

LA COORDINACIÓN ENTRE EL SAIH Y EL SISTEMA DE VIGILANCIA METEOROLÓGICA DEL INM

Antonio Mestre Barceló.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe del Servicio de Aplicaciones Climatológicas
del Instituto Nacional de Meteorología.

RESUMEN

La coordinación operativa entre cada uno de los SAIH y el Sistema de Vigilancia Meteorológica del INM, constituye un elemento básico de cara, tanto a una mejor estimación de la precipitación, como a una más precisa predicción de los hidrogramas de avenida. El presente artículo, basado en una presentación realizada en las jornadas técnicas sobre el SAIH desarrolladas el pasado mes de abril en Zaragoza, comienza con una breve descripción del Sistema de Vigilancia Meteorológica del INM y sus principales componentes, detallándose a continuación el alto grado de complementariedad de este Sistema con el SAIH, mediante la enumeración del abanico de posibilidades que se abren para cada Sistema, en función del grado de integración que se consiga entre ambos.

ABSTRACT

The coordination in real-time between the SAIH and the Watch Meteorological System of the National Institute of Meteorology is a crucial objective to achieve in order to obtain better estimations of the areal rainfall and more accurate forecasts of the flood hydrograms.

The present article, based in a paper presented to the SAIH Technical Meeting, hold in Zaragoza in april 95, contains a brief description of the Watch Meteorological System and its main subsystems, following of a detailed explanation about the high level of complementarity among the two Systems. The extensive range of benefits for each system, as depending of the integration level finally reached is also shown.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el mismo momento en que se inició la gestación del Proyecto SAIH, se puso de manifiesto la necesidad de que el sistema que se iba a desarrollar y el Sistema Observacional y de Vigilancia Meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología (SIVIM) estuvieran plenamente coordinados ,

tanto en su fase de planificación como en sus posteriores actuaciones operativas, así como que las amplias ventajas que cada sistema puede extraer del otro serían proporcionales al grado de integración que finalmente se consiguiera.

Conscientes de esta necesidad, la Dirección General de Obras Hidráulicas y el Instituto Nacional de Meteorología crearon una comisión mixta

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
marzo de 1996.

