

Evolución y tendencias actuales en predicción meteorológica

Angel Rivera Pérez

En este artículo se presenta la evolución de las actividades de la moderna predicción meteorológica en los últimos años así como su situación en el momento presente. A continuación se pasa revista a las tendencias para los próximos años marcadas fundamentalmente por la mejora en la predicción y vigilancia de fenómenos adversos, la popularización de las previsiones probabilísticas, la redefinición de los cometidos de los predictores y la cada vez más creciente coordinación y colaboración entre los Servicios Meteorológicos.

1. Introducción

Las predicciones meteorológicas han llegado a un nivel tal de popularidad y de difusión masiva a través de los distintos medios de comunicación, y singularmente de Inter-net, que a veces ello da lugar a que se conviertan en productos de calidad poco contrastada o poco inteligibles. Sin embargo, el proceso de la predicción meteorológica sigue siendo una cuestión verdaderamente apasionante y atractiva, donde se conjugan los últimos avances en modelización físico-matemática, los más recientes desarrollos en herramientas de cálculo, los métodos más novedosos de observación y teledetección y las más potentes herramientas de presentación y de difusión. Además, en este proceso, queda todavía un espacio singular y hoy por hoy insustituible, para el trabajo de la mente humana como elemento integrador de múltiples informaciones. En las líneas que siguen vamos a efectuar un somero repaso a la situación actual de la predicción meteorológica vista desde la perspectiva de un Servicio Meteorológico moderno con un compromiso de operatividad y fiabilidad y en la línea que es requerida por la sociedad actual, así como a los retos de la evolución que en este momento se plantea.

Evolución de la predicción meteorológica y situación actual

Desde la antigüedad, el hombre ha empleado muchos métodos de predicción del tiempo basados casi todos en la correlación de distintos fenómenos naturales con la evolución atmosférica en un mayor o menor plazo de tiempo. Algunos de estos métodos todavía persisten, como es el caso de las "cabañuelas", y nada cabría objetar sobre ellos si existen personas que estiman que les son útiles y obtienen beneficios al dejarse guiar por ellos. Sin embargo, ha sido a lo largo del siglo XIX y sobre todo del XX, cuando la poten-

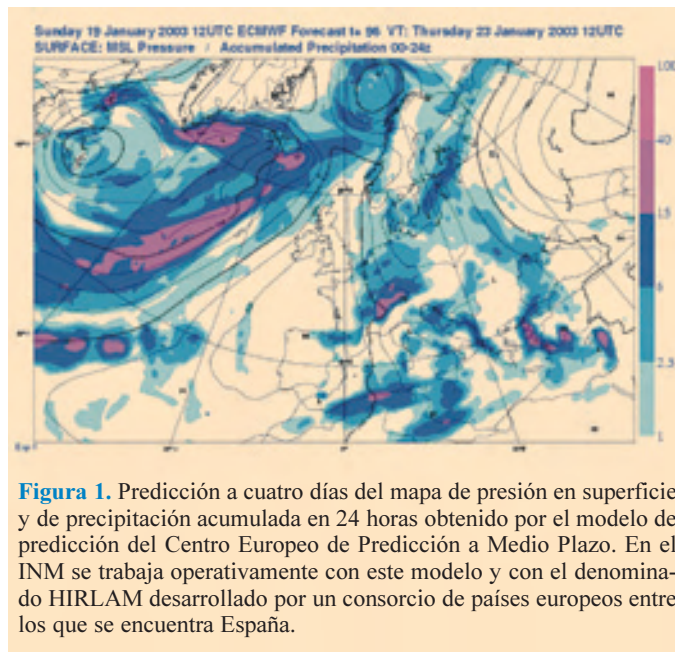


Figura 1. Predicción a cuatro días del mapa de presión en superficie y de precipitación acumulada en 24 horas obtenido por el modelo de predicción del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo. En el INM se trabaja operativamente con este modelo y con el denominado HIRLAM desarrollado por un consorcio de países europeos entre los que se encuentra España.

ciación de las observaciones y de las investigaciones de la atmósfera, el refinamiento de los métodos numéricos y el desarrollo de potentes herramientas de cálculo, han posibilitado la transición progresiva desde unas actividades de predicción con base científica pero con una gran carga de subjetividad, hasta el desarrollo de complejos modelos físico-matemáticos de la atmósfera que son la base fundamental de la mayor parte de la predicción meteorológica actual.

