

# ENLACE ENTRE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA EN LA PREVISIÓN DE CRECIDAS EN TIEMPO REAL EN ESPAÑA

**Angel Luis Aldana Valverde**<sup>1</sup>, **Fernando Aguado Encabo**<sup>2</sup>, **Marcelino Manso Rejón**<sup>2</sup>, **Antonio Mestre Barceló**<sup>2</sup> y **Justo Mora Alonso-Muñoyerro**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Fomento. Paseo Bajo Virgen del Puerto nº 3. 28005 MADRID. e-mail: [Angel.L.Aldana@cedex.es](mailto:Angel.L.Aldana@cedex.es) web: <http://hercules.cedex.es/hidraulica>.<sup>2</sup> Instituto Nacional de Meteorología. Camino de las Moreras s/n. 28040 Madrid, España. e-mail: [amestre@inm.es](mailto:amestre@inm.es) web: <http://www.inm.es>.<sup>3</sup> Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Ministerio de Medio Ambiente. e-mail: [JMora@mma.es](mailto:JMora@mma.es) web: <http://www.mma.es/>

## **Resumen**

*Se analiza el problema de la previsión de crecidas en tiempo real, con especial dedicación a lo relativo a necesidades prácticas de información y coordinación entre agentes involucrados, y se exponen las soluciones que se están implementando en España para el problema de la previsión hidrológica en tiempo real, basadas en los datos de los SAIH (sistemas automáticos de información hidrológica), los radares meteorológicos y los resultados de los modelos numéricos de predicción meteorológica. Con esta información, y gracias al estado actual de las tecnologías de la información y las comunicaciones, es posible utilizar, en tiempo real, modelos de previsión hidrológica y de gestión de embalses en tiempo real.*

*Para estos fines se estiman especialmente útiles el mosaico nacional de estimación de precipitaciones basado en la red de radares meteorológicos, las salidas numéricas del modelo HIRLAM y las del Sistema de Predicción Analógica de la Precipitación.*

*Algunas de las soluciones están ya operativas en los SAIH de diversas cuencas y han sido generadas sobre el entorno de desarrollo y aplicación de modelos de previsión hidrológica denominado EDIMACHI.*

**Palabras clave** Modelos numéricos de predicción meteorológica, previsión hidrológica, sistemas en tiempo real, radares meteorológicos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Dado el estado actual de desarrollo social y económico de países como España, resulta ineludible ofrecer soluciones a los problemas asociados a los fenómenos de avenidas e inundaciones, en respuesta a un nivel de exigencia creciente en el tiempo. Por ello resulta obligado, en el mundo de la hidráulica y la hidrología, la utilización de los modelos de previsión hidrológica como base de las herramientas de ayuda a la decisión en situaciones de crecida, con especial dedicación al problema de explotación de embalses, y siempre para la obtención de soluciones aplicables en la práctica en tiempo real. Pero los límites de la previsión hidrológica y la necesidad de mejores estimaciones de algunas variables meteorológicas, de interés en la anterior, hacen necesarios métodos y medios que aseguren un enlace entre meteorología e hidrología.

## **2. NECESIDAD Y SOLUCIONES PARA LA PREVISIÓN HIDROLÓGICA**

La puesta en práctica de planes de emergencia ante riesgo de inundaciones (S.E.I.-M.J.I.; 1995), que eviten en lo posible pérdidas de vidas humanas, impone la necesidad de la previsión hidrológica. Por otra parte, la explotación racional de presas y embalses también obliga a operar con la previsión hidrológica como una de las principales fuentes de información. Pero este fundamento de la respuesta ante uno de los más importantes riesgos naturales no es posible sin medios ni métodos específicos.

### **2.1. El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH)**

Un sistema automático de información hidrológica es un sistema de información en tiempo real, estructurado según las grandes cuencas hidrográficas peninsulares y planteado para facilitar la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos y la explotación de las infraestructuras hidráulicas en situación de avenida.

En cada cuenca el SAIH capta, en tiempo real, los datos hidrológicos, los hidráulicos (situación de las infraestructuras) y otros datos meteorológicos básicos y los transmite al correspondiente centro de decisiones, donde se elaboran y aplican a la solución de los problemas propios de la gestión del agua de la cuenca, tanto en circunstancias normales (explotación), como en situaciones extraordinarias (avenidas).

