muchos recursos para su desarrollo y operatividad, por lo que aún no han podido ser explotados convenientemente, aunque su papel va a ser cada vez más preponderante en el futuro.

Los predictores disponen de mapas previstos (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 en la página siguiente) para distintos fenómenos o variables (precipitaciones, temperaturas, vientos, cotas de nieve, etc.), y de numerosas herramientas de postproceso, como las relacionadas con la convección atmosférica (sondeos previstos, áreas de

inestabilidad, zonas de convergencia, áreas de convección organizada, rayos previstos, etc.). Con su experiencia, el predictor ultimarà las predicciones con el uso de los llamados modelos conceptuales, su conocimiento del territorio y de los efectos de las situaciones según la época del año y con la ayuda de casos de estudio de situaciones anteriores.

4.2.3 Predicción a medio y largo plazo

A partir del tercer o cuarto día básicamente se utilizan modelos de área global. Al alejarnos del día en curso van ganando peso los sistemas probabilistas, de manera que las predicciones por conjuntos van adquiriendo protagonismo, fundamentalmente el sistema ECENS del centro europeo.

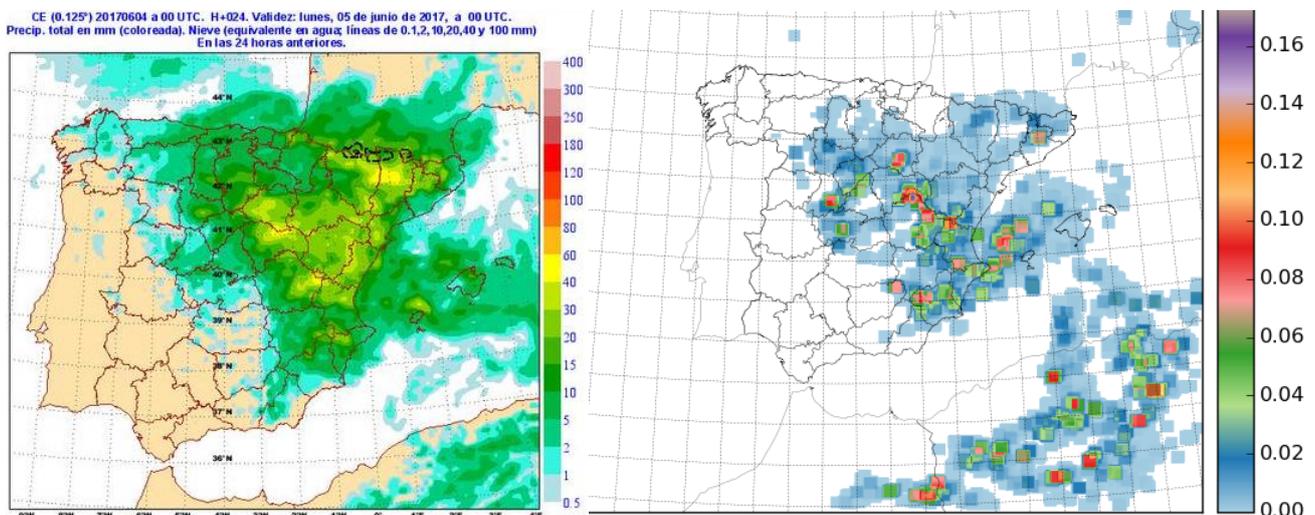


Figura 4.5: Precipitación prevista por el ECHRES (izquierda) y densidad de rayos (número de rayos / km²) estimada por el HARMONIE-AROME (derecha) para el 4 de junio de 2017

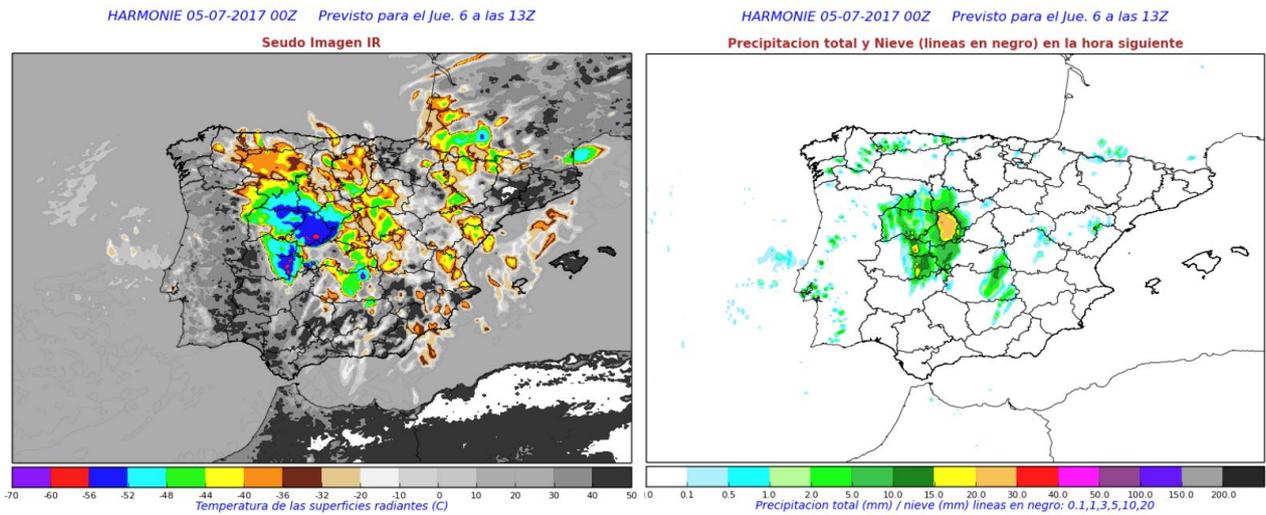


Figura 4.6: Seudoimagen de satélite (izquierda) y precipitación en una hora (derecha) previstas por el HARMONIE-AROME del día 5 de julio para las 13 UTC del día 6 de julio de 2017

También se dispone de productos derivados relacionados con la probabilidad de fenómenos extremos que se alejan de los valores climatológicos (sec. 27.7 en la página 419), como el *extreme forecast index*, EFI (sec. 27.7.2 en la página 420), o el *shift of tails*, SOT (sec. 27.7.3 en la página 421) (Figura 4.7).

La predicción meteorológica será principalmente probabilista, mucho más al referir al medio y largo plazo, donde las incertezas y posibles desvíos son

mayores. Como afirma Ángel Rivera en el prólogo de este libro, la predicción probabilista es el mejor producto que se puede ofrecer a los usuarios. Pero las resistencias por su desconocimiento y falta de uso por parte de la sociedad hacen que los productos elaborados por los servicios meteorológicos, así como los predictores, se vayan adaptando lentamente a ella. Así pues, uno de los objetivos debe ser intentar avanzar en la calidad de la predicción probabilista, y ahí la predicción por conjuntos jugará un papel esencial.