Recibido en ROP:
octubre de 1995

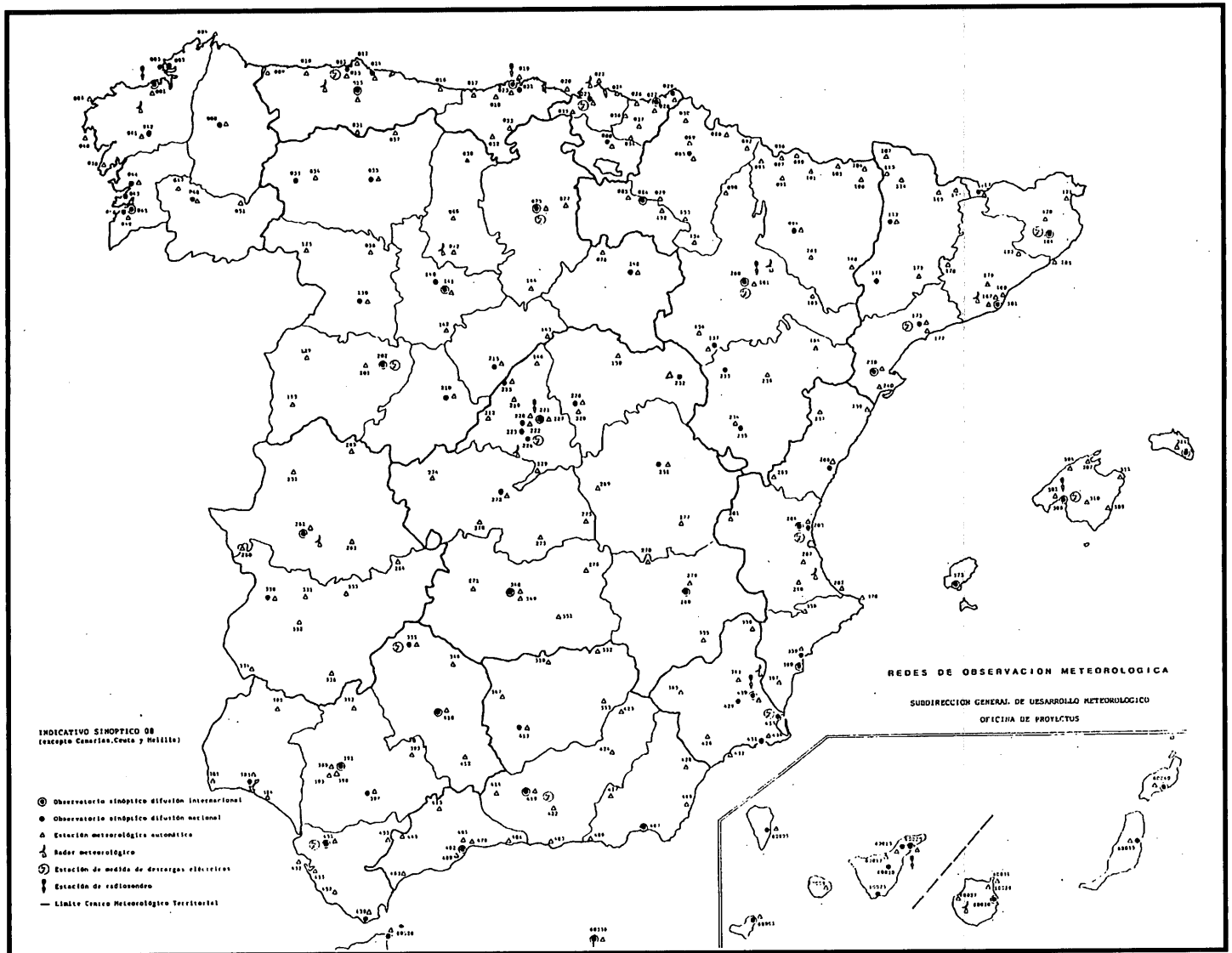


Figura 1.
Red observacional del INM.

de coordinación, con objeto de definir las actuaciones conjuntas a desarrollar. La primera reunión de esta Comisión tuvo lugar en el mes de Marzo de 1985, en un momento en el que, tanto el SAIH como el SIVIM se encontraban en sus primeras fases de desarrollo e implantación.

En 1992, tras una reunión entre los Directores Generales de ambos Organismos, el proceso de coordinación recibió un nuevo impulso, asistiendo desde entonces como representante del INM a las reuniones de coordinación del SAIH en ésta su segunda etapa. En el transcurso de estos prolongados contactos, así como de las reuniones específicas desarrolladas en las sedes de los Centros Meteorológicos Territoriales de la Vertiente Mediterrá-

nea, se han ido perfilando las características del flujo de información y datos a intercambiar, para cada una de las distintas fases del proceso de progresiva implantación, modulándose el ritmo del proceso de coordinación, a medida que se iba produciendo la progresiva implantación de los SAIH en las distintas cuencas hidrográficas y se iban desarrollando las distintas componentes y subsistemas del SIVIM, en particular la Red de Radares Meteorológicos y la Red de Estaciones Automáticas.

Antes de analizar de forma pormenorizada el alto grado de complementariedad de ambos Sistemas, se van a exponer de forma sucinta las características del SIVIM y de sus principales Subsistemas, todo ello analizado desde la óptica del

aprovechamiento que el SAIH puede obtener de los datos y productos que cada uno de ellos puede ofrecer.

2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VIGILANCIA METEOROLÓGICA

El Sistema Integrado de Vigilancia Meteorológica (SIVIM), nació como respuesta del INM a uno de los principales retos que tenía planteado a principio de la década de los años 80, que consistía en la puesta en marcha de un sistema que posibilitara la detección, predicción y aviso a las Autoridades competentes de la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, tales como lluvias intensas, vientos fuertes, etc.; fenómenos que, por las características de nuestro clima, afectan con excesiva frecuencia al territorio nacional, en especial a las regiones de la Vertiente Mediterránea.