## **2.2. El entorno de desarrollo y utilización de modelos hidrológicos (EDIMACHI)**

Los primeros desarrollos del CEDEX en modelos de previsión y gestión de embalses en tiempo real, en conexión con los SAIH, dieron lugar a la biblioteca de programas de operación SAIH (BPOSAIH).

En diferentes casos de empleo de modelos hidrológicos, resulta recomendable contar con una organización de datos y aplicaciones que faciliten el empleo de los mismos, ordenando y clasificando la información, y permitiendo el empleo de múltiples herramientas especializadas en cada tipo de subproblema. Tal es el caso de la aplicación de modelos hidrológicos en la previsión de crecidas en tiempo real, lo que, en nuestro país, puede hacerse en conexión con los SAIH.

Para facilitar el uso de las diferentes aplicaciones informáticas que se incluyan en el sistema conjunto, resolviendo, entre otros, los problemas de intercambios de información, resulta aconsejable el empleo de un programa especial que sirva de conexión entre el resto de aplicaciones y el usuario. De este planteamiento surgió la idea de IMACHI (la interfase modular de análisis y cálculo hidrológico), que lleva asociada una arquitectura modular de aplicaciones. Su núcleo (IMACHI) y estructura sentaron las bases de la tercera fase: EDIMACHI.- el entorno de desarrollo y aplicación de IMACHI (A. L. Aldana; 2004).

Las actuales aplicaciones de análisis, previsión y operación de embalses creadas por el CEDEX, ya en uso operativo en varios SAIH, se han construido gracias al empleo de este entorno. Entre ellas cabe destacar:

- El módulo central EDIMACHI-CEnP (Ilustración 1), que tiene la máxima responsabilidad dentro del conjunto de aplicaciones, pues realiza las tareas básicas para el funcionamiento del resto y desempeña el papel de interfase, a la vez que contiene la mayor parte del código de programación del entorno.
- El módulo EDIMACHI-SIPROP (SIMulación, PREvisión y OPeración), el cual se ha desarrollado como una de las aplicaciones periféricas del módulo central (Ilustración 2), para realizar simulaciones y previsiones hidrológicas, así como para evaluar las posibilidades y consecuencias de distintas operaciones de embalses.

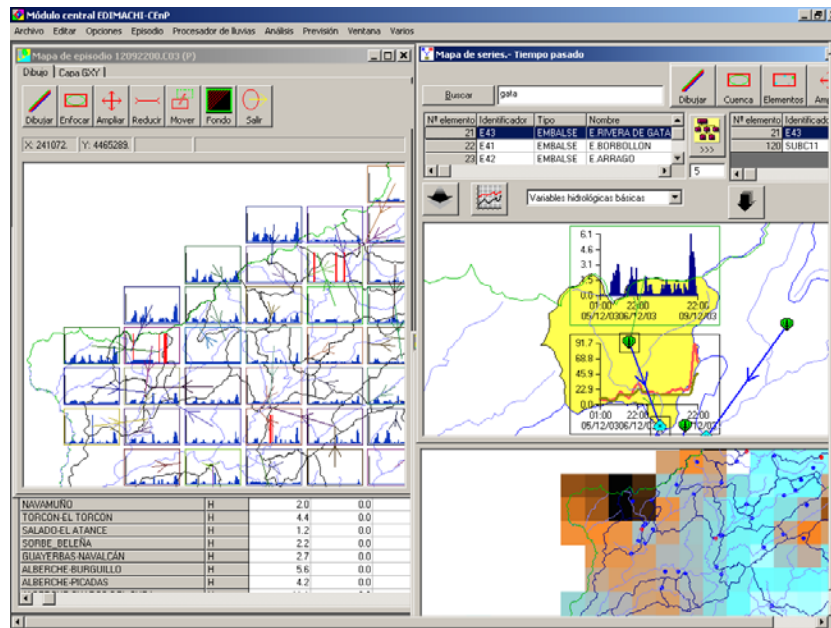


Ilustración 1: Pantalla de EDIMACHI-CEnP con ventanas de consulta de datos y resultados de cálculos básicos.