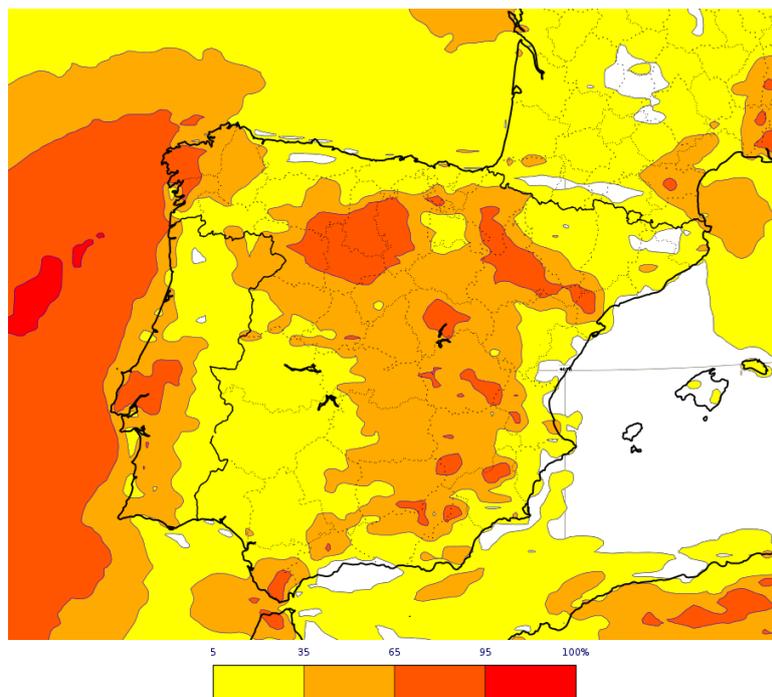


Figura 4.7: Probabilidad de rachas de viento superiores a 40 km/h para D+5 (al cabo de 5 días) previsto por el ensemble del ECMWF, ECENS



Figura 4.8: Línea convectiva cerca de la costa central catalana. Foto: JOAN CARLES BULLÓN.

4.3 Estructuras meteorológicas a escala sinóptica y mesoescalar

El estado y evolución de la atmósfera vienen determinados por la combinación de un gran número de procesos que tienen lugar en un amplio espectro de escalas espaciales y temporales [5]. La meteorología operativa se centra principalmente en los procesos de escalas a partir de varios kilómetros, distinguiendo dos rangos de variación espacial y temporal. Por una parte la *escala sinóptica*, con movimientos de centenares a varios miles de kilómetros y escalas temporales de hasta varios días, donde aparecen estructuras de gran dimensión y, por otra parte, la *mesoescala*, con procesos que van desde unas decenas hasta unos centenares de kilómetros y escalas temporales desde decenas de minutos a un día. Por debajo queda la llamada *microescala*, donde se producen los fenómenos más locales y breves. A continuación se exponen algunas de las estructuras y fenómenos más habituales

a *escala sinóptica* y *mesoescalar*. Puede decirse que forman parte del «entorno de trabajo» cotidiano de cualquier predictor.

4.3.1 Escala sinóptica

En capas medias y altas de la atmósfera las principales estructuras que aparecen a *escala sinóptica* son las *vaguadas* y las *dorsales*, así como la *corriente en chorro* (*jet stream*), mientras que en capas bajas se presentan los grandes sistemas de presión, es decir, los anticiclones y las depresiones o borrascas.

Las *dorsales* son áreas donde las *isohipsas* correspondientes a un nivel de presión presentan un valor máximo, mientras que en las *vaguadas* presentan un valor mínimo. Ambas se suelen representar indicando el eje donde se alcanza el valor máximo (*dorsal*) o mínimo (*vaguada*). Cuando las *isohipsas* llegan a cerrarse representando valores máximos o mínimos se habla de altas o bajas en altura, respectivamente.

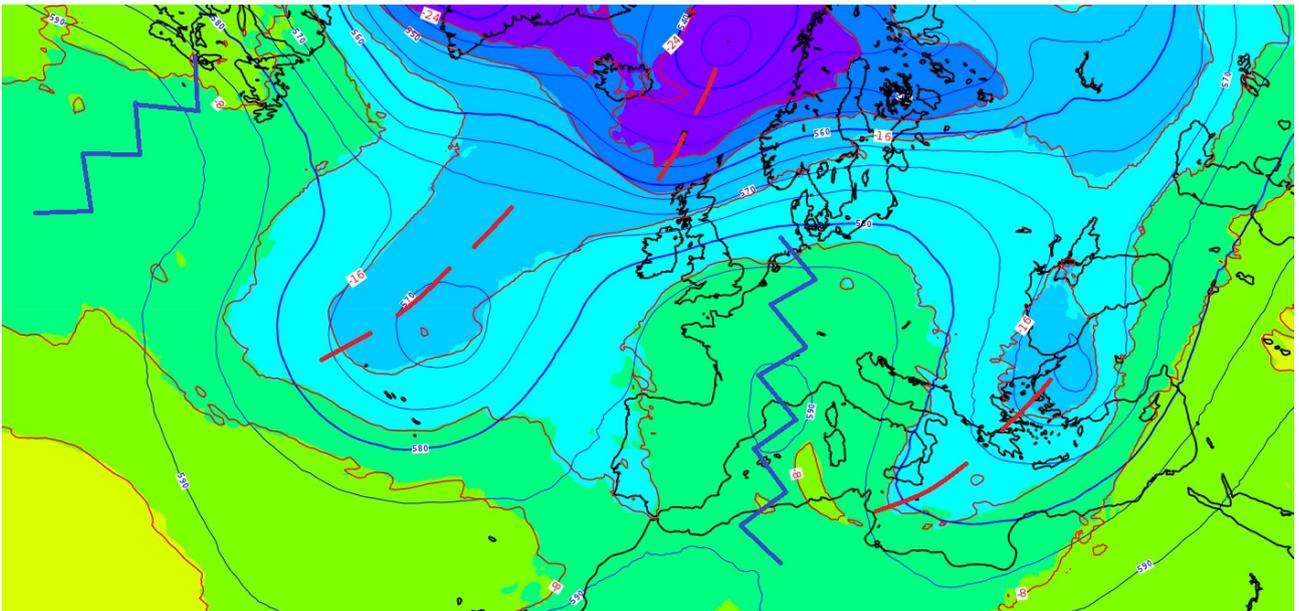


Figura 4.9: Vaguadas (líneas rojas discontinuas) y dorsales (líneas azules quebradas) en 500 hPa sobre el Atlántico Norte y Europa. Los colores azulados indican aire frío. Se aprecian claramente las vaguadas sobre el Atlántico y sobre Grecia y la dorsal sobre Baleares y Francia (19 de junio de 2017).