El desarrollo práctico de los distintos subsistemas que componen el SIVIM se inició en 1984, enmarcado en un amplio proceso de renovación tecnológica que incluyó la implementación de un Sistema Nacional de Telecomunicaciones, basado en un ordenador CYBER con configuración dual, así como de un Sistema de Predicción Numérica que proporciona la capacidad de cálculo suficiente para el desarrollo y explotación de un modelo numérico de predicción de área limitada propio del INM (LAM - INM) y para la recepción del modelo de predicción a medio plazo elaborado por el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (CEPPM). Este último modelo proporciona, entre otros productos, mapas previstos a un plazo de hasta 10 días, si bien cabe aquí añadir que la fiabilidad de las predicciones disminuye rápidamente a partir del 5º día.

Actualmente los dos sistemas anteriormente citados se hallan en un acelerado proceso de modernización y renovación, que en el caso del Sistema de Predicción Numérica incluye el desarrollo y puesta en operación de un nuevo modelo numérico de alta resolución espacial (HIRLAM).

Además de los subsistemas ya citados, el SIVIM incorpora otros 4, que se fueron desarrollando a lo largo de los últimos años :

▼ El SAIDAS (Sistema de Aprovechamiento Integral de Datos de Satélites Meteorológicos).

▼ La Red de Radares Meteorológicos y el Sistema de Integración de Radares Meteorológicos (RERAM - SIRAM).

▼ La Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (REMAS).

▼ La Red Nacional de Detectores de Descargas Eléctricas (REDDEL).

Se describen a continuación, de forma esquemática, cada uno de estos subsistemas, en la medida en que ello contribuirá a una mejor comprensión del nivel de complementariedad existente entre el SIVIM y el SAIH. En la figura 1 se puede apreciar la distribución geográfica de la red observacional del Instituto Nacional de Meteorología, incluyéndose en el mapa: Las Estaciones Meteorológicas Automáticas, los radares meteorológicos, las estaciones de radiosondeo y los puntos de localización de los sensores de la red de detectores de descargas eléctricas.

EL SISTEMA SAIDAS

Este Sistema constituye uno de los elementos esenciales del SIVIM, posibilitando la detección y seguimiento de los fenómenos meteorológicos. Incluye la adquisición y tratamiento digital de imágenes satelitales, integrando asimismo una parte considerable de la información generada por los restantes subsistemas del SIVIM (Radares Meteorológicos, Estaciones Meteorológicas Automáticas, Salidas de modelos numéricos...). Cuenta con sus propias cadenas de entrada de información de satélite, mientras la ingestión del resto de los datos y el procesado de la totalidad de los mismos se realiza en el Ordenador Central de proceso, todo ello soportado por un sistema denominado McIDAS (Man Computer Interactive Data Access System), desarrollado en 1989 por la Universidad de Wisconsin, que dispone de numerosos programas de aplicaciones generados principalmente a partir de información procedente de los distintos satélites meteorológicos (METEOSA, NOAA...). Durante los últimos años se ha llevado a cabo un importante esfuerzo para la modernización del logicial básico del Sistema McIDAS y de las adaptaciones a las distintas aplicaciones.

El sistema dispone de estaciones locales en los Servicios Centrales del INM y remotas en 10 Centros Meteorológicos Territoriales .

Cabe resaltar que, a partir de los datos satelitales, y mediante la combinación de imágenes en los canales visible e infrarrojo, se obtienen productos de interés hidrológico, ya que permiten una estimación de la intensidad de precipitación, así como de la probabilidad de que se esté produciendo lluvia.