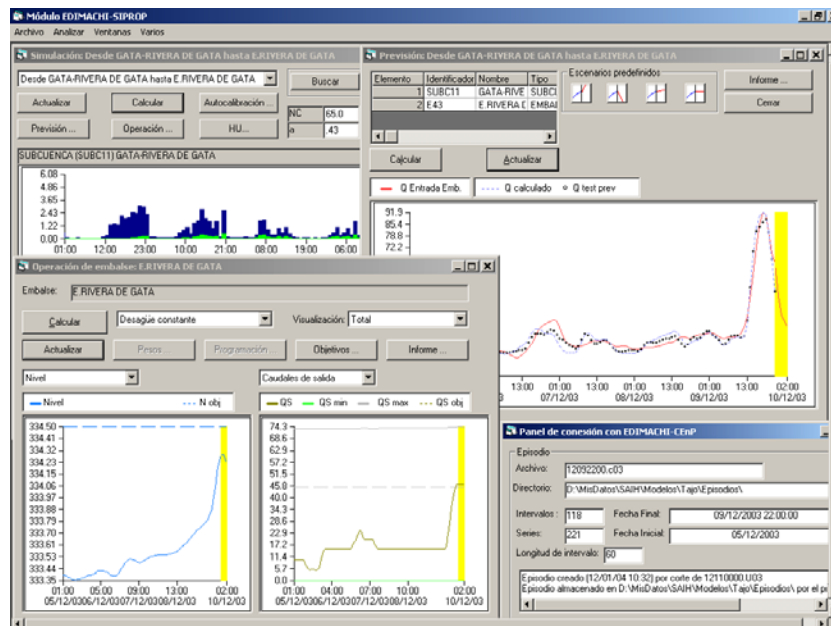


Ilustración 2: Pantalla de la aplicación EDIMACHI-SIPROP, con ventanas de simulación, previsión y operación de un embalse.

### 3. INTERÉS DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

El desfase en la respuesta de un sistema hidrológico es el que permite realizar una previsión de hidrograma o limnigrama, objetivos de la previsión hidrológica. En el concepto de hidrograma unitario (Ilustración 3), por ejemplo, aparece claramente el de desfase (D) entre impulso (lluvia neta o remanente de extraer a la precipitación total las pérdidas) y respuesta (caudal). Limitar a este tiempo el horizonte de previsión garantiza una escasa dependencia de

la hipótesis de lluvia futura que se realice, es decir, concede moderada importancia al subjetivismo del usuario de un modelo de previsión hidrológica o al error de previsión de lluvia futura (Ilustración 4). Pero, por un lado, este tiempo puede no ser suficiente en algún caso de aplicación y, en cualquier caso, es necesaria la mejor estimación cuantitativa posible de la causa, generalmente la precipitación, del fenómeno que se analiza (y de la variable objeto de la previsión, que generalmente es el caudal o nivel en río o embalse).

Los trabajos que aquí se exponen buscan solución, al primer problema (limitación), con un enlace entre modelos meteorológicos de predicción numérica y, al segundo (necesidad), con estimaciones de precipitación basados en radares meteorológicos.