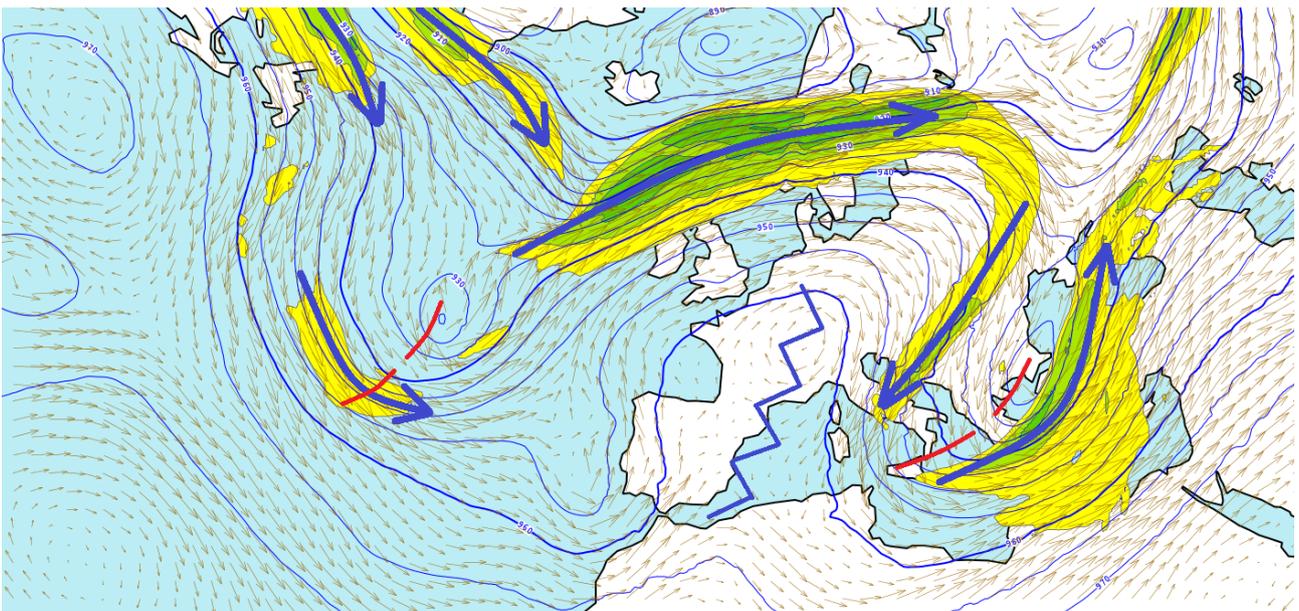


Figura 4.10: Como en la Figura 4.9 mostrando ahora casos de corriente en chorro (líneas azules de trazo grueso terminadas en flecha) asociadas en 300 hPa.

Normalmente las dorsales suelen ir acompañadas de anticiclones en superficie, mientras las vaguadas y bajas en altura suelen ir con depresiones (o borrascas) y sus habituales frentes. Frecuentemente en latitudes medias se suceden vaguadas y dorsales que avanzan de oeste a este (Figuras 4.9 y 4.10).

En ocasiones se presentan grandes áreas donde no se aprecian dorsales ni vaguadas, de manera que las isohipsas van paralelas siguiendo una trayectoria oeste-

este. En estos casos se habla de flujo zonal (Figura 4.11).

Por contra, a veces una dorsal se sitúa a lo largo de una gran extensión latitudinal, lo que da lugar a situaciones de bloqueo que pueden durar varios días, normalmente con un potente anticiclón en superficie (Figura 4.12). Estas situaciones suelen darse con mayor frecuencia en la época invernal, provocando entradas de aire frío de origen polar o continental.

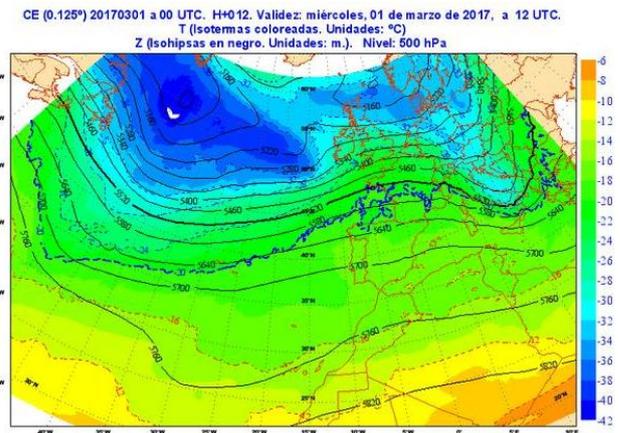
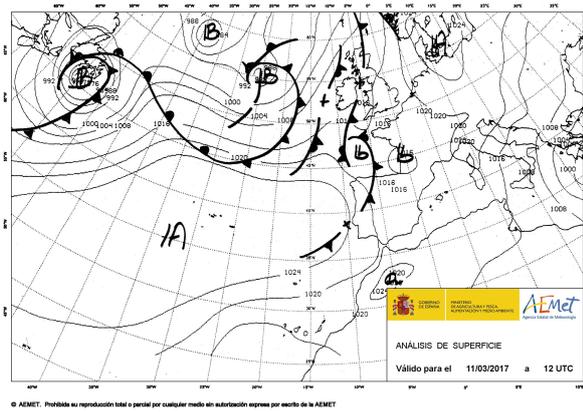


Figura 4.11: Flujo zonal sobre la península ibérica, en superficie (izquierda) no afecta más que al extremo norte de la península ibérica, y en 500 hPa afecta más claramente a todo el área peninsular (1 de marzo de 2017).

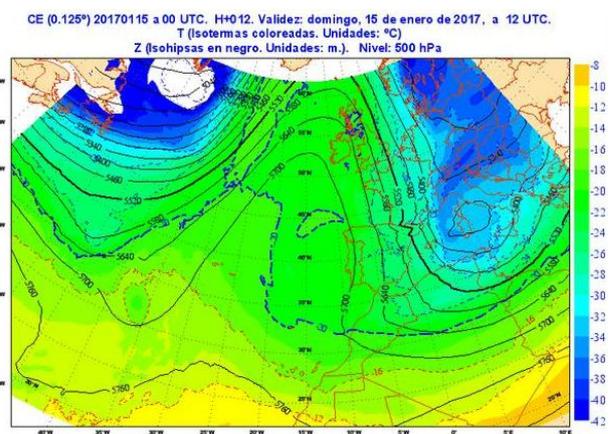
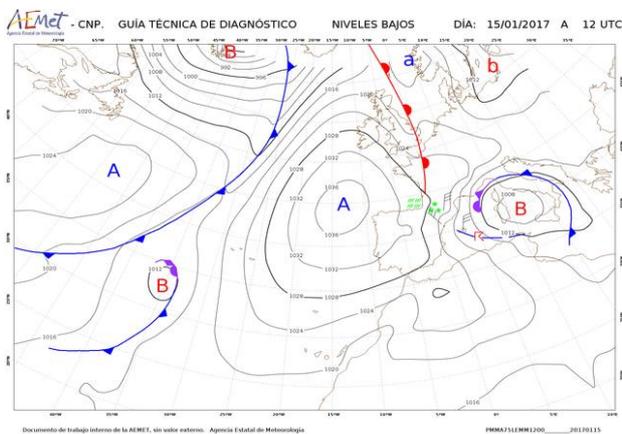


Figura 4.12: Anticiclón de bloqueo (izquierda) con potente dorsal en capas altas (derecha) que se extiende hasta altas latitudes (15 de enero de 2017)

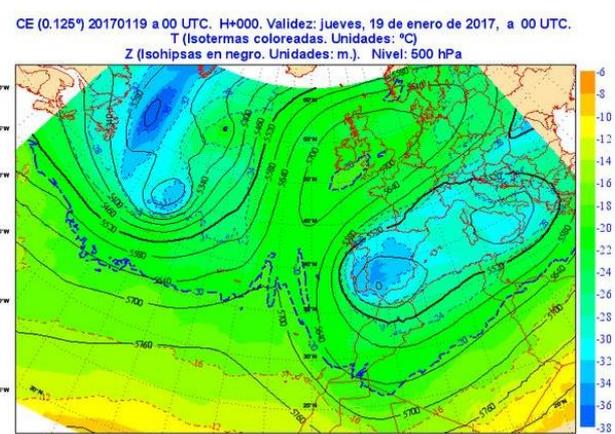
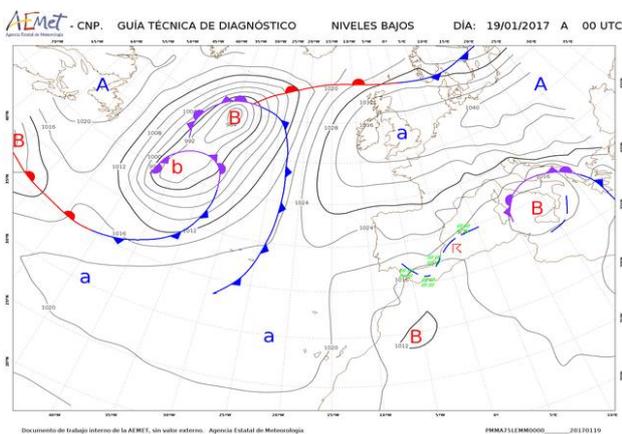


Figura 4.13: Una DANA sobre el sur peninsular, con anticiclón y dorsal de bloqueo sobre las islas británicas. En la imagen izquierda se ve que no va acompañada de una depresión en superficie (19 de enero de 2017).