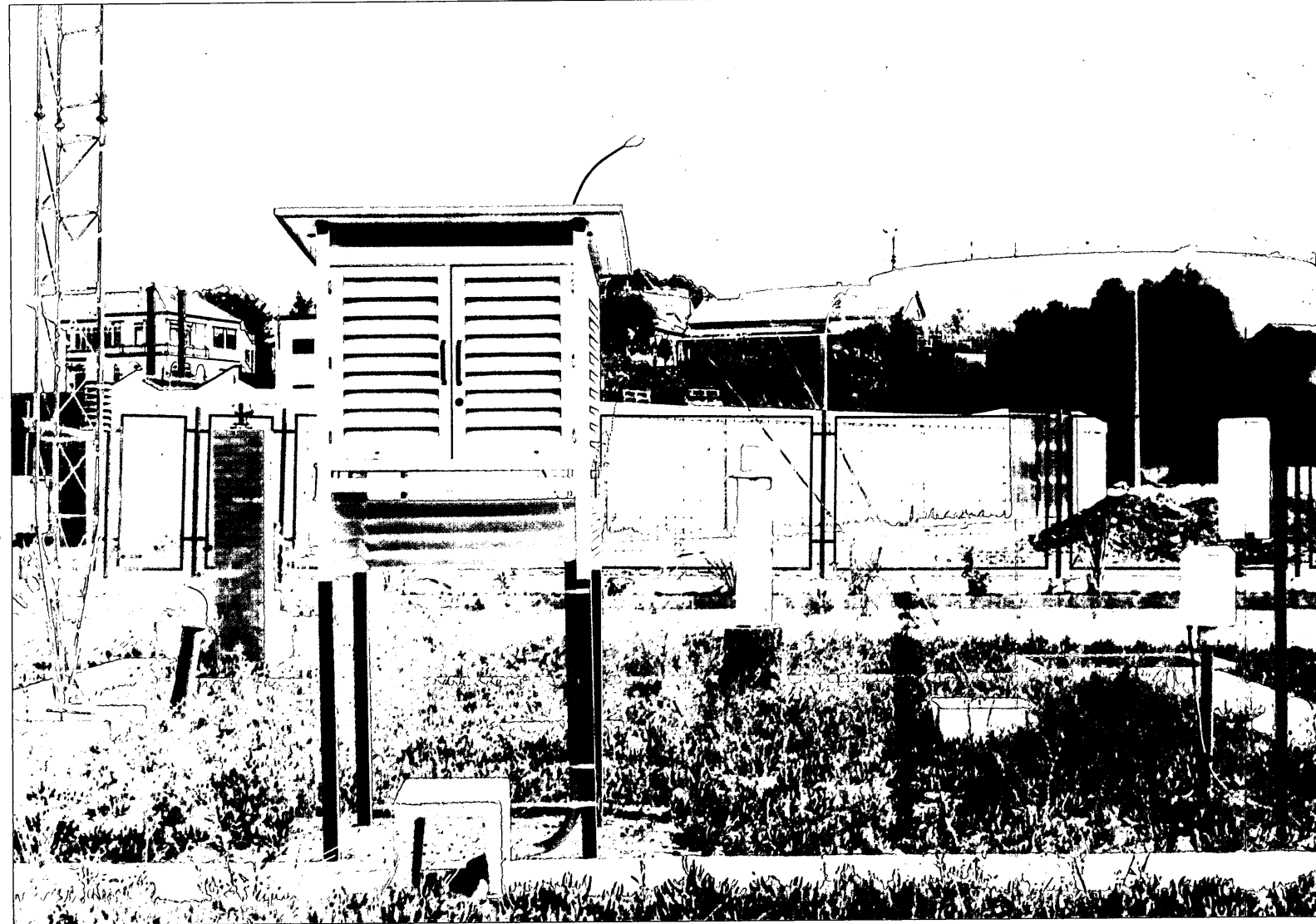


Figura 2 Estación Meteorológica Automática.

LA RED DE RADARES METEOROLÓGICOS

Esta red, una vez esté completamente desarrollada, cubrirá mediante 15 radares la totalidad del territorio nacional, teniendo cada uno de los radares citados un alcance del orden de los 200 Km. La explotación completa de la información radar obtenida se realiza a nivel regional en los Grupos de Predicción y Vigilancia de los Centros Meteorológicos Territoriales, en tanto que una selección de los productos radar generados se reciben en Madrid, donde con menor resolución espacial que en los CMT (4x4 Km frente a 2x2 Km), se generan composiciones nacionales de los radares regionales, así como productos combinados radar-satélite que, una vez confeccionados, se remiten a los Centros Meteorológicos Territoriales del INM.