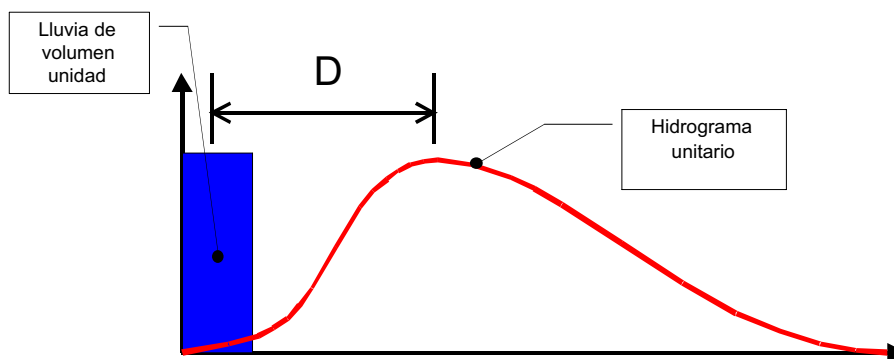


Ilustración 3: Hidrograma unitario como concepto

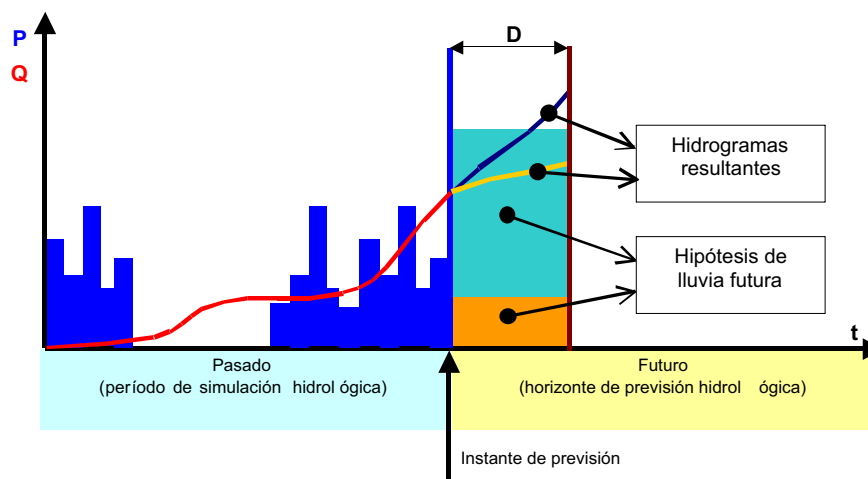


Ilustración 4: Gráfico de simulación-previsión con horizonte de previsión igual al tiempo de respuesta del sistema hidrológico.

### 3.1. Mejora de la estimación de precipitaciones basada en radares meteorológicos

A partir de los productos radar generados por el Instituto Nacional de Meteorología de España (INM), seleccionando entre ellos el mosaico de cobertura nacional con la estimación de acumulaciones temporales de precipitaciones, en combinación con los datos de pluviómetros

de los SAIH, se puede llegar a una mejora notable de la cuantificación de las precipitaciones respecto de los métodos que se basan únicamente en la última fuente de información.

Actualmente, los desarrollos basados en EDIMACHI (Ilustración 5) incorporan la posibilidad de aprovechar la malla de estimación de precipitaciones basada en radares meteorológicos, realizando una fusión entre ésta y la resultante de una operación de interpolación a partir de datos pluviométricos. Mediante la combinación de dos parámetros, se consigue que las mallas de precipitación estén más o menos próximas a la información radar o al resultado de la interpolación:

- **Fiabilidad:** relaciona la información radar y la información pluviométrica en magnitud, de tal forma que cuanto mayor es este parámetro, mayor será el peso de la información pluviométrica en perjuicio de la información radar.
- **Forma:** relaciona la información radar y la pluviométrica atendiendo a la forma, siendo el resultado de la malla de combinación más parecida a la malla de interpolación basada en pluviómetros cuanto mayor sea este parámetro.