Cuando se presenta una baja en altura sin que lleve aparejada una depresión en superficie, se habla de depresión aislada en niveles altos o DANA. En el sur de

Europa y el Mediterráneo, las DANA en ocasiones dan lugar a precipitaciones torrenciales, especialmente en otoño (Figuras 4.13 y 4.14).

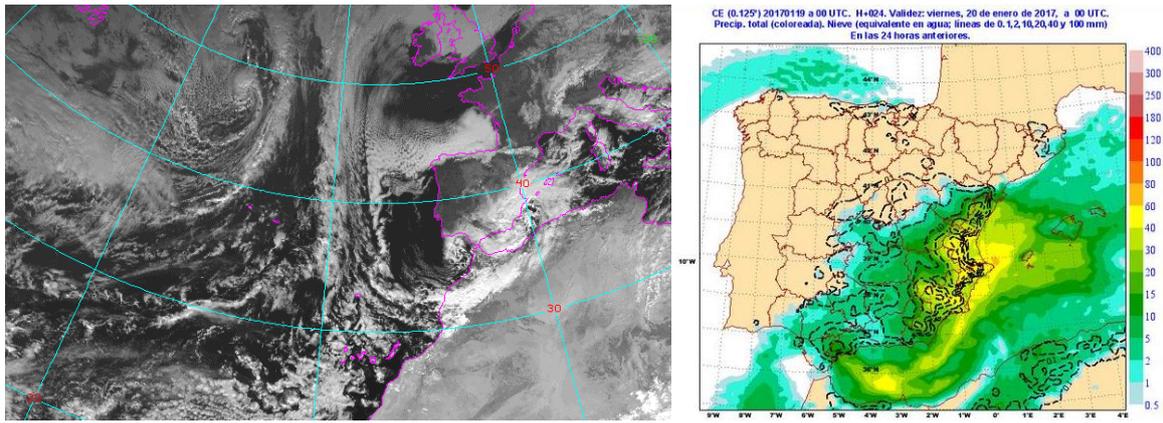


Figura 4.14: DANA sobre el sur peninsular, como en la Figura 4.13. Aquí se muestra la abundante nubosidad asociada y la precipitación prevista por el ECHRES.

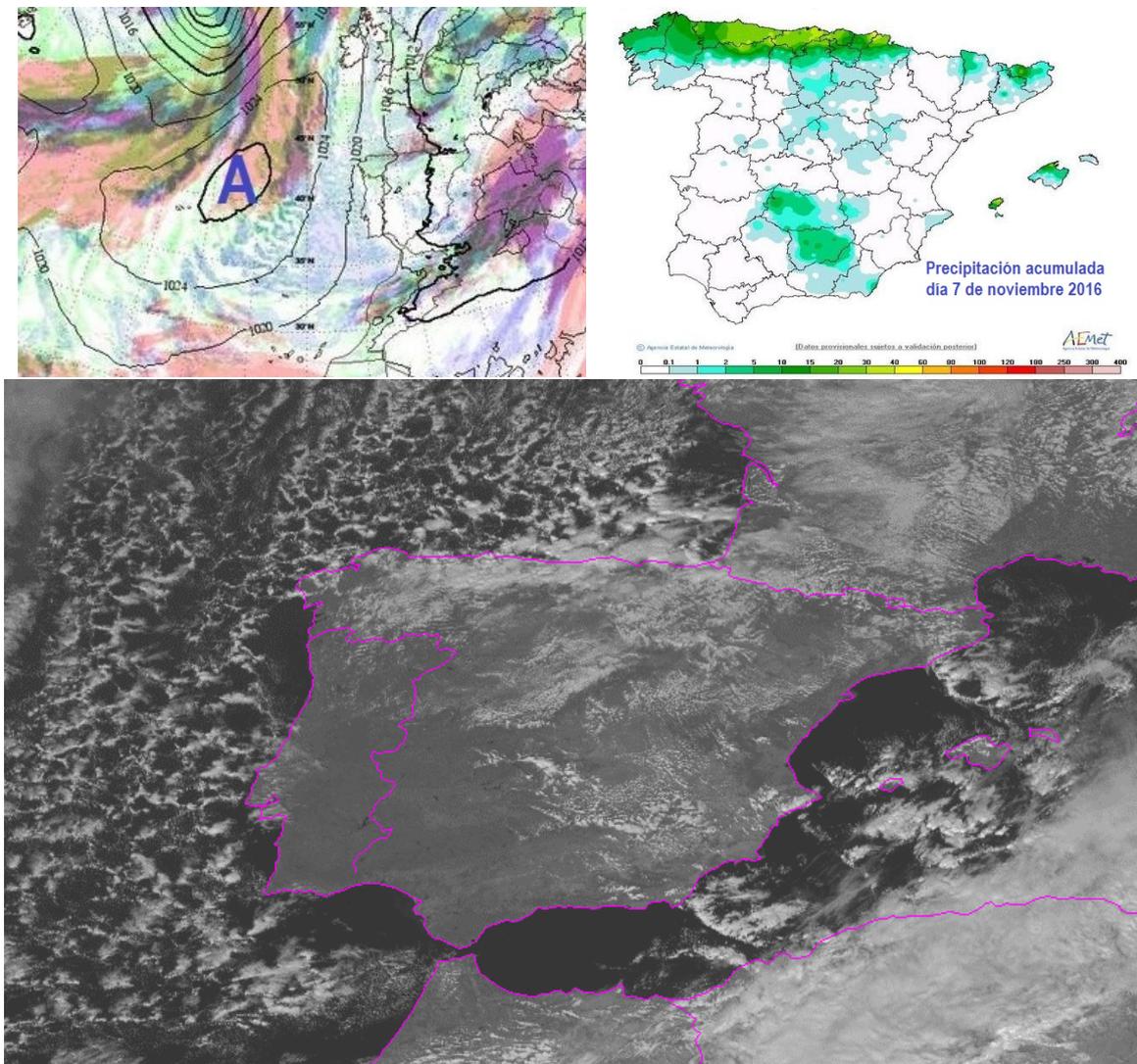


Figura 4.15: Precipitación persistente en la cornisa cantábrica con entrada de norte en situación anticiclónica (7 de noviembre de 2016). Arriba, de izquierda a derecha: mapa de presión y precipitación observada. Abajo: imagen de satélite, canal visible.

4.3.2 Mesoescala

A esta escala inferior se presentan estructuras y fenómenos de menor dimensión que a *escala sinóptica*.

En numerosos casos vienen condicionados por las características orográficas, como por ejemplo las zonas montañosas que realzan la precipitación (Figura 4.15 en la página anterior), las llanuras interiores y sus habituales *nieblas de irradiación* invernales, sobre todo en los grandes valles fluviales como los del Duero y el Ebro (Figura 4.16), las zonas costeras con las *nieblas de advección* y las *brisas*, etc.