La Red consta en esencia de tres módulos :

- ▼ Los Radares.
- ▼ Los Sistemas de adquisición y tratamiento de la información obtenida.
- ▼ El Sistema de Integración de la Red, ubicado en el Centro Nacional Radar de Madrid.

Para la gestión de los datos se dispone de miniordenadores VAX (DIGITAL), tanto para el proceso local en los CMT como en el Centro Nacional. La conexión entre el Ordenador Central y los remotos se realiza mediante líneas dedicadas, integrándose los datos radar en el SAIDAS.

En la actualidad, los radares instalados y en operación son los siguientes: La Coruña, Asturias, Palencia, Madrid, Barcelona, Zaragoza, Valencia,

Murcia, Las Palmas, Cáceres, Bilbao y Sevilla, en total 12 de los 15 previstos.

Entre los productos generados por el radar, cabe citar por su específico interés para aplicaciones hidrológicas, los siguientes :

- ▼ Estimación de la intensidad instantánea de la precipitación, en retícula, a partir de los valores de la reflectividad medidos por el radar.
- ▼ Estimación del valor de la precipitación acumulada en un determinado intervalo temporal mediante integración de los valores de la intensidad instantánea de precipitación.
- ▼ Predicción de la precipitación acumulada en un determinado intervalo temporal (de 1 a 3 horas), a partir de la extrapolación lineal de ecos.

Los valores de la intensidad de precipitación y de la precipitación acumulada prevista se pueden igualmente obtener mediante uso combinado de datos procedentes del radar y de la teledetección satelital.

LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

Consta de un total de 235 Estaciones instaladas dotadas de sensores para la medida de la temperatura, viento, humedad relativa, presión y precipitación, obteniéndose los datos cada 10 minutos. Del conjunto de Estaciones Automáticas, 213 disponen de línea de comunicación para poder ser interrogadas desde los distintos Centros Meteorológicos Territoriales.

Actualmente la gestión de los datos se realiza con ordenadores personales, integrándose una parte de dichos datos en el sistema SAIDAS, si bien está en marcha la implementación de un nuevo sistema de concentración y gestión de los datos que, en un plazo muy breve, posibilitará una gran flexibilidad para el desarrollo de aplicaciones, estando prevista la puesta en operación de una terminal de usuario, que podrá ser utilizada como interface con el Sistema SAIH para el intercambio en tiempo real de datos pluviométricos. En la figura 2, se puede observar una de las Estaciones Meteorológicas Automáticas de la red del INM.

LA RED DE DETECTORES DE DESCARGAS ELÉCTRICAS

Está formada por un conjunto de 14 detectores de rayos, cada uno de los cuales registra más del

90% de las descargas eléctricas nube-tierra que se registran en un radio de 370 Km. alrededor del sensor, reduciéndose la eficacia a medida que nos distanciamos más del detector.

El sistema permite la localización de los puntos de caída de los rayos con gran precisión (como máximo 3 ó 4 Km. de error), anotando el instante de la caída, la intensidad de la descarga y su polaridad.

Los datos se remiten mediante línea dedicada a un concentrador nacional que los procesa, presenta los resultados e integra la información resultante en el sistema SAIDAS, habiéndose desarrollado un sistema de monitorización de los datos sobre mapas predefinidos.

3. LAS VENTAJAS POTENCIALES DE LA COORDINACIÓN PARA EL SAIH

En relación con el análisis de la complementariedad en el sentido SIVIM-SAIH se pueden identificar dos aspectos fundamentales, la mejora en la estimación de la precipitación caída y la posibilidad de incorporar a los modelos hidrológicos predicciones cuantitativas de la precipitación, al margen de otros aspectos complementarios. Analizaremos a continuación, por separado, cada una de estas cuestiones.

MEJORA EN LA ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Las actuaciones a realizar en caso de avenidas y, en general, cualquier decisión que se adopte en materia de gestión de recursos hídricos requiere el disponer de un conocimiento lo más detallado, preciso, y en el más breve plazo posible de la intensidad de las precipitaciones que están cayendo en un momento determinado y de los valores areales acumulados en un intervalo temporal predefinido.