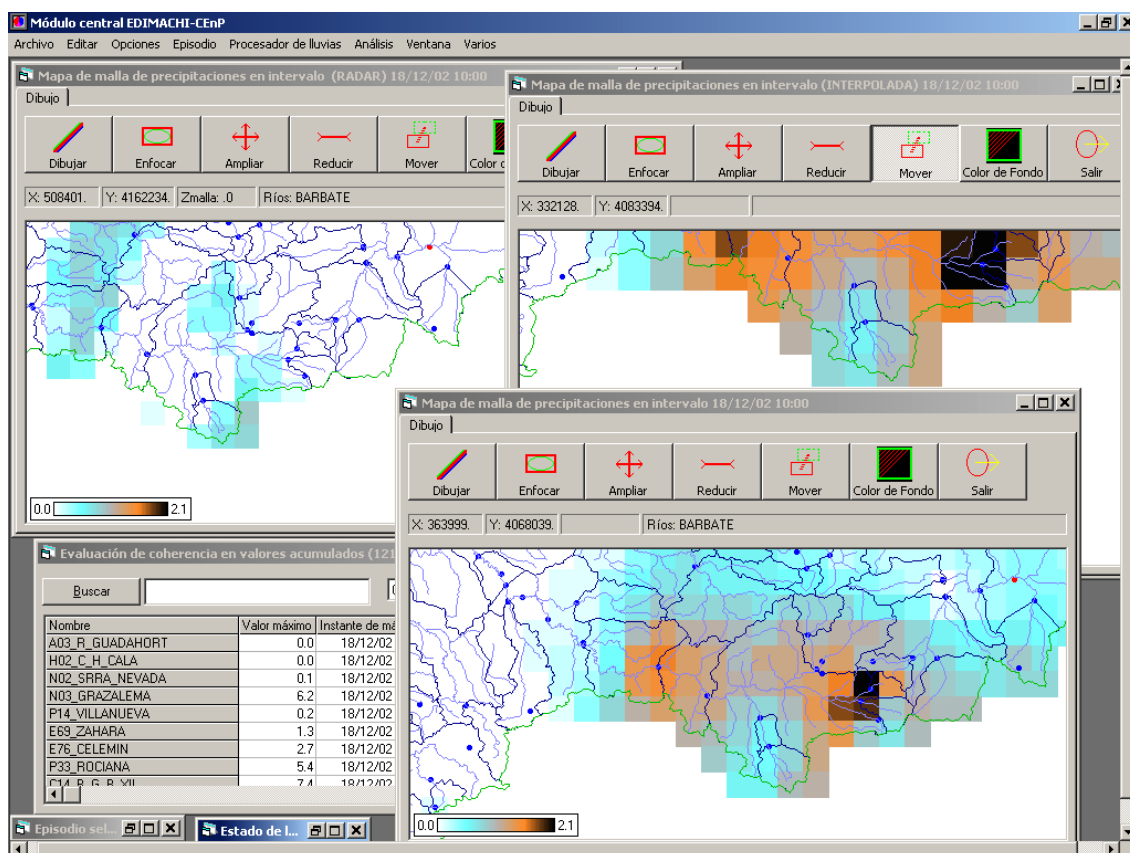


Ilustración 5: Aspecto de la pantalla de la aplicación EDIMACHI-CEnP con ventanas de consulta de cálculos de precipitaciones por combinación de radar y pluviómetros.

### 3.2. Modelos numéricos de predicción meteorológica

Si se cuenta con una previsión de lluvias con fundadas garantías de ser ciertas, como la generada por un modelo numérico de previsión meteorológica, el horizonte de previsión puede ser ampliado (Ilustración 6) más allá de lo que recomienda la consideración del desfase entre causa y efecto del fenómeno hidrológico cuando sólo se opera con entradas de tiempo pasado, lo que supone una importante ventaja en muchos casos de aplicación.

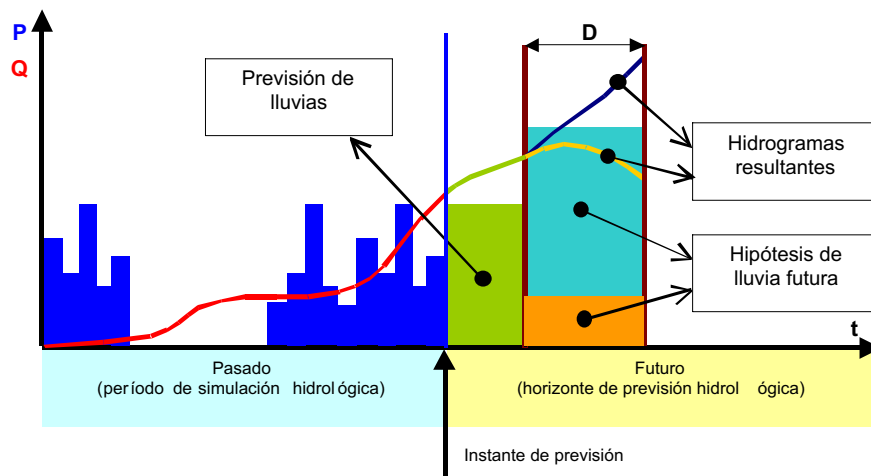
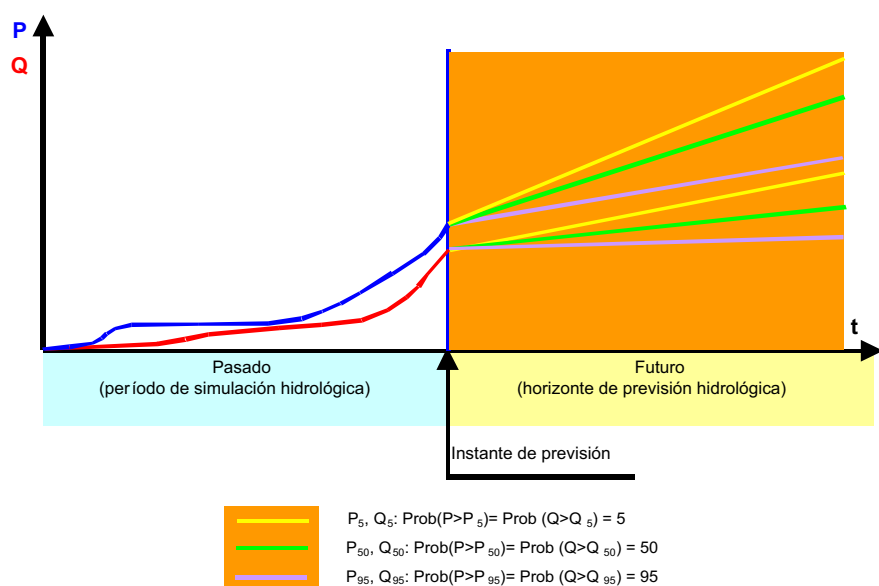