Estos modelos no son sino representaciones discretizadas de la atmósfera a través de una estructura de puntos de rejilla que cubren toda la Tierra, o

una parte mayor o menor de la misma, tanto en el plano horizontal, con una distancia entre puntos denominada resolución espacial del modelo, como en el plano vertical, siendo la distancia entre estos planos la denominada resolución vertical del mismo. A partir de todas las observaciones efectuadas sobre la superficie terrestre y de distintas zonas de la atmósfera en un momento dado es posible, mediante sofisticados métodos de asimilación, asignar a cada uno de esos puntos de rejilla un valor de las distintas variables atmosféricas tales como el viento, la temperatura o la humedad. Se genera de este modo un análisis de la atmósfera para una hora dada que es la mejor representación posible de la atmósfera para ese momento y que a su vez permite trabajar numéricamente con ella. A este análisis discretizado se le aplican las ecuaciones físico-matemáticas que describen la evolución atmosférica y se van realizando integraciones numéricas de las mismas para diferentes pasos de tiempo. De este modo van obteniéndose sucesivos estados previstos de la atmósfera a partir del análisis del cual se ha partido. Indudablemente, cuanto más cercano a la realidad haya sido ese análisis, tanto mejor habrá recogido el modelo la evolución correcta y la predicción será por tanto más exacta. Lamentablemente, nunca la cantidad ni la calidad de las

observaciones son las requeridas para conseguir un análisis lo suficientemente correcto como para que la predicción no se degrade significativamente más allá de los 6 o 7 días en el mejor de los casos. En cualquier caso debe señalarse que, por mucho que se incrementara el número y calidad de las observaciones, la evolución de la atmósfera es en general tan caótica que siempre habría un proceso de magnitud tan despreciable que fuera imposible detectarlo por estas observaciones, pero que a su vez fuera capaz en algunos casos de perturbar significativamente la mejor predicción que haya podido obtenerse de esos datos. Por esta razón, en la predicción meteorológica moderna, se está introduciendo cada vez más el concepto de probabilidad ya que la evolución prevista por un modelo solo tiene un cierto número de posibilidades de coincidir con la evolución real. El gran avance actual es que, si bien siempre se ha sabido que una predicción era siempre una probabilidad de ocurrencia de un determinado proceso atmosférico, en estos momentos está siendo ya posible cuantificar esa probabilidad, lo que constituye un avance fundamental para aquellas actividades en que las tomas de decisiones están fuertemente vinculadas a la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno.

Los resultados de un modelo numérico son un gran número de matrices susceptibles de distintos tratamientos. Pueden ser utilizadas directamente para alimentar otros modelos para distintas aplicaciones meteorológicas o de otro tipo o bien pueden ser tratadas por programas de generación de gráficos para convertirlas en mapas meteorológicos, que son la herramienta de trabajo de los predictores y que constituyen también la presentación más conocida y más fácilmente interpretada por los usuarios meteorológicos. En relación con la alimentación a otros modelos cabe resaltar el denominado sistema de predicción por análogos, operativo actualmente en el INM. Se basa en encontrar por técnicas objetivas en una base de situaciones meteorológicas de los últimos 20 años a las treinta más parecidas a la del día objeto de predicción tal como la establecen los modelos dinámicos. Dado que son conocidas las precipitaciones que se registraron en esas situaciones, es posible encontrar una estimación estadística de la probabilidad de que ese produzcan precipitaciones por encima de determinados umbrales.

