

Parque Fluvial del río Besós Supervisión del Sistema de Alerta Hidrológica

Joaquín Martí Marqués

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director del Departamento de Explotación e Informática

María Alsina Viñolas

Licenciada en Informática

Responsable de la sección de Informática

Clavegueram de Barcelona, S.A. (Clabsa)

Empresa del Alcantarillado de Barcelona

RESUMEN

La construcción en el lecho del río Besós, a su paso por los municipios de Barcelona y Sta. Coloma de Gramenet, de un parque lúdico fluvial ha hecho necesaria la implantación de un sistema de alerta hidrológico, que permite la salida preventiva de los usuarios del parque, cuando se prevea un incremento futuro del nivel del río en el mismo.

El núcleo del sistema de alerta está constituido por el sistema supervisor, donde entre otras funcionalidades se incluyen los distintos modelos de previsión hidrológica en tiempo real utilizados, y el uso de imágenes de radar meteorológico también en tiempo real para las previsiones de intensidad de lluvia en la cuenca.

ABSTRACT

The construction of a waterway park on the River Besós, where it passes the municipalities of Barcelona and Santa Coloma de Gramenet, has made it necessary to introduce a flood warning system in order to enable the departure of users of the park in the face of possible rising levels of the river.

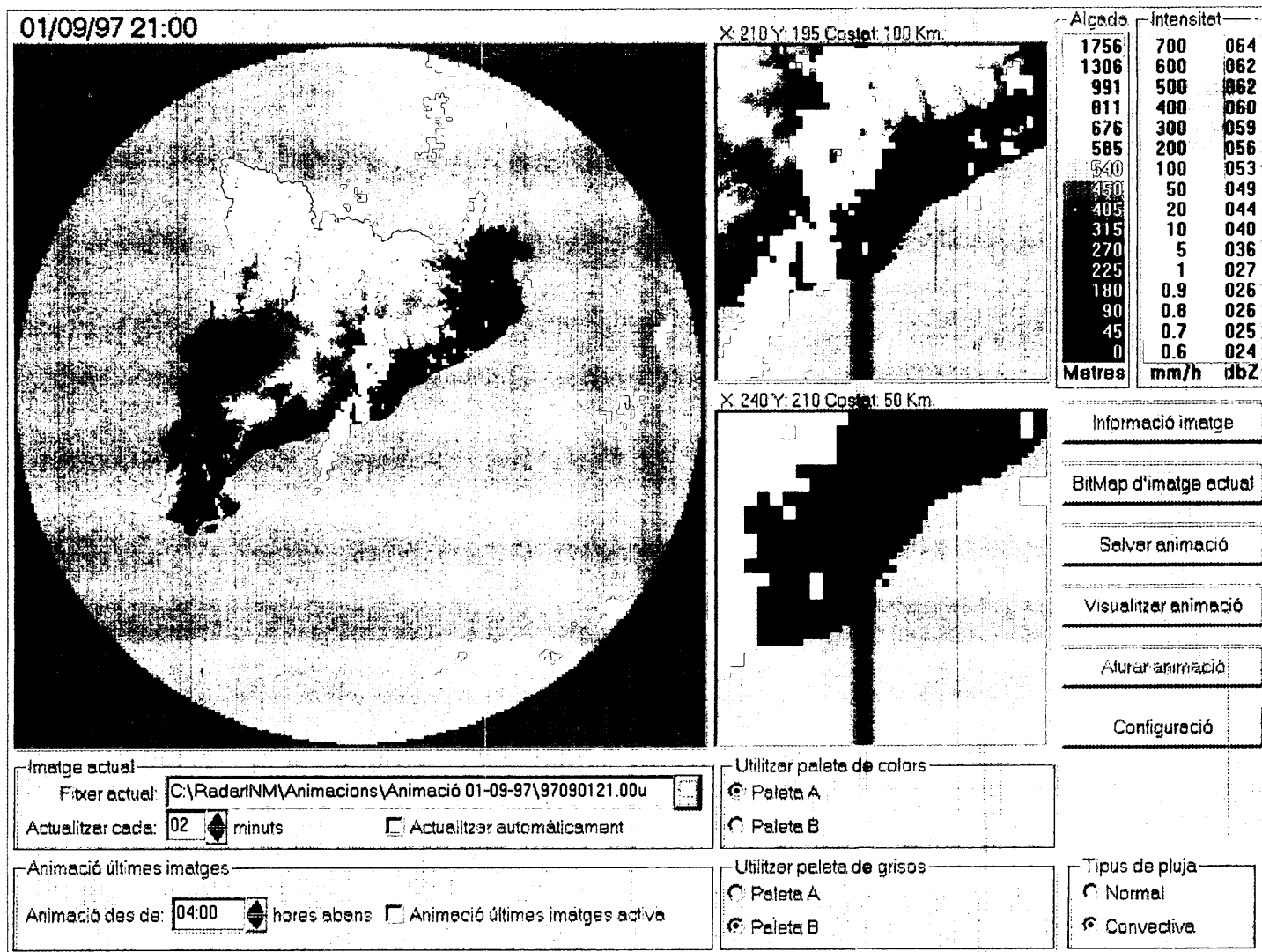
The core of this early warning system is formed by a monitoring system which includes, among other things, different models of weather forecasting in real time and the use of meteorological radar images, which are also in real time, in order to establish the rain forecasts for the river basin.