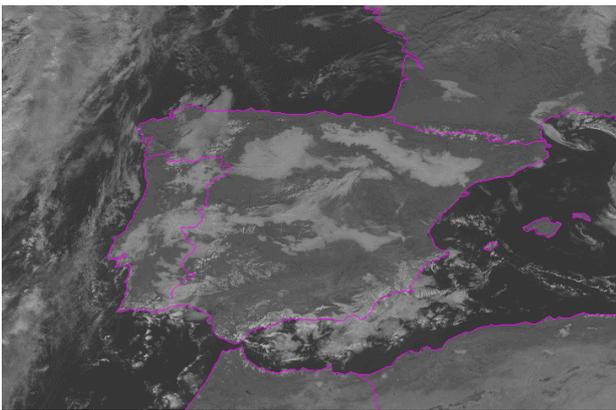


Figura 4.16: Formación de extensas *nieblas de irradiación* en los valles del Duero, Ebro y Tajo con anticiclón invernal (13 de diciembre de 2016)

Un caso particular es el denominado *dipolo orográfico*, que se forma cuando un anticiclón se extiende hacia el sur de Francia, generándose un fuerte gradiente de presión entre los Alpes y los Pirineos, con formación de una mesobaja al sur de Pirineos, lo que da lugar a los vientos de *cierzo* y *tramontana* (Figura 4.18).

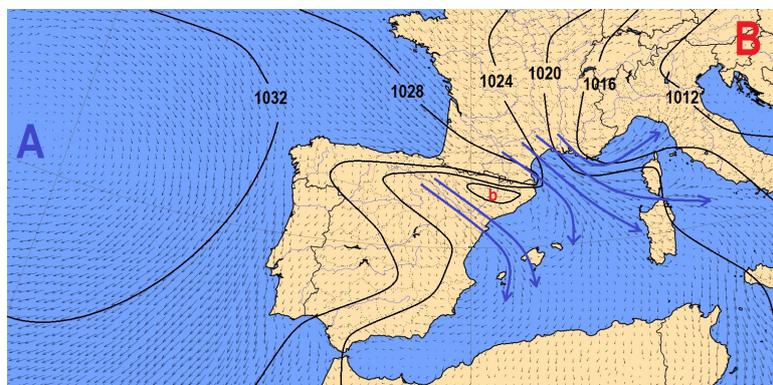


Figura 4.18: *Dipolo orográfico* con formación de una mesobaja al sur de los Pirineos y vientos de *cierzo* y *tramontana* (1 de julio de 2017)

Así mismo se puede generar convección organizada de dimensiones *mesoescalares*, como las *supercélulas*, *líneas de turbonada* o los *SCM* (Figura 4.17).

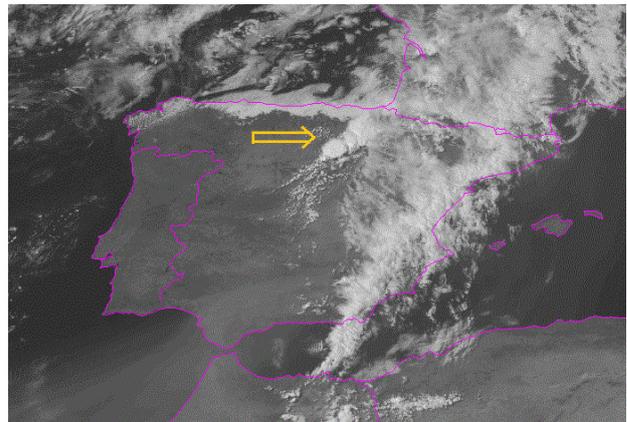


Figura 4.17: Línea convectiva organizada avanzando hacia el este. Se aprecia entrada de polvo de origen sahariano por el sur de la península ibérica (20 de julio de 2016)

En ocasiones se forman *ondas de montaña* cuando vientos intensos en capas bajas y medias van en dirección perpendicular a los sistemas montañosos, a veces con formación de bandas de nubes orográficas (Figura 4.19 en la página siguiente).

Es frecuente que las convergencias de aire en capas bajas generen bandas de nubes (Figura 4.19 en la página siguiente) o determinen dónde se disparará la convección, como con el paso de frentes, entradas de *tramontana* por la comentada formación de *dipolo orográfico*, convergencias de *brisas* en el interior de islas de cierto tamaño, como Mallorca (Figura 4.20 en la página 41), etc.