Indudablemente la cuestión que se plantea y teniendo en cuenta la calidad creciente de estos modelos es la de cual es el papel de los predictores en el proceso de realización de las predicciones. Está claro que sólo puede ser el de la mejora de las mismas, el dar un valor añadido a los resultados de los modelos. Para ello cuenta con su conocimiento de los puntos fuertes y débiles de los mismos, su conocimiento de las características geográficas y meteorológicas de su zona de responsabilidad, y de su experiencia sobre como se comportan las distintas situaciones en su zona. A partir de todo ello debe ser capaz de llevar a cabo un proceso crítico e integrador. Indudablemente, en muchas ocasiones, el mejor valor añadido será no modificar los resultados de los modelos, pero en bastantes otras será posible mejorar o particularizar más sus resultados. Esto es especialmente cierto e importante en los casos de fenómenos atmosféricos que por sus características pueden ser de carácter adverso para la sociedad. Al ser fenómenos de carácter extremo y muchas veces de pequeñas dimensiones no son adecuadamente simulados por los modelos numéricos. Es ahí donde el predictor tiene que

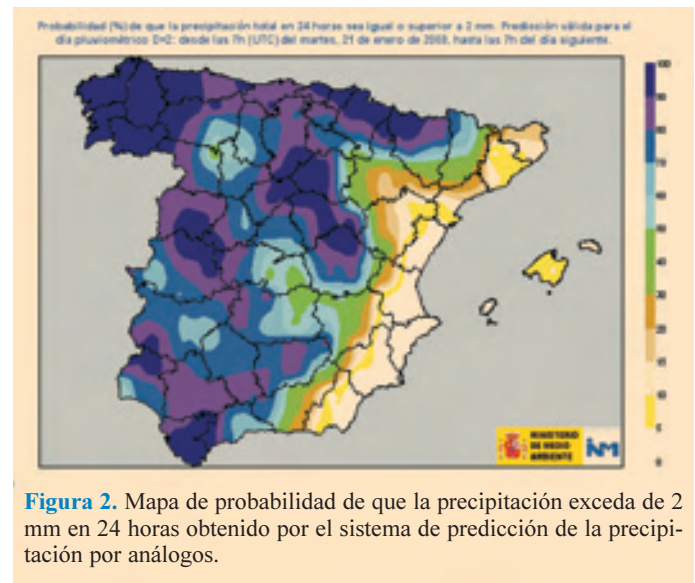


Figura 2. Mapa de probabilidad de que la precipitación exceda de 2 mm en 24 horas obtenido por el sistema de predicción de la precipitación por análogos.

reconocer la posibilidad de ocurrencia de tales situaciones a partir del reconocimiento de un escenario de mayor escala en el cual es posible que se produzcan esos fenómenos y decidir por tanto la emisión de los avisos correspondientes. En cualquier caso, la posibilidad de que el predictor pueda dar este valor añadido no suele llegar, en el mejor de los casos, más allá del tercer día de predicción. A partir de ahí, la incertidumbre sobre la posible evolución atmosférica, no permite el desarrollo de una aproximación regional mucho más profunda por parte de los predictores ya que sería algo así como aumentar el nivel de “ruido” que ya tiene el modelo a ese plazo. La experiencia indica que, a partir de ese plazo de predicción se alcanzan mejores resultados utilizando directamente las salidas de los modelos numéricos y añadiendo cuando es posible la probabilidad de ocurrencia de la situación prevista y de las alternativas que puedan existir a la misma.

Llegados a este punto es interesante detenerse un poco sobre como se generan estas probabilidades de ocurrencia a que nos venimos refiriendo. Como es sabido, la principal fuente de fallos de un modelo numérico, además de las propias limitaciones de su formulación, son los errores en los análisis de partida. Si es posible saber como estos errores pueden afectar a la propia evolución calculada por el modelo y qué otras evoluciones son posibles, entonces es posible también tener una medida de la probabilidad de que una determinada evolución pueda ocurrir. A tal efecto, se han desarrollado métodos como la predicción por conjuntos (ensemble prediction) que dan una idea sobre las distintas evoluciones posibles y su grado de fiabilidad. De este modo, pueden conducir a una toma de decisiones en tiempo real sobre cual va a ser la evolución atmosférica más probable y, a partir de ahí, desarrollar las predicciones para los distintos usuarios (Figura 3).