1. INTRODUCCIÓN

El río Besós es uno de los dos ríos que configuran y vertebran el ámbito metropolitano de Barcelona. La cuenca del río Besós tiene una superficie de 1.024 Km² ocupando parte de las comarcas de Osona, Vallés Occidental y Vallés Oriental.

La pluviometría de la zona, con regímenes de lluvia típicamente mediterráneos, produce lluvias cortas pero muy inten-

sas, con niveles anuales pluviométricos bajos. Una buena parte de la cuenca tiene unas pendientes considerables, favoreciendo la escorrentía. El impacto de la industrialización que afecta a la cuenca produce un alto grado de impermeabilidad, y en las zonas no urbanizadas se presenta en general una vegetación de arbustos con poco efecto de retención hídrico. Estas tres causas: episodios intensos de lluvia, pendientes elevadas en cabecera, y alto coeficiente de escorrentía provocan



Imágen de Radar Meteorológico.

que el régimen de caudales del río Besós sea muy irregular y torrencial en sus episodios máximos.

El Besós constituye una barrera física importante entre los núcleos urbanos situados en sus dos márgenes, lo cual tiene un carácter fuertemente desvertebrador del territorio. A la vez, estos municipios, muy escasos de espacios verdes y de ocio para sus ciudadanos, viven completamente de espaldas al río, por su fuerte degradación.

En los últimos años, la sensibilidad social en la mejora y conservación del medio ambiente ha sido muy importante, y cada vez es más fuerte. Ello ha llevado al interés en la recuperación del río Besós. Esta recuperación debe permitir, sin disminuir la protección frente a las inundaciones, la eliminación de la barrera actual y la integración del río y sus riberas dentro del tejido urbanístico que lo envuelve, aprovechando las posibilidades que como zona verde y lúdica (parque fluvial) éste

ofrece. Es dentro de esta línea donde se enmarca la actuación en el tramo final del río Besós, a fin de convertirlo en parque fluvial.

La construcción del parque fluvial requiere el establecimiento de un sistema de alerta, y a la vez éste requiere un sistema supervisor, que actúe como núcleo integrador tecnológico de los diferentes elementos necesarios para el establecimiento del sistema de alerta.

2. EL SISTEMA DE ALERTA DEL PARQUE FLUVIAL DEL RÍO BESÓS

El hecho que la zona de actuación del parque fluvial sea inundable por el propio río durante sus crecidas, hace necesario establecer un sistema de alerta hidrológica que asegure

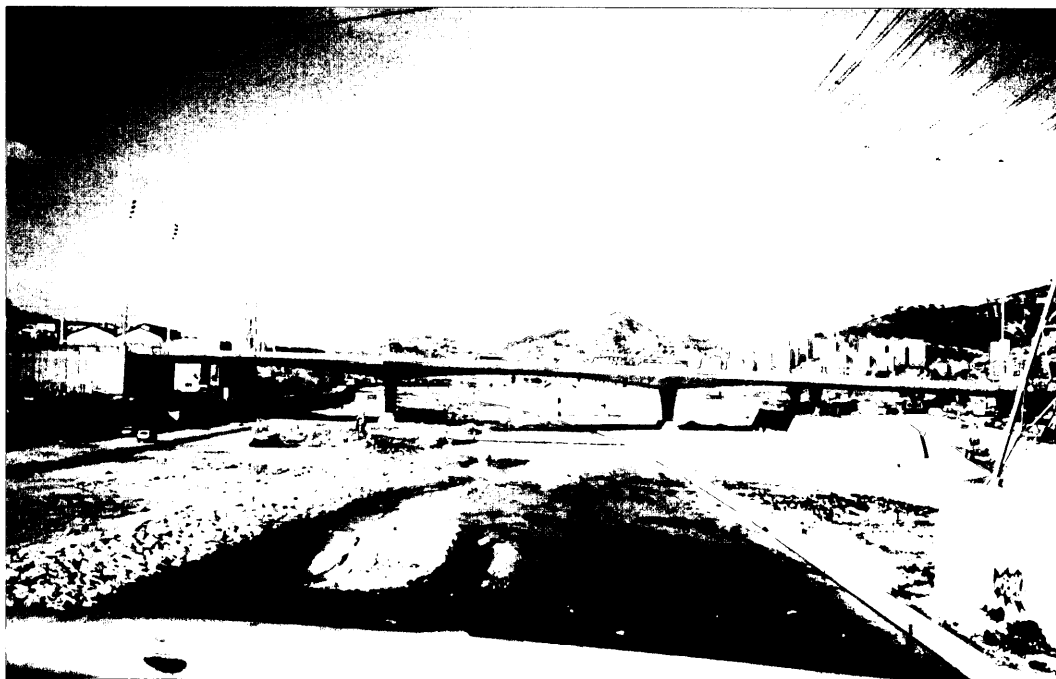
que no haya personas en el interior del parque en los períodos de tiempo peligrosos.

2.1. Objeto del sistema de alerta

El objeto del sistema de alerta es asegurar en todo momento, que no hayan personas en el interior del parque fluvial del río Besós, durante los períodos de tiempo en que esta permanencia es peligrosa. Considerando peligrosos no solamente los períodos en que los caudales circulantes imposibiliten la estancia en el río, sino también los períodos en que se esperen crecidas próximas e incluidos los períodos meteorológicamente inestables aunque no se puedan prever crecidas con absoluta certeza.

El sistema de alerta se alimenta de la información en tiempo real proveniente de: pluviómetros existentes, pluviómetros de nueva instalación, estaciones de aforo existentes, estaciones de aforo de nueva instalación, radar meteorológico, imágenes de satélite Meteosat y del satélite NOAA, informaciones de protección civil, faxímil meteorológico, y de los datos del sistema de explotación centralizada de Clavegueram de Barcelona, S.A. (CLABSA) que incorporan también las medidas del margen izquierdo del río.

Cuando la telesupervisión pluviométrica detecte un umbral suficiente de lluvia, o las imágenes de radar meteorológico indiquen la certeza o inminencia de una cierta intensidad de precipitación, o los servicios de protección civil hayan decretado las correspondientes alertas, o la previsión del modelo hidrológico-hidráulico indique que la zona del río ocupada por el parque fluvial se inundará, el sistema pondrá en marcha el mecanismo de avisos previsto: señalización acústica, señalización



Vista del Parque Fluvial.

luminosa, paneles informadores, avisos a los diferentes organismos, etc. Estos avisos indicarán a los usuarios la prohibición de entrada en el parque o la necesidad de salida.

Los sistemas informáticos que soportan las aplicaciones que desarrollan las tareas del sistema de alerta, están físicamente situados en un centro de control instalado de forma

Centro de Control de Clabsa.



conjunta al actual centro de control de CLABSA, donde por vía telemática: teléfono, radio, llegarán los datos de los sensores hidrológicos, y desde donde se enviarán las alertas previstas. En este centro de control, también se recibirán otros canales de información auxiliares, como las imágenes de vídeo de cámaras de vigilancia situadas en el parque fluvial.

2.2. Diseño macrofuncional del sistema de alerta

En un nivel de descripción macrofuncional del sistema de alerta, éste está constituido por 5 bloques: sistema supervisor, sistema de telecontrol, sistema de telesupervisión del margen izquierdo, sistemas externos, y sistema de vigilancia por T.V.

El *sistema supervisor* recibe los datos que le transmiten el sistema de telecontrol (en su parte de telesupervisión), el sistema de telesupervisión del margen izquierdo, y los sistemas externos. En función de ellos, y utilizando en paralelo diversos procedimientos, evalúa la necesidad de enviar al sistema de telecontrol (en su parte de aviso y alerta) las órdenes de actuación adecuadas. Estas órdenes son siempre validadas previamente por un operador humano, auxiliado también por las imágenes recibidas a través del sistema de vigilancia por T.V. del propio parque. El sistema supervisor está descrito en detalle en el apartado 3.

El *sistema de telecontrol* tiene 2 partes constitutivas: la parte de telesupervisión, y la parte de aviso y alerta.

La parte de telesupervisión engloba: Los sensores necesarios de nueva instalación, que permiten en tiempo real el seguimiento del estado del río. Los canales de comunicación telemática hasta el centro de control. Y todos los elementos que forman el centro de explotación. Esta es la parte que alimenta de datos al sistema supervisor.

La parte de aviso y alerta comprende un conjunto de elementos de comunicación con el público, formado por sirenas, alarmas ópticas y paneles luminosos de aviso.

El *sistema de telesupervisión del margen izquierdo* comprende: los sensores necesarios de nueva instalación situados en el margen izquierdo del río (municipio de Santa Coloma de Gramenet). Y los canales de comunicación telemática hasta el centro de control.

Los *sistemas externos* son la tercera fuente de datos del sistema supervisor. Están constituidos por una serie de implantaciones, ya existentes, que aportan información valiosa sobre el estado hidrológico del ámbito del Besós. Las más importantes son:

El sistema automático de información hidrológica (Saih) de la Junta de Aguas de la Generalitat de Catalunya, aporta los datos de los aforos y pluviómetros situados dentro del área de interés.

El sistema de telesupervisión de la red de alcantarillado de Barcelona, proporciona los datos pluviométricos y limnimétricos del margen derecho del río, en la zona accesible al público.

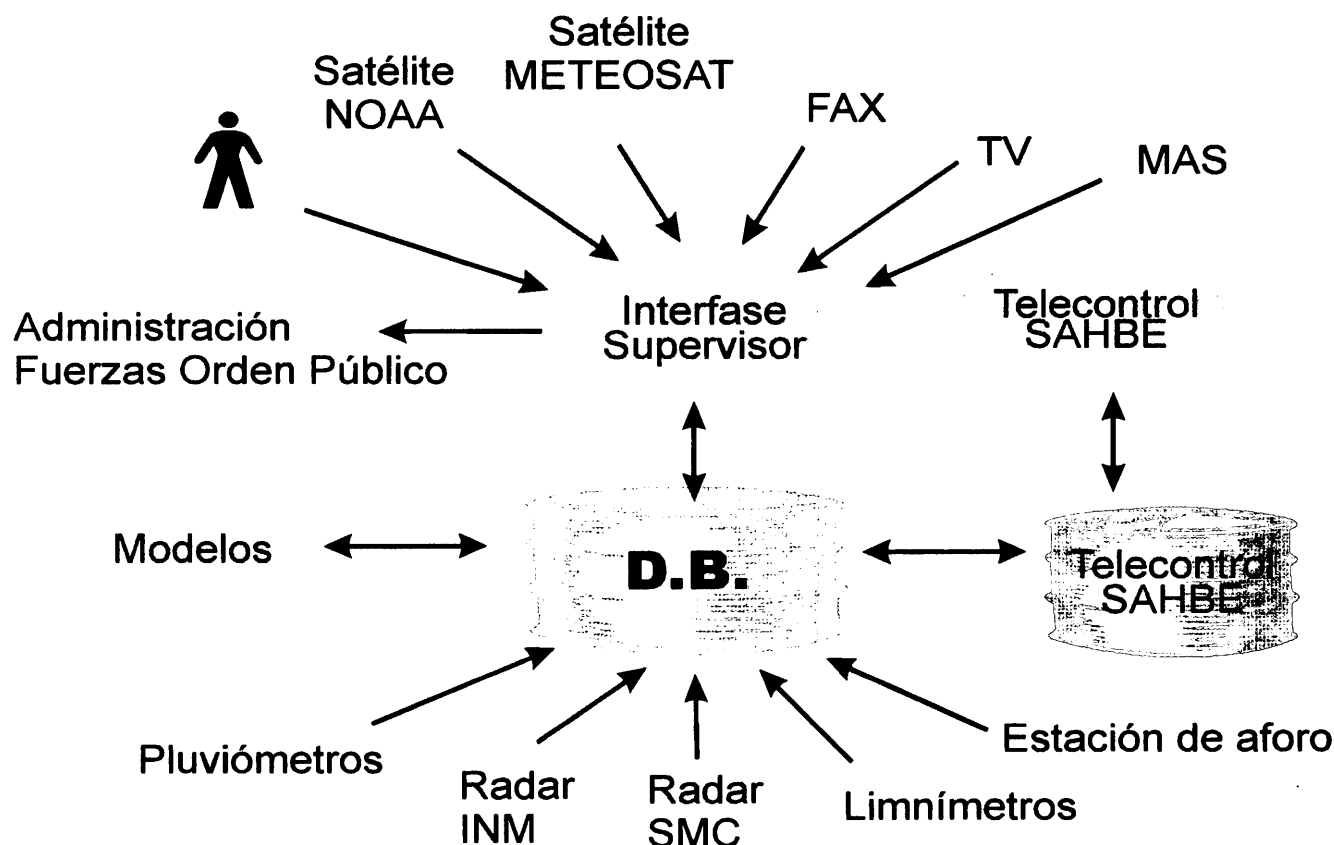


Radar Metereológico del INM.

Los radares meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología, y del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya son una herramienta muy valiosa en la predicción pluviométrica.

Asimismo, los resultados del programa informático "Mass" de predicción computacional meteorológica, y otras fuentes de información meteorológica automática, también se integran dentro del sistema supervisor.

El *sistema de vigilancia por T.V.* del parque consiste en un conjunto de cámaras de televisión situadas a lo largo de la zona accesible del parque, y que permiten a los operadores del sistema de alerta una vigilancia del mismo. Para transmitir las imágenes de las cámaras hasta el centro de control, se aprovecha la existencia en Barcelona de Galerías de Servicios a lo largo de las rondas, y también un tramo de la red de alcantarillado llevando con simplicidad unas conducciones de fibra óptica desde el parque hasta el centro de control.



Esquema funcional del Sistema Supervisor del Sistema de Alerta.

3. EL SISTEMA SUPERVISOR DEL SISTEMA DE ALERTA

3.1. Funciones del sistema supervisor

El sistema de alerta tienen como función básica evitar cualquier tipo de peligro, proveniente de las crecidas del río Besós, a los usuarios del parque fluvial. Para conseguirlo será necesario que el sistema supervisor desarrolle dos grandes funciones: seguimiento y previsión de las variables hidrológicas de la cuenca del río, en especial el nivel del agua en el parque fluvial, y gestión de los avisos de alerta.

Desde un punto de vista funcional podemos dividir las tareas a realizar por el sistema supervisor en los siguientes grupos funcionales:

Recogida de datos

Esta funcionalidad consiste en la capacidad a través de sensores adecuados, de medir los valores de unas variables a lo largo del tiempo y en diferentes puntos, y de almacenarlos a

la espera de su transmisión al centro de control donde se hace la concentración de todos los datos.

En el sistema supervisor, a parte de los datos meteorológicos adicionales y los de información auxiliar, los datos principales consisten en medidas de intensidad de lluvia y de niveles de agua.

Concentración de datos

La concentración de datos consiste en agrupar en un solo sistema informático situado en el centro de control, las diferentes informaciones provenientes de los sensores de nueva instalación (limnómetros y pluviómetro en la zona del parque fluvial) y de los elementos preexistentes, a la vez que éstos habrán sido concentrados previamente en los centros de control de cada organismo cedente de datos (Junta de Aguas y Clabsa). Aquí solo se hace referencia a los datos básicos y no a la información meteorológica adicional ni a las informaciones auxiliares.

Dentro de la concentración de datos se incluye la transmisión telemática de los datos desde sus puntos de origen hasta el centro de control del Sistema de Alerta.

Almacenamiento de datos

Una vez los datos han sido concentrados en el ordenador del centro de control, hay que guardarlos en una estructura adecuada de base de datos, que permita su fácil explotación: inclusión, búsqueda, sustitución, seguridad. Hay que tener en cuenta que esta base de datos es la fuente principal de información de los posteriores tratamientos informáticos.

Recepción meteorológica adicional

Hay una serie de datos meteorológicos adicionales, como son: el satélite Meteosat, el satélite NOAA, el radar del INM, el radar del Servicio de Meteorología de Cataluña, etc., que no son integrables en el modelo de predicción de la misma forma que lo son los datos pluviométricos y de aforos.

Todas estas informaciones meteorológicas adicionales servirán para una estimación global futura del estado meteorológico en la cuenca del río.

El Sistema Supervisor, por tanto, debe ser funcionalmente capaz de recibir cada una de estas fuentes, y de almacenar su información.

Modelos hidrológico-hidráulicos en tiempo real

Estos modelos en tiempo real realizan la funcionalidad de simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca, haciendo previsiones de la evolución de las variables de estado que lo determinan, y en especial del nivel del río en el área del parque fluvial.

Estos modelos tienen dos características importantes; unos tiempos de ejecución informática inferiores al tiempo real de manera que se puedan hacer previsiones, y un uso continuo de los datos que van llegando de los sensores hidrológicos.

Además, el macromodelo debe integrar datos meteorológicos de recepción adicional, sobretudo en las previsiones a largo plazo.

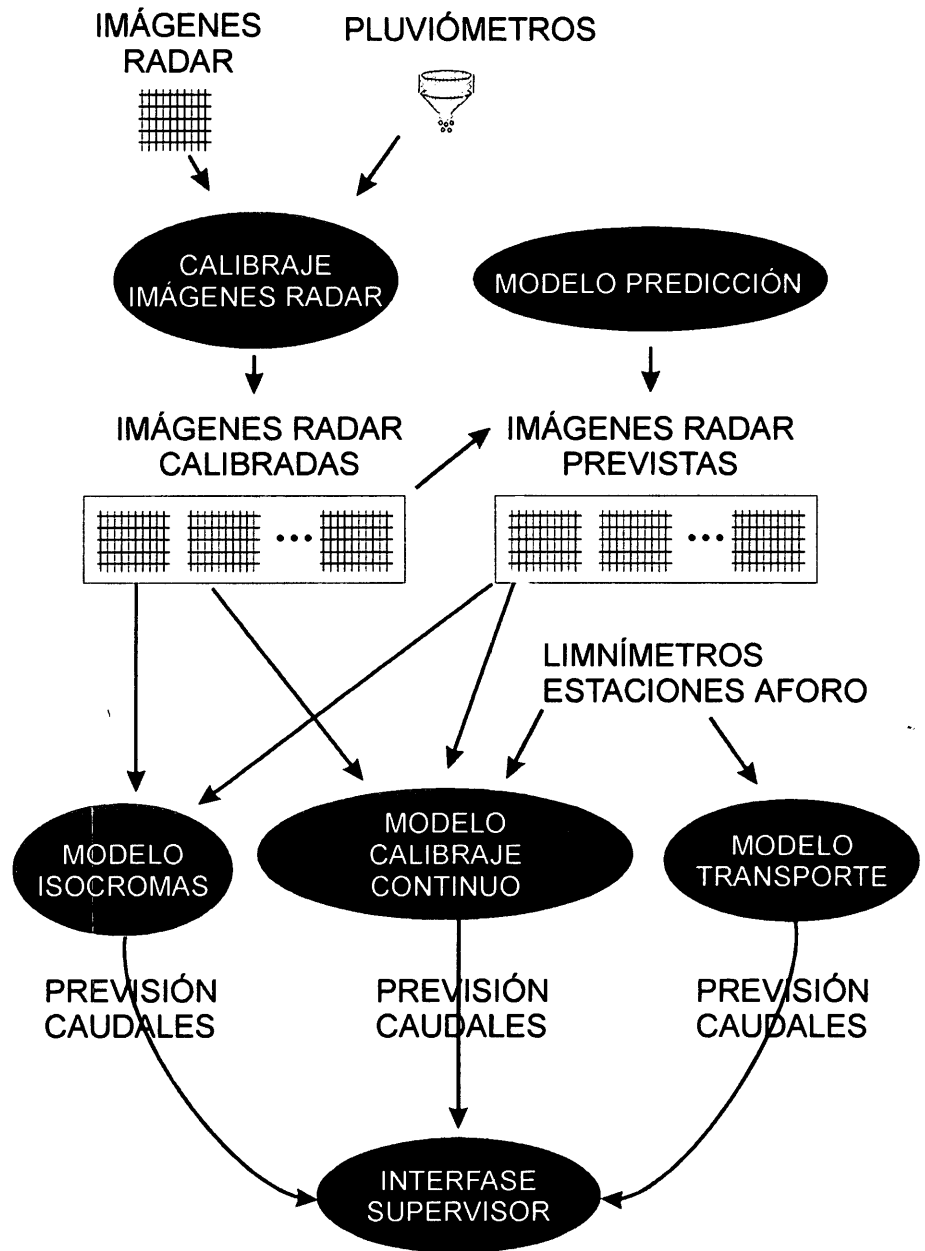