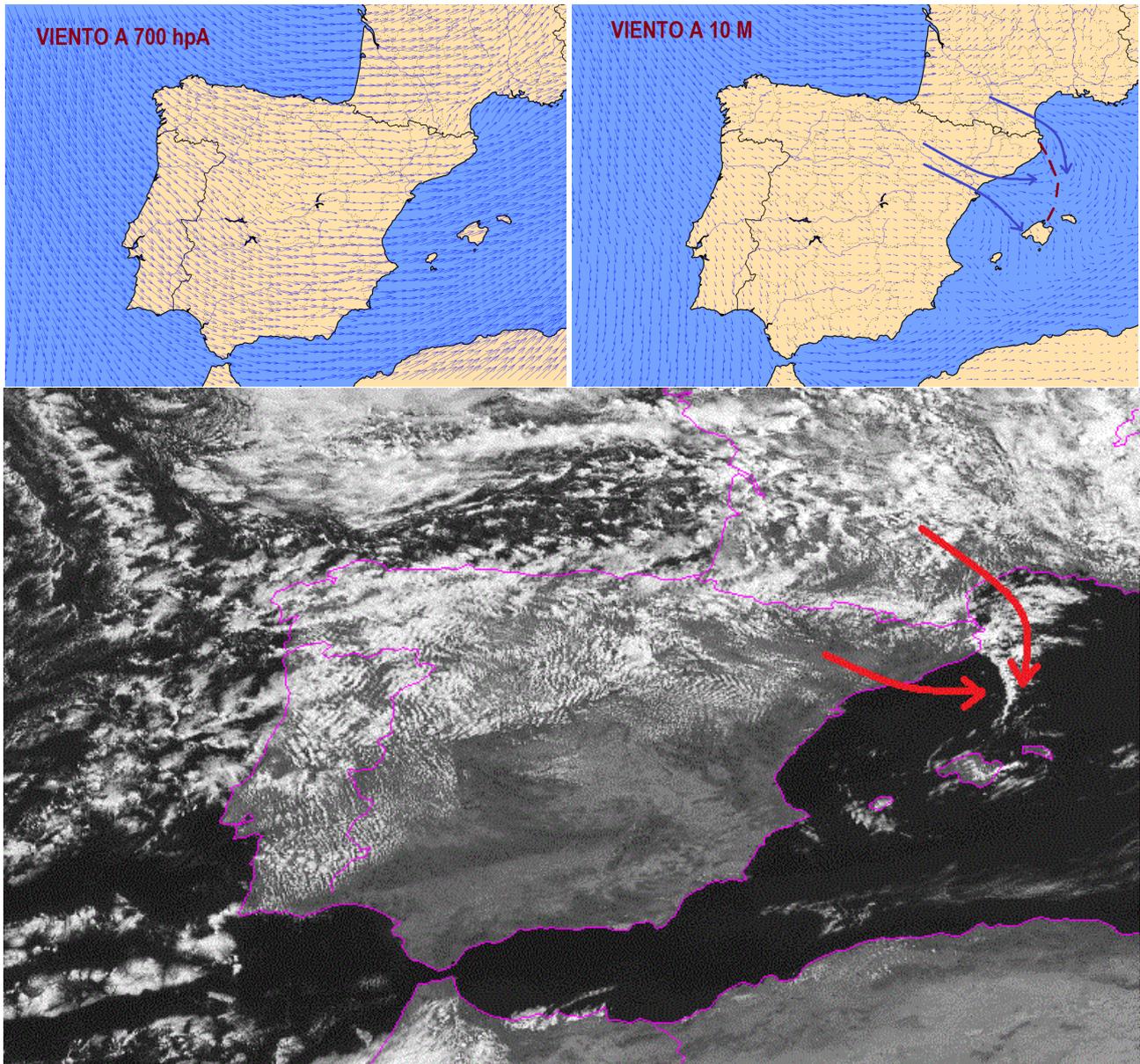


Figura 4.19: Flujo intenso del oeste y noroeste sobre la península ibérica en capas medias (700 hPa), con generación de *ondas de montaña* y bandas de nubes orográficas. En superficie la convergencia de la *tramontana* (raya discontinua) con los vientos del noroeste genera una banda de nubes desde Baleares al golfo de León (29 de junio de 2017).

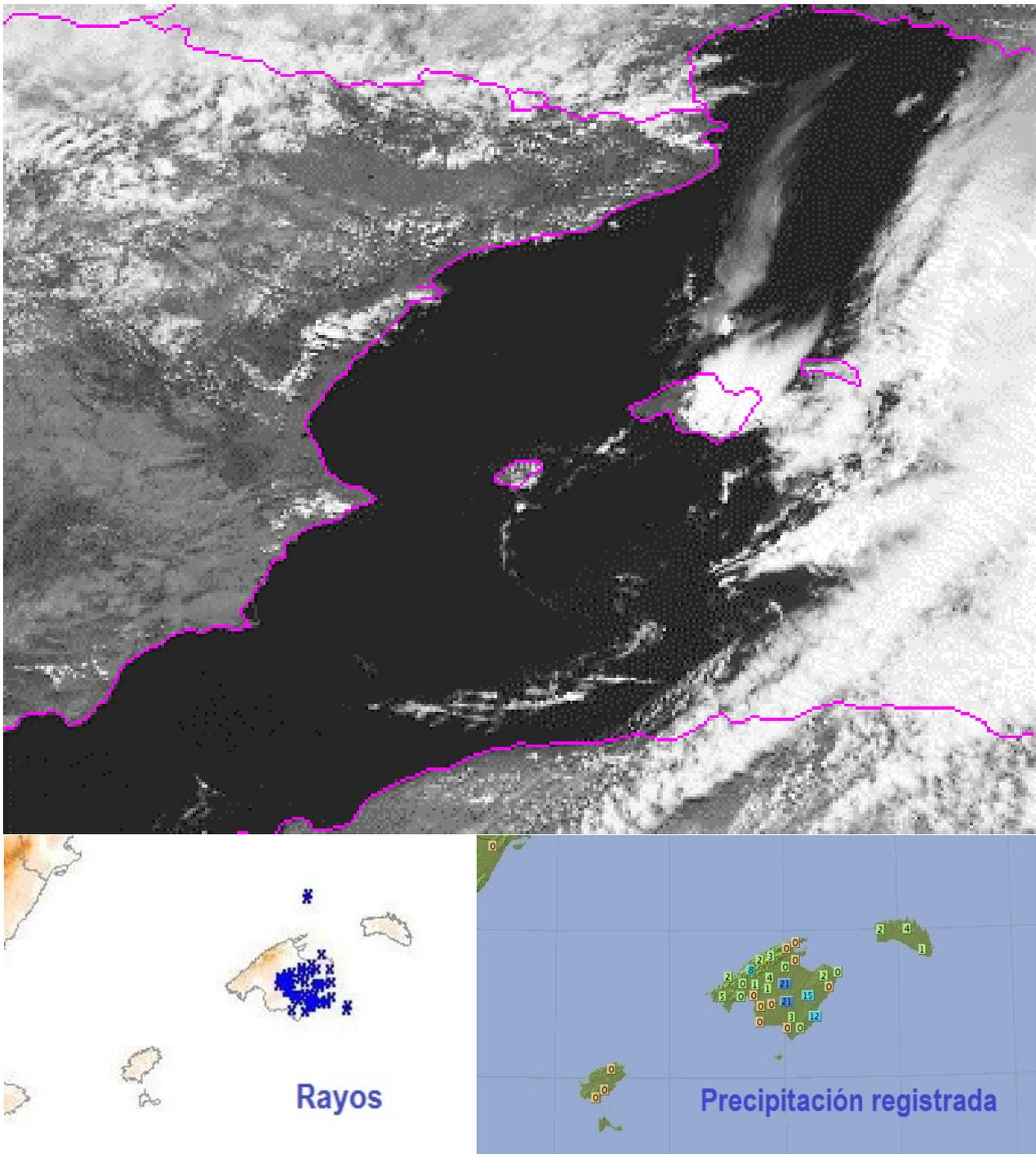


Figura 4.20: Célula tormentosa en el interior de Mallorca formada con ayuda de la convergencia de la brisa (arriba). Importante actividad eléctrica y registros superiores a 20 mm en puntos del interior de la isla (abajo), 30 de junio de 2017.

4.3.3 Fenómenos locales o de microescala

Cuando la extensión de los fenómenos se reduce, no excediendo de unos pocos kilómetros, entramos en la

microescala. Algunos ejemplos pueden ser los **cumulonimbos** aislados (Figura 4.21), las nubes lenticulares (Figura 4.22), los **tornados** y **trombas marinas**, los mares de nubes (Figura 4.23) o las nieblas locales, ya sean marítimas o en zonas de interior (Figura 4.24).



Figura 4.21: Algunos fenómenos de **microescala**: **cumulonimbos**. En el Pirineo catalán (izquierda) y la ciudad de Barcelona (derecha). Fotos: JOAN CARLES BULLÓN.



Figura 4.22: Algunos fenómenos de **microescala**: nubes lenticulares en el Pirineo catalán. Fotos: JOAN CARLES BULLÓN.



Figura 4.23: Algunos fenómenos de **microescala**: mares de nubes en la cara norte del Pirineo central francés. Fotos: JOAN CARLES BULLÓN.



Figura 4.24: Algunos fenómenos de *microescala*: *nieblas de advección* en la línea de costa de Barcelona.
Foto: JOAN CARLES BULLÓN.

La modelización de la meteorología a escala inferior a un kilómetro es muy complicada, pero existen ejemplos como los LES (Large Eddy Simulations, [3]), con resoluciones horizontales de pocas decenas de metros. La aplicación de estos modelos puede ser muy útil en casos como la instalación de parques eólicos. Los vientos locales son determinantes a la hora de decidir su ubicación. Y la modelización de vientos a escala aún más local para detectar zonas de mayor velocidad de viento o zonas de turbulencia puede servir para decidir el lugar de colocación de cada molino de viento dentro de la zona del parque, con la intención de conseguir un mayor rendimiento y un mayor tiempo de vida de las instalaciones.