A este respecto la introducción de datos procedentes del Sistema de Vigilancia Meteorológica en el SAIH, aporta un conjunto de ventajas en relación con la fiabilidad y precisión de estas estimaciones, que se exponen a continuación:

- ▼ a) Densificación de la red observacional de la precipitación en tiempo real, al incorporarse los datos procedentes de la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas del INM.

En relación con este aspecto de la complementariedad de los sistemas, cabe resaltar que, aunque dadas las respectivas densidades de ambas redes, la aportación pueda parecer porcentualmente modesta, resulta significativa en orden a corregir el posible sesgo en la estimación de la precipitación areal mediante el uso exclusivo de los pluviómetros del SAIH, causado por la distribución espacial de una red pluviográfica asociada a la red hidrográfica, lo que puede ser no despreciable en situaciones en las que la intensidad de las precipitaciones y su distribución están influidas de modo importante por efectos de tipo orográfico.

Un elemento colateral, pero de no desdeñable importancia a considerar en este punto en relación con los SAIH pendientes de ejecución es la conveniencia de que, al procederse al diseño de las redes pluviométricas, se tengan en cuenta las ubicaciones de las EMAS del INM, con objeto de conseguir una minimización de los errores de interpolación, mejorando con ello la estimación de la precipitación areal.

- ▼ **b)** Se posibilita el uso conjunto de los productos obtenidos mediante teledetección y los datos pluviométricos para una mejor estimación de la precipitación.

Se puede analizar este aspecto de la complementariedad de sistemas considerando dos niveles de integración distintos.

- ▼ En un primer nivel, simplemente el disponer de estimaciones de la intensidad instantánea de la precipitación ó de acumulaciones sobre un determinado intervalo temporal, en retícula y con una elevada resolución espacial, aún teniendo en cuenta los problemas de interpretación que plantean frecuentemente las imágenes radar y los factores de escala que pueden estar presentes, dada la dificultad de llevar a cabo una precisa calibración de los mismos, permiten un notable incremento en el conocimiento cualitativo de la estructura espacial de los campos de precipitación. Cabe resaltar al respecto que los campos de precipitaciones asociados a episodios de lluvias fuertes se suelen caracterizar en nuestro país por fuertes gradientes espaciales y una acusada variabilidad temporal, por lo que se requerirían redes pluviométricas enormemente densas para asegurar que los fenómenos de menor escala, que además se de-

sarrollan frecuentemente en zonas de divisoria de cuencas, no pasen desapercibidos.

Por otra parte la introducción de estimaciones de tipo reticular, facilita la incorporación de metodologías adicionales para el relleno de lagunas espaciales y temporales, cuando no se dispone de datos de alguna estación concreta.

- ▼ El segundo nivel, que corresponde al máximo aprovechamiento, desde el punto de vista su aplicación hidrológica, de la información obtenida por el uso de la teledetección terrestre o satelital, se consigue mediante la elaboración en tiempo real de productos integrados radar-pluviómetro. De especial interés es la elaboración de mapas de acumulaciones en retícula, para un intervalo temporal adecuado (por ejemplo 1 hora), obtenidos mediante interpolación conjunta de los datos de la red pluviométrica del SAIH y los valores de las precipitaciones acumuladas obtenidas mediante el radar solamente o mediante combinación radar-satélite, una vez dispuestos los datos correspondientes en un sistema único.

Existen numerosos métodos matemáticos que permiten realizar la integración citada, pero la técnica que se escoja debería preferiblemente cumplir con una serie de requisitos, que podríamos resumir en 3 fundamentales:

- ▼ Que permita generar simultáneamente un campo de errores asociado.
- ▼ Que admita la posibilidad de incorporar conjuntamente las distintas variables asociadas a la estimación de la precipitación por diferentes sistemas.
- ▼ Que permita la inclusión de los factores topográficos como campos de forzamiento asociados, cuando se disponga de una correlación precipitación-orografía significativa.
- ▼ Que sea flexible en el sentido de adaptarse en cada momento a los datos disponibles.