La predicción mediante modelos puede abarcar desde un punto de vista práctico los períodos de tiempo que van entre las 8 o 10 horas tras el momento de la observación hasta los ocho o nueve días en el mejor de los casos y ello con serias limitaciones dependiendo de la situación atmosférica concreta y de la época del año. No son muy raras las situaciones para las que es muy difícil ir más allá de las 60 o 72 horas.

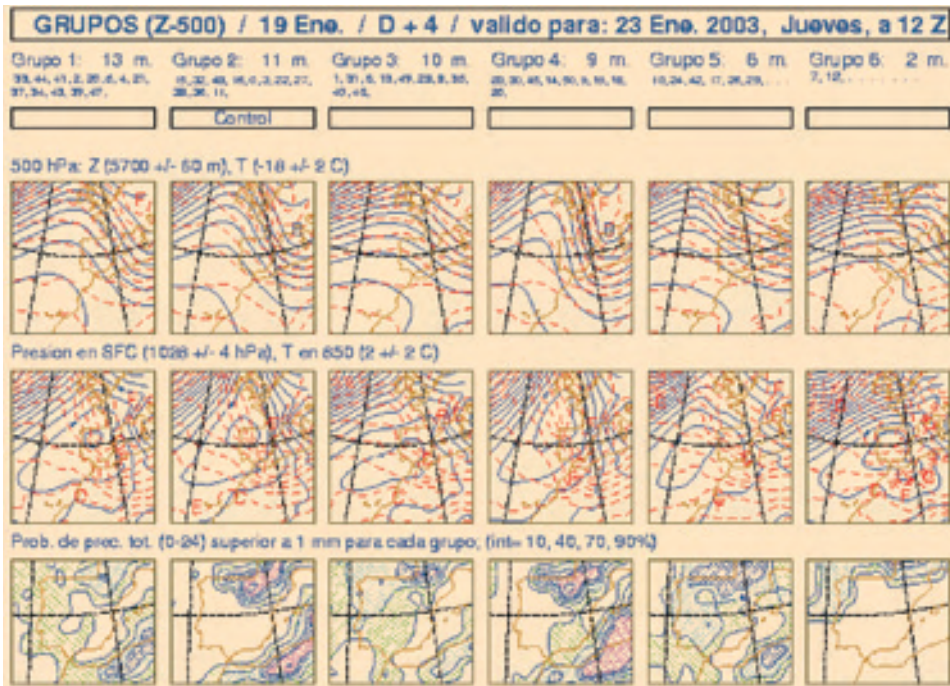


Figura 3. Grupos obtenidos por agrupación objetiva de las 51 posibles evoluciones obtenidas para un día concreto mediante el sistema de "predicción por conjuntos del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo. Para cada uno de las seis "familias" obtenidas se muestra el mapa de geopotencial y temperatura de 500 hPa, el mapa de presión en superficie y temperatura de 850 hPa y el mapa de probabilidad de ocurrencia de precipitación acumulada en 24 horas.

Por lo que respecta a las predicciones de carácter mensual, estacional o anual debe quedar claro que aunque los avances que se van realizando en los últimos años son muy significativos, los resultados para Europa son aún bastante pobres. En cualquier caso, es muy posible que, aún siendo conscientes de sus fuertes limitaciones para España, próximamente el INM comience a generar algunos productos de este tipo, dada la creciente demanda de los mismos y la difusión que a través de Internet se está produciendo ya de algunos de ellos.