4.4 El papel del predictor y su evolución: La predicción 2.0

El contenido de esta sección está desarrollado basándose en [8] actualizando, completando y contextualizando gran parte de lo ahí expuesto. Los predictores operativos son el último eslabón de una compleja cadena mediante la que se trasladan a la sociedad los beneficios de los continuos avances producidos en las ciencias atmosféricas. Desde sus inicios, la profesión del predictor se encuentra en continua transformación, aunque ha sido en las últimas décadas cuando la evolución exponencial en los avances científicos y tecnológicos ha abierto el debate sobre su papel en el futuro. Desde mediados de la década de los 80 existe la opinión generalizada de que, a medida que estas mejoras van reduciendo la intervención humana en cada vez más productos de predicción, el papel del

predictor humano debe irse adecuando continuamente para incorporar los avances en sus rutinas de trabajo. Cada vez son más habituales los *workshops*, o talleres, y foros de predictores [6, 7] en los que se analizan la evolución futura de la profesión y su adaptación a los cambios tecnológicos. A continuación se recogen algunos aspectos cruciales en la evolución futura de la profesión y que vienen marcando la labor del predictor operativo durante los últimos tiempos.

4.4.1 El predictor y la resistencia al cambio

Por la posición que ocupan al final de la cadena de producción, casi todos los avances tecnológicos y científicos en meteorología acaban afectando directa o indirectamente al trabajo de los predictores. La mayor parte de ellos son conscientes de que la adaptación a los cambios y la incorporación de nuevas herramientas de trabajo forman parte consustancial de su profesión. Sin embargo, entre el resto de compañeros del sector meteorológico ajenos a la operatividad, existe la creencia relativamente extendida de que los predictores trabajan con mucha inercia y demasiada resistencia al cambio. ¿A qué puede deberse esta diferencia de percepciones?

Por un lado, algunas características del trabajo operativo no ayudan a que el dinamismo y la adaptación permanente se perciban desde fuera como aspectos característicos de la profesión. Entre ellas destacan la preponderancia del trabajo en régimen de turnos en la mayoría de centros de predicción, o el hecho de que buena parte de los predictores desarrollen su trabajo en solitario o en grupos muy reducidos y en periodos fuera del horario de oficina (noches, vacaciones, fines de semana, festivos, etc.). Todos estos factores ralentizan tanto la adopción de nuevas herramientas de trabajo como el conocimiento de sus particularidades.

Paralelamente, esa aparentemente excesiva resistencia es la que ha permitido durante décadas el desarrollo de gran parte del llamado valor añadido del predictor. Este valor añadido “clásico” se construye mediante procesos cognitivos por los que el predictor reconoce patrones atmosféricos y los relaciona con los modelos conceptuales que conoce y situaciones atmosféricas pasadas. Esto requiere una cierta estabilidad en cuanto a las metodologías de trabajo, las herramientas y los protocolos de actuación, lo que además permite que exista una cierta homogeneidad y coherencia interna

en las actuaciones de los predictores operativos a lo largo del tiempo.

Esta concepción clásica del valor añadido ha evolucionado a medida que ha aumentado la fiabilidad de los modelos numéricos. La labor del predictor se extendió al papel de intermediario entre los modelos y las condiciones meteorológicas realmente esperables en su zona de influencia, actuando de traductor del modelo, haciendo una especie de *downscaling* (ver sec. 10.1 en la página 130) humano, por ejemplo, considerando sus sesgos sistemáticos, cuestionándolos y corrigiéndolos en los momentos clave, también en base a su experiencia.

En definitiva, el oficio del predictor se ve caracterizado por dos fuerzas actuando en sentido opuesto: una lo obliga a estar en permanente modernización; la otra, lo mantiene ligado a ciertas metodologías de trabajo que esencialmente no han cambiado desde hace varias décadas. Todo hace pensar que esta dualidad seguirá marcando la evolución de la profesión durante los próximos años, en los que la profesión podría sufrir un nuevo impulso o por el contrario ir restringiéndose a un número aún más reducido de profesionales cada vez más especializados.

4.4.2 La incertidumbre «se queda en casa»

El enfoque probabilista de la meteorología se ha ido imponiendo a lo largo de los últimos años, tanto en modelización como en muchas herramientas y productos de postproceso; a su vez los predictores operativos han incorporado este enfoque a su práctica diaria. Sin embargo, los avances en cuanto a la comunicación de la incertidumbre entre los distintos grupos de usuarios han sido más limitados (cap. 40 en la página 615). La sensación es que la incertidumbre «se queda en casa». Esto pone de manifiesto que el predictor no es la única parte que se resiste a los cambios: por ejemplo, muchos usuarios especializados tampoco están concienciados sobre la utilidad de la variable incertidumbre meteorológica en su toma de decisiones, a pesar de que a menudo sí que usan información probabilista en otros ámbitos de su actuación.

Las consecuencias negativas de esta escasa difusión de la información probabilista son múltiples. Por un lado para el predictor, que puede dejar de pensar en términos de incertidumbre y regresar al enfoque determinista ante la evidencia de que tiende a ignorarse

esta información. Esto puede conducirlo a la llamada «sobrepredicción», pues para la mayoría de predictores el «precio» de no pronosticar un fenómeno adverso se percibe mayor que el de pronosticarlo y que no llegue a producirse [7]. Por su parte el usuario estancado en predicciones deterministas sufrirá una pérdida de confianza en las predicciones y un desconocimiento de la precisión real de las mismas, perdiendo así la oportunidad de realizar su toma de decisiones de forma más efectiva.

4.4.3 El predictor «saturado»

Desde la irrupción de las computadoras en la práctica de la meteorología operativa, el predictor siempre ha contado con un abanico de herramientas y modelos a su alcance para ayudarlo en su labor. Cada predictor desarrolla una metodología propia para procesar y manejar toda esa información, y poder ver el bosque y no sólo los árboles. Merece la pena señalar que este proceso mental, es decir, el conjunto de procesos cognitivos que llevan a los predictores a tomar sus decisiones, es quizá uno de los aspectos menos estudiados de la meteorología. La bibliografía al respecto es bastante escasa: destacamos por ejemplo una clasificación de tipos de predictores en función de diversas características comunes [2], o un extenso estudio sociológico realizado por un investigador que convivió durante varios meses en una oficina regional de predicción del servicio meteorológico de los Estados Unidos [1].

Con el paso del tiempo, el número y la diversidad de herramientas y modelos numéricos (deterministas, probabilistas, atmosféricos, de oleaje, etc.) al alcance del predictor operativo no han hecho más que aumentar. No hay duda de que la mayor disponibilidad de modelos, cada uno con sus puntos débiles y fuertes, ha permitido mejorar la calidad de las predicciones. Pero por otra parte, la complejidad del proceso de toma de decisiones también ha aumentado proporcionalmente. Cuantos más modelos se deban manejar, más difícil se hace para el predictor conocerlos en profundidad. Además, la frecuencia de actualización y mejora de los modelos también ha ido aumentando durante los últimos años, por lo que el predictor, que anteriormente podía llegar a corregir sesgos de un modelo en base a la mera experiencia en su uso, hoy día puede no llegar a desarrollar esta experiencia antes de que se implante la siguiente versión.

Por otra parte, debería prestarse más atención a estudiar cómo explotar los modelos numéricos de manera óptima y cuáles son las «mejores prácticas» para que un predictor saque el mayor provecho de los mismos. Por ejemplo, actualmente están en auge los modelos no hidrostáticos de alta resolución como el HARMONIE-AROME AROME (sec. 10.1 en la página 130 y sec. 20.4 en la página 310), que no se pueden interpretar de la misma manera que los modelos globales o de área limitada disponibles hasta el momento [7]. Estos modelos de alta resolución pueden aportar una información muy valiosa en ocasiones y en otras muchas pueden conducir a pronósticos fallidos y falsas alarmas, sin que el predictor tenga hasta el momento una forma adecuada de distinguir unos y otros casos.