Ilustración 6: Gráfico de simulación-previsión con horizonte de previsión aumentado gracias a una previsión de lluvias.

El INM dispone en operación de dos modelos cuyas salidas tienen especial interés en la previsión hidrológica:

- El modelo regional (área limitada) de predicción numérica HIRLAM
- El sistema de Predicción Analógica de la Precipitación del INM (PAP-INM).

El PAP es un sistema de predicción estadística que está realizado mediante metodología analógica (A. Fernández, Del Hoyo, Mestre y Peral, 2001) con una discretización temporal de 24 horas, por lo que la posibilidad de poder utilizar sus resultados para previsión de caudales estará limitada a sistemas de gran extensión, aunque queda siempre la opción de usarlos en herramientas de ayuda a la decisión a la explotación de embalses basadas en razonamientos en volúmenes, con la ventaja añadida de poder realizar razonamientos probabilistas (Ilustración 7).



*Ilustración 7: Con el modelo de los análogos pueden realizarse razonamientos por umbrales de probabilidad.*

La utilización conjunta de las salidas de ambos modelos meteorológicos como entrada a los hidrológicos abre, para éstos últimos, un gran número de posibilidades aún por explorar. Sin duda, cabe asegurar que estamos en los primeros pasos de la modelación mixta por enlace entre ambos tipos de modelos.

#### **4. APLICACIÓN DE LAS SOLUCIONES EN ESPAÑA**

Gracias a que se cuenta ya con SAIH en diversas cuencas (que en un futuro próximo abarcará la mayor parte del territorio español), con una red de radares y los sistemas de procesamiento de los datos que proporciona, con modelos numéricos de predicción meteorológica (éstos dos últimos proporcionan resultados en todo el territorio) y con un conjunto de aplicaciones de análisis y previsión hidrológica capaces de incorporar en sus cálculos información meteorológica, se cumplen ya todos los requisitos para dar un paso más en la implantación de soluciones prácticas de previsión hidrológica. No hay que olvidar que esto es posible también gracias a las posibilidades que ofrecen las actuales tecnologías y medios de la información y las comunicaciones.

Por y para ello, se han creado grupos de trabajo (formados por personal del INM, de la Dirección General de Obras Hidráulicas, del Ministerio de Medio Ambiente, y del CEDEX, del Ministerio de Fomento) para poner en práctica estas soluciones. Las aplicaciones EDIMACHI-CEnP y EDIMACHI-SIPROP se encuentran operativas, con posibilidades de incorporar información meteorológica, en las cuencas del Júcar, Segura, Guadalquivir y Tajo,



estando en marcha los trabajos que ampliarán la aplicación de estas soluciones (alguna de las cuales está actualmente funcionando con carácter de experiencia piloto) a otros ámbitos territoriales.

## **5. REFERENCIAS**

- *A. L. Aldana; 2004: "EDIMACHI: un entorno de desarrollo y aplicación de modelos hidrológicos de previsión de crecidas en tiempo real". Monografías "Serie Azul". CEDEX. Madrid. 2004*
- *A. Fernández, J. Del Hoyo, A. Mestre y C. Peral; 2001: "Local precipitation forecasts by the use of an analogical approach." European Conference of Applied Meteorology" ECAM-2001 CD. Budapest, 24-28 de Septiembre de 2001*
- *S.E.I.-M.J.I. (Secretaría de Estado del Interior-Ministerio de Justicia e Interior); 1995: Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.*