Las técnicas geoestadísticas cumplen estos requisitos. En particular el conjunto de métodos denominados de "cokrigado", pueden trabajar con un conjunto de variables correlacionadas (precipitación medida por el pluviómetro, reflectividad del radar, radiancia leída por el satélite, altitud sobre el nivel del mar).

Los pasos básicos para la aplicación de esta técnica, sin entrar en el detalle de las formulaciones matemáticas, son los siguientes:

- ▼ i) Un examen de la covarianza de los datos en función de la separación entre éstos (semivariograma experimental).
- ▼ ii) El ajuste de modelos teóricos al semivariograma experimental.
- ▼ iii) La estimación de la variable (ó función de distribución) objetivo, en nuestro caso la precipitación acumulada en una rejilla, ya sea puntualmente o por bloques.

Para acabar con esta breve exposición sobre las técnicas de generación de productos combinados para la estimación de la precipitación conviene citar la gran flexibilidad de las técnicas geoestadísticas, que permite tener en cuenta factores como la acusada no normalidad de la precipitación cuando se acumula en pequeños intervalos temporales, mediante el uso de las técnicas denominadas de krigeado no lineal. Finalmente indicar que la integración operativa en tiempo real exige la consideración de aspectos como la automatización, el tiempo de ejecución, la sencillez de los procesos a la hora de la implementación del sistema y la selección del método de krigeado.

LA PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Sin lugar a dudas, la disponibilidad por parte de las Confederaciones Hidrográficas de campos de precipitaciones previstos con una adecuada resolución espacial y temporal sería para los SAIH de enorme utilidad, especialmente para la gestión de las cuencas de pequeña superficie y régimen torrencial. Sin embargo, la ciencia meteorológica no ha llegado aún a un grado de desarrollo tan elevado como para poder disponer de este tipo de predicciones cuantitativas con la fiabilidad y resolución espacial adecuadas para su entrada directa en modelos hidrológicos.

No obstante, y dado que la disposición de valores numéricos en retícula de la precipitación prevista, aún con un elevado grado de incertidumbre, puede ser de utilidad para una mejor estimación de los hidrogramas, se pasa a continuación revista a las distintas alternativas que se plantean en relación con los productos de predicción cuantitativa de la precipitación obtenidos a partir de la red de vigilancia meteorológica, que

podrían ser de gran interés para los SAIH, una vez concluido su proceso de desarrollo y validación.

El radar meteorológico proporciona estimaciones de la precipitación acumulada para un período de hasta 3 horas, realizándose la predicción mediante técnicas de advección de los ecos de radar, a partir de un proceso que contiene el previo reconocimiento de formas y el desplazamiento según el viento en altura observado. Este método de estimación, por consiguiente, no toma en consideración factores que son esenciales en las situaciones que en España producen las precipitaciones más intensas, como son los desarrollos de los sistemas que producen las lluvias y los efectos de reforzamiento orográfico, por lo que los valores que predice deben ser tomados con mucha cautela, si bien, frente a las grandes limitaciones expuestas cuenta con la ventaja de que lleva asociado un valor numérico que representa el grado de fiabilidad de la extrapolación, en función de la correlación espacial entre 2 imágenes consecutivas.

Otra alternativa a explorar en el futuro próximo radica en el uso de las salidas directas de predicción de la precipitación de los modelos numéricos de área limitada y alta resolución, que facilitan valores numéricos en retículas de unas pocas decenas de Km. de lado para un período de previsión desde 6 hasta 48 horas. Frente a una menor resolución espacial y temporal, este tipo de productos dispone de la ventaja de que incorpora un contenido físico en su formulación que no tienen las extrapolaciones de ecos del radar.

Por otra parte cabe resaltar el interés mostrado por las Confederaciones Hidrográficas por contar con los datos de la Red de Descargas Eléctricas, al permitir el seguimiento de las células tormentosas y, eventualmente, la adopción de medidas de protección de los sistemas de medida, transmisión y proceso de datos, lo que demuestra que la práctica totalidad de los subsistemas del Sistema de Vigilancia Meteorológica puede resultar de gran utilidad para el SAIH.