Para períodos de tiempo inferiores a las cuatro a seis horas tras el momento de la observación, que no son adecuadamente resueltos todavía por los modelos numéricos, es preciso utilizar otras técnicas denominadas de predicción inmediata o de muy corto plazo y que se desarrollan a partir de extrapolaciones mas o menos complejas de los datos obtenidos con gran resolución espacial y temporal mediante tele-detección (radares, satélites, redes de detección de rayos...) y estaciones automáticas de superficie. Ello requiere también una vigilancia continuada de la evolución atmosférica y una rápida toma de decisiones sobre posibles envíos de avisos o de rectificación de predicciones. Debe tenerse en cuenta que, aunque la posible ocurrencia de fenómenos adversos tales como tormentas o lluvias intensas pueden ser previstos por los modelos numéricos con carácter general, para una amplia zona geográfica, y para un período de tiempo relativamente amplio, la determinación más concreta del lugar, momento de ocurrencia y cantidad de precipitación, solo puede ser aproximado - y no siempre- por este tipo de técnicas y de actividades y requiere una intervención necesaria de predictores expertos de su zona de responsabilidad (Figuras 4 y 5)

Si bien el predictor realiza una única predicción básica cada seis u ocho horas, ésta debe traducirse en gran cantidad

de productos adecuados a las necesidades y características de gran número de usuarios. Aunque durante muchos años los destinos básicos de las predicciones meteorológicas eran las actividades aeronáuticas y marítimas, el aumento en la calidad registrado en los últimos años ha conducido a que el número de usuarios haya crecido espectacularmente en número y diversidad. Debe reseñarse en cualquier caso el carácter de usuarios prioritarios que, junto con los anteriormente citados, representan los organismos responsables de la Protección Civil ya que la protección de vidas y bienes es la prioridad más alta de cualquier Servicio Meteorológico.

Tendencias de futuro

Toda la evolución que se acaba de reflejar, unido a la espectacular demanda de predicciones de todo tipo, marca las líneas generales de evolución que debe seguir la predicción meteorológica durante los próximos años. Por supuesto, la prioridad básica va a seguir siendo *proporcionar la mejor y más actualizada predicción*

posible sobre la ocurrencia de fenómenos meteorológicos potencialmente adversos. Si bien en España la sensibilidad sobre este tema es muy antigua y ha venido provocada en gran parte por los serios problemas de lluvias intensas en el área mediterránea, los sucesos de los últimos dos años en Europa han dejado muy clara la necesidad de mejorar las herramientas de predicción en sí mismas así como de mejo-

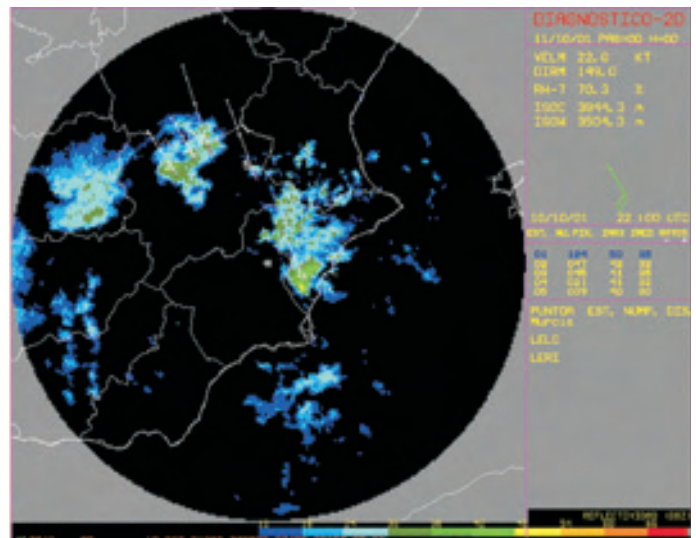


Figura 4. Imagen analizada correspondiente al radar del INM instalado en la provincia de Murcia. Corresponde a la situación tormentosa del 10 de octubre del 2001 en la que una tormenta con características de supercélula afectó a la zona de Elche. El proceso objetivo de análisis proporciona al predictor un conjunto de informaciones útiles sobre las células tormentosas que aparecen en la imagen así como de sus posibles desplazamientos en la próxima hora.

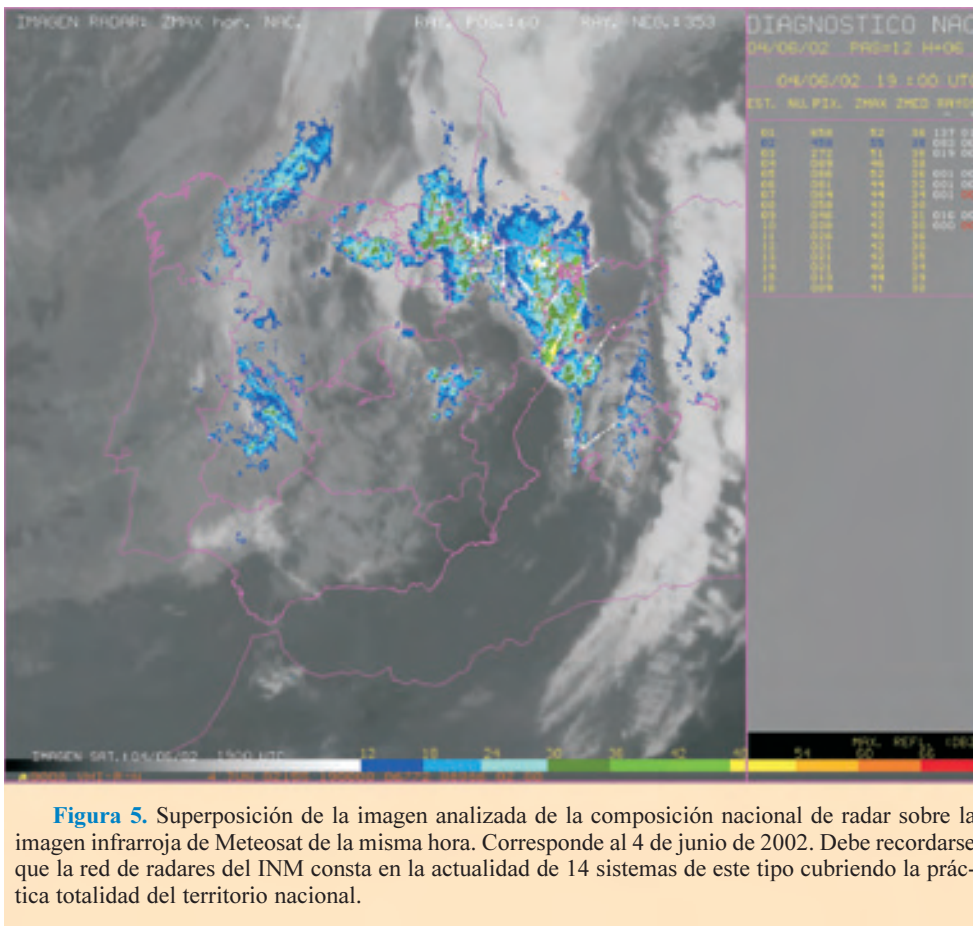


Figura 5. Superposición de la imagen analizada de la composición nacional de radar sobre la imagen infrarroja de Meteosat de la misma hora. Corresponde al 4 de junio de 2002. Debe recordarse que la red de radares del INM consta en la actualidad de 14 sistemas de este tipo cubriendo la práctica totalidad del territorio nacional.

rar significativamente los métodos de diseminación de los distintos avisos y la inteligibilidad de los mismos. A este respecto se está poniendo en marcha en estos momentos una iniciativa conjunta de distintos servicios meteorológicos europeos, entre ellos el español, para el desarrollo de un sistema gráfico europeo de avisos meteorológicos disponible en Internet. En cualquier caso se hace cada vez mas necesaria una mayor integración y quizás hasta una operatividad conjunta en tiempo real entre meteorólogos, hidrólogos, especialistas en impacto ambiental y técnicos de protección civil.

También, la necesidad de que los usuarios puedan disponer de una información meteorológica más útil y ajustada hace necesario la introducción con carácter general de las *predicciones probabilísticas para el público*, de acuerdo con los avances y desarrollos expuestos mas arriba. Debe tenerse en cuenta que, una predicción es siempre una probabilidad de que una determinada situación meteorológica ocurra en la realidad. Hasta ahora, el problema era que resultaba muy difícil cuantificar esa probabilidad de un modo mas o menos objetivo. En la actualidad, las técnicas de predicción por conjuntos, a las que se hacía referencia mas arriba, permiten tener esa cuantificación. Ahora bien, así como esa probabilidad cuantificada es muy útil para usuarios especializados que saben manejarla adecuadamente, y que incluso pueden introducirla en sus modelos matemáticos de toma de decisiones, se hace muy difícil trasladarla al gran público de un modo adecuado y comprensible. La dificultad para ello es doble: Por una parte, es difícil que público no formado mínimamente interprete adecuadamente qué quiere decir en rea-

lidad una probabilidad de que mañana pueda llover en una localidad dada entre 1y 5 mm, cuando siempre ha existido una marcada tendencia a exigir categoricidad en las predicciones. Por otra parte, es muy difícil “condensar” predicciones de este tipo en formatos lo suficientemente breves y claros para que sean aceptados por los diferentes medios de comunicación sin ser tergiversados o reducidos de un modo drástico e indiscriminado. En cualquier caso, la solución para todo ello debe venir de la realización y difusión de productos gráficos con preferencia a productos texto y a un esfuerzo de divulgación del modo más amplio y claro posible sobre la importancia e interpretación de estos productos. Otra línea interesante de evolución en los próximos años va a ser la *revisión y la reestructuración del papel jugado por los predictores en la realización de los distintos tipos de predicciones*. Si bien hasta hace pocos años, su papel no se cuestionaba en absoluto, la calidad creciente de los nuevos modelos numéricos de predicción y las nuevas herramientas objetivas de

detección y seguimiento de fenómenos atmosféricos a partir de datos de teledetección, ha abierto un debate necesario y oportuno sobre este tema. Todo parece indicar que el potencial y las posibilidades de sinergia de la mente humana deben aplicarse a aquellos fenómenos que no sean recogidos o identificados o seguidos todavía adecuadamente por los modelos numéricos o las herramientas de teledetección y que, por otra parte, tengan una marcada componente de adversidad para la sociedad. Se hace necesario por tanto ir desarrollando un nuevo modelo de predictor que conozca perfectamente las posibilidades de las herramientas que maneja y las características de los fenómenos atmosféricos a que debe enfrentarse para que su intervención en la realización de las predicciones o en la supervisión de las elaboradas por métodos automáticos, suponga una clara mejora sobre ellas. Lograr esto supone el desarrollo de un amplio esfuerzo de formación por parte de los Servicios Meteorológicos a veces difícil de abordar por muy distintos problemas. En cualquier caso, si no es posible abordarlo adecuadamente, se habrá perdido una oportunidad única de aplicar satisfactoriamente todo el potencial de la mente humana a la concreción y mejora de informaciones de importancia crítica para la sociedad.

En conexión con el punto anterior y teniendo en cuenta la amplísima demanda de todo tipo de predicciones meteorológicas, otra línea de evolución en cualquier caso necesitada de un debate previo es el *tipo de productos que debe proporcionar un Servicio Meteorológico*. Una demanda tan fuerte da lugar a que muchos de los productos que se solicitan deban

ser suministrados a partir de métodos puramente objetivos sin ninguna intervención de predictor, ya que no hay materialmente posibilidades de que éstos puedan supervisarlos cuidadosamente. Indudablemente estos productos deben tener un nivel mínimo de calidad pero aún así a veces estarán en cierta contradicción con productos quizás a mayor escala espacial y temporal pero elaborados directamente por predictores. Es necesario, por tanto, establecer cual debería ser el equilibrio adecuado calidad/cantidad en los productos de un Servicio Meteorológico teniendo también en cuenta las actividades de las iniciativas privadas. Indudablemente, aunque este tema tiene una marcada componente técnica, se trata de decisiones de otro nivel marcadas fundamentalmente por criterios de carácter comercial y de imagen.

Teniendo en cuenta todos estos planteamientos, el relativamente elevado coste que supone el mantenimiento de los Servicios Meteorológicos y las posibilidades de reestructurar parte al menos de las actividades operativas y de desarrollo, se está llevando a cabo una *colaboración creciente y efectiva entre los Servicios Meteorológicos europeos* que por el momento se ha plasmado en la creación de la sociedad EUMETNET y que podría llevar en el futuro hacia operatividades compartidas, aunque por el momento no cabe pensar en la creación de un único Servicio Meteorológico europeo. Debe señalarse como esta tendencia contrasta con la de la creación de Servicios Meteorológicos regionales en algunos países, entre ellos España. Indudablemente será necesario establecer un sistema de reparto de responsabilidades y tareas entre unos y otros de modo que pueda conseguirse el servicio más eficiente para los ciudadanos.

Para finalizar debe reseñarse como las modernas actividades de predicción y vigilancia meteorológica constituyen un amplio campo de convergencia entre actividades científicas, técnicas, operativas, divulgadoras y comerciales. Ante la complejidad creciente de todo ello y la también creciente demanda de público y usuarios especializados, *se hace necesaria una eficaz coordinación y normalización, hasta donde sea posible, de estas actividades*, de modo que la investigación universitaria tenga más en cuenta los problemas específicos de la operatividad, se refuerce la actividad operativa conjunta entre diversos especialistas en todas las labores relacionadas con la predicción y aviso de fenómenos adversos, se establezcan adecuados canales de colaboración y coordinación entre distintos Servicios Meteorológicos y empresas prestadoras de estos servicios y, sobre todo, pueda también procederse con la imprescindible colaboración de los medios de comunicación a una mayor comprensión por parte del público de las predicciones y avisos meteorológicos. Sólo así será posible aprovechar todas las informaciones y posibilidades ofrecidas por las modernas técnicas de predicción y vigilancia meteorológica.

Lecturas recomendadas

En el apartado de “Divulgación” de la página web del INM: www.inm.es puede encontrarse abundante información sobre varios de los temas tratados en este artículo.

Ángel Rivera Pérez

Área de Predicción y Aplicaciones.
Instituto Nacional de Meteorología

Premios y Distinciones

Antonio Luque López

Antonio Luque López ha sido recientemente galardonado con el Premio Nacional de Investigación “Juan de la Cierva” de Transferencia de Tecnología. Antonio Luque obtuvo la titulación de Ingeniero de Telecomunicación en Madrid en 1964 y tras ampliar sus estudios en la Universidad de Toulouse en Física de Sólidos se doctoró en 1967 con un trabajo sobre láseres de rubí. Actualmente es catedrático de Electrónica de la



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación en la Univ. Politécnica de Madrid. Ha recibido numerosas distinciones como el Premio Nacional “Leonardo Torres Quevedo” (1987), el “Alexandre-Edmond Becquerel Prize”

(1992) y es miembro de la Academia de Ingeniería (1995). Ha desempeñado numerosos puestos de dirección y asesoramiento de instituciones nacionales e internacionales y fundó entre otros el Laboratorio de Semiconductores y el Instituto de Energía solar (IES) en 1969. Su actividad científica ha estado siempre volcada a la reducción de los costes de la electricidad solar fotovoltaica, a menudo aumentando el rendimiento y usando luz concentrada, actividad que está en la raíz de que España sea el tercer productor mundial de células solares tras Japón y EEUU.