4.4.4 Meteorología operativa vs. meteorología de desarrollo

La mayoría de herramientas de trabajo al alcance del predictor operativo son el resultado del trabajo de profesionales de la meteorología externos a la predicción operativa (predictores numéricos o «desarrolladores» de cualquier tipo de productos para la operatividad). A pesar de ello, probablemente no existen dos profesiones con intereses tan unidos y formas tan distintas de vivirlos. Los «desarrolladores» tienden a focalizarse en los conceptos físicos más teóricos, tienen una profunda comprensión de la predicción numérica y amplias aptitudes fuera de la estricta meteorología (programación, etc). Por su parte, el predictor operativo centra su interés en los aspectos más prácticos, suele tener conocimientos muy generales sobre la predicción numérica y mucha soltura en la toma rápida de decisiones combinando distintas dosis de análisis, experiencia e intuición.

El predictor operativo se siente así como el destinatario último de gran parte del trabajo de los «desarrolladores», situado al final de una larga cadena con la que generalmente no llega a interactuar tanto como sería conveniente [4]. En general, entre ambos tipos de profesionales existe un cierto grado de desconocimiento sobre el «universo» laboral del opuesto. En ocasiones algunos predictores operativos pasan a formar parte del otro grupo, llevándose consigo una experiencia valiosa que podrán aprovechar en su nueva labor; el recorrido opuesto, por el contrario, está mucho menos transitado. Si se pusieran en marcha iniciativas orientadas a aumentar la interacción entre ambos grupos

de profesionales, o incluso a la creación de perfiles mixtos como es el caso en EE. UU., la predicción en su conjunto se beneficiaría. El predictor obtendría una información directa sobre las características de los modelos y de las herramientas desarrolladas para la predicción, que le podría ser muy útil para mejorar su explotación. Por su parte, el «desarrollador» podría igualmente beneficiarse de un contacto más «real» con aquello que los modelos buscan predecir y conocería de primera mano las necesidades de sus usuarios directos.

4.4.5 Redes sociales

El auge de las redes sociales en general y de *Twitter* en particular ha permitido introducir un nuevo canal de difusión de la información meteorológica elaborada por los grupos de predicción operativa y la posibilidad de establecer una vía de comunicación rápida y directa con el público general, con quien hasta ahora los contactos eran más bien escasos. Gracias a la amplia presencia de aficionados a la meteorología en estas redes, es muy frecuente recibir casi en tiempo real información de retorno muy valiosa en situaciones de tiempo adverso. Por ejemplo, mediante estos reportes puede llegarse a determinar casi en tiempo real la cota de nieve o la severidad de episodios convectivos, puesto que casi siempre vienen acompañados de testimonios gráficos. Anteriormente este tipo de observaciones sobre la ocurrencia de fenómenos atmosféricos singulares como granizadas severas, *trombas marinas* o pequeños *tornados* llegaban al predictor en mucha menor medida y con un desfase temporal muy superior.

A pesar de las bondades de esta herramienta social y su gran potencial de desarrollo futuro, es aconsejable tomar con cautela esta nueva fuente de información, sobre todo por la incertidumbre en ocasiones existente sobre su precisión y fiabilidad y por su distribución espacial y temporal tan variable.

4.4.6 El futuro valor añadido del predictor

¿Cuál será el papel del predictor humano en la meteorología operativa del futuro? Esta pregunta equivale a localizar y cuantificar el valor añadido que aún pueda aportar el predictor dentro de un universo meteorológico que, si no obramos con precaución, podría estar dominado por máquinas. Aunque la fiabilidad de los

modelos todavía tiene un amplio margen de mejora (por ejemplo en las situaciones de fenómenos adversos que es precisamente cuando más se necesita una buena predicción), parece claro que la frecuencia con la que un predictor podrá cuestionar y «corregir» al modelo continuará su tendencia decreciente. Por lo tanto, el valor añadido seguirá evolucionando y transformándose, quién sabe si perdiendo definitivamente los lazos que aún lo unen con su concepción más clásica.

Nos encaminamos así hacia una «predicción operativa 2.0», aunque sin conocer exactamente cuáles serán sus características. El trabajo cotidiano de un predictor debería estar ya evolucionando hacia ese horizonte futuro. Sin embargo, debido a factores de muy diverso tipo (organizativo, presupuestario, etc.) en muchos centros de trabajo una parte significativa del tiempo se sigue empleando en tareas que podría realizar mejor una máquina pero que aún no han sido automatizadas. La mayor orientación hacia tareas de consultoría y asesoramiento técnico a usuarios especializados, particularmente en el uso e interpretación de los nuevos productos -cada vez más basados en enfoques

probabilistas- es otro de los anunciados roles futuros del predictor operativo, que igualmente se ha venido retrasando, en parte debido a las resistencias de muchos usuarios hacia este tipo de predicciones probabilistas [4].

Así, aunque parece claro que la profesión vivirá cambios sustanciales durante los próximos años, la dirección exacta de estos cambios no está clara y las características de esa futura «predicción 2.0» actualmente no pueden concretarse. El reto de la predicción operativa en los próximos años pasa por realizar un análisis en profundidad sobre el estado del arte en meteorología, el tipo de servicios meteorológicos demandados por la sociedad y la evolución de ambos aspectos a corto y medio plazo, hasta encontrar un hueco en el que la profesión pueda seguir abriéndose camino: es un debate en el que esperamos tengan voz todos los eslabones de la cadena. Será fundamental llevar a cabo con éxito este análisis para evitar un escenario en el que, finalizada con éxito la automatización de todo lo automatizable, el predictor operativo pueda quedar relegado a las tareas residuales -una suerte de predictor humano «automatizado».

4.5 Referencias

- [1] FINE, Gary Alan. *Authors of the Storm: Meteorologists and the Culture of Prediction*. University of Chicago Press, 2009 (citado en página 44).
- [2] KLEIN, Gary A. *Sources of power: How people make decisions*. MIT press, 1999 (citado en página 44).
- [3] MONTORNÈS, Alex. “Modelització del recurs eòlic: nous horitzons”. En: *XXII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*. Barcelona, 26 de novembre de 2016. Barcelona, 2016 (citado en página 43).
- [4] NOVAK, David R, BRIGHT, David R y BRENNAN, Michael J. “Operational forecaster uncertainty needs and future roles”. En: *Weather and Forecasting* 23.6 (2008), páginas 1069-1084 (citado en páginas 45, 46).
- [5] ORLANSKI, L. “A rational subdivision of scale for atmospheric processes”. En: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 56 (1975), páginas 527-530 (citado en página 35).
- [6] SILLS, David M L. “On the MSC forecasters forums and the future role of the human forecaster”. En: *Bulletin of the American Meteorological Society* 90.5 (2009), páginas 619-627 (citado en página 43).
- [7] STUART, Neil A, SCHULTZ, David M y KLEIN, Gary A. “Maintaining the role of humans in the forecast process: Analyzing the psyche of expert forecasters”. En: *Bulletin of the American Meteorological Society* 88.12 (2007), páginas 1893-1898 (citado en páginas 43-45).
- [8] VIANA, Samuel y col. “La predicción operativa 2.0: Ventajas e inconvenientes de una profesión en constante transformación”. En: *XXXIII Jornadas de la AME y 14º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología*. Oviedo, 7-9 de abril. ISBN/ISSN: 978-84-697-0685-5. Madrid: AME, 2014 (citado en página 43).