Para finalizar este epígrafe sólo añadir que la mayoría de los productos citados, especialmente los obtenidos mediante teledetección, requieren un cierto adiestramiento previo para una correcta comprensión y aprovechamiento de la información contenida, por lo que la formación, por parte del personal técnico del INM de los usuarios de los productos constituye un aspecto importante a considerar en el proceso de coordinación.

4. VENTAJAS DE LA COORDINACIÓN PARA EL INM

La disponibilidad en tiempo real de un elevado número de datos pluviométricos, aporta un elemento de significativa importancia para el Sistema de Vigilancia Meteorológica, así como para otras actividades del INM. En particular posibilita un mejor conocimiento de la estructura de los sistemas que producen las precipitaciones intensas, válido tanto para una mejor predicción del comportamiento de los mismos como para abordar con mayor precisión una climatología de las precipitaciones fuertes.

Desarrollando en mayor detalle las ideas expuestas podemos resaltar dos ventajas fundamentales :

▼ a) Posibilita, mediante la elaboración de productos combinados radar-pluviómetro, una calibración "en tiempo real" del radar meteorológico, que se puede realizar bajo una amplia gama de situaciones meteorológicas.

Este hecho abre el camino a un mayor desarrollo de las aplicaciones hidrológicas del radar, ejerciendo un efecto de retroalimentación positiva sobre las actividades de predicción cuantitativa de la precipitación, tanto por la posibilidad de aplicar las técnicas de estimación del desplazamiento del sistema a los campos de precipitaciones así obtenidos, con lo que se mejoraría la fiabilidad de las acumulaciones previstas, como por la mayor información de que dispondrían los predictores para interpretar la situación y poder realizar una predicción subjetiva más precisa en el plazo inmediato y a muy corto plazo.

▼ b) Desde el punto de vista climatológico , propicia el desarrollo de una climatología de las precipitaciones intensas más fundamentada.

Este aspecto de la coordinación, hace referencia tanto a la consolidación de un cuerpo de doctrina acerca de la estructura de los campos de precipitación asociados a los sistemas nubosos que generan precipitaciones intensas, como al impulso que propiciaría en el desarro-

llo de estudios climatológicos más específicamente enfocados a las aplicaciones al sector hidrológico.

Entre los estudios que se beneficiarían de los datos adicionales aportados por el SAIH se pueden citar por su interés, los siguientes:

▼ i) Extensión del análisis frecuencial de las lluvias extremas sobre períodos de 24 horas a otros intervalos temporales menores, sobre un elevado número de puntos observacionales, lo que permitiría un estudio regionalizado.

▼ ii) Extensión del análisis frecuencial de valores puntuales de la precipitación a valores areales.

▼ iii) Desarrollo de un estudio más pormenorizado de los gradientes pluviométricos con la altura para diversas situaciones sinópticas.

Para finalizar esta breve presentación y a modo de resumen de lo expuesto se enumeran lo que serían las 4 fases en un progresivo proceso de integración entre las redes observacional y de Vigilancia Meteorológica del INM y el SAIH, ordenadas de menor a mayor complejidad y de menor a mayor nivel de integración:

▼ 1) Intercambio de datos pluviométricos en tiempo real.

▼ 2) Introducción en el sistema SAIH de productos para la estimación de la precipitación acumulada y de la intensidad de precipitación , obtenidos mediante radar meteorológico, teledetección satelital o uso conjunto de radar y satélite.

▼ 3) Elaboración optimizada en tiempo real de campos de precipitación acumulada, estimados mediante uso conjunto de datos pluviométricos y obtenidos mediante teledetección.

▼ 4) Generación de campos de precipitación prevista, válidos para ser utilizados en los modelos hidrológicos del SAIH, bien mediante la estimación del desplazamiento del campo de precipitación obtenido en la fase anterior o mediante otros métodos (empleo de salidas de modelos numéricos de alta resolución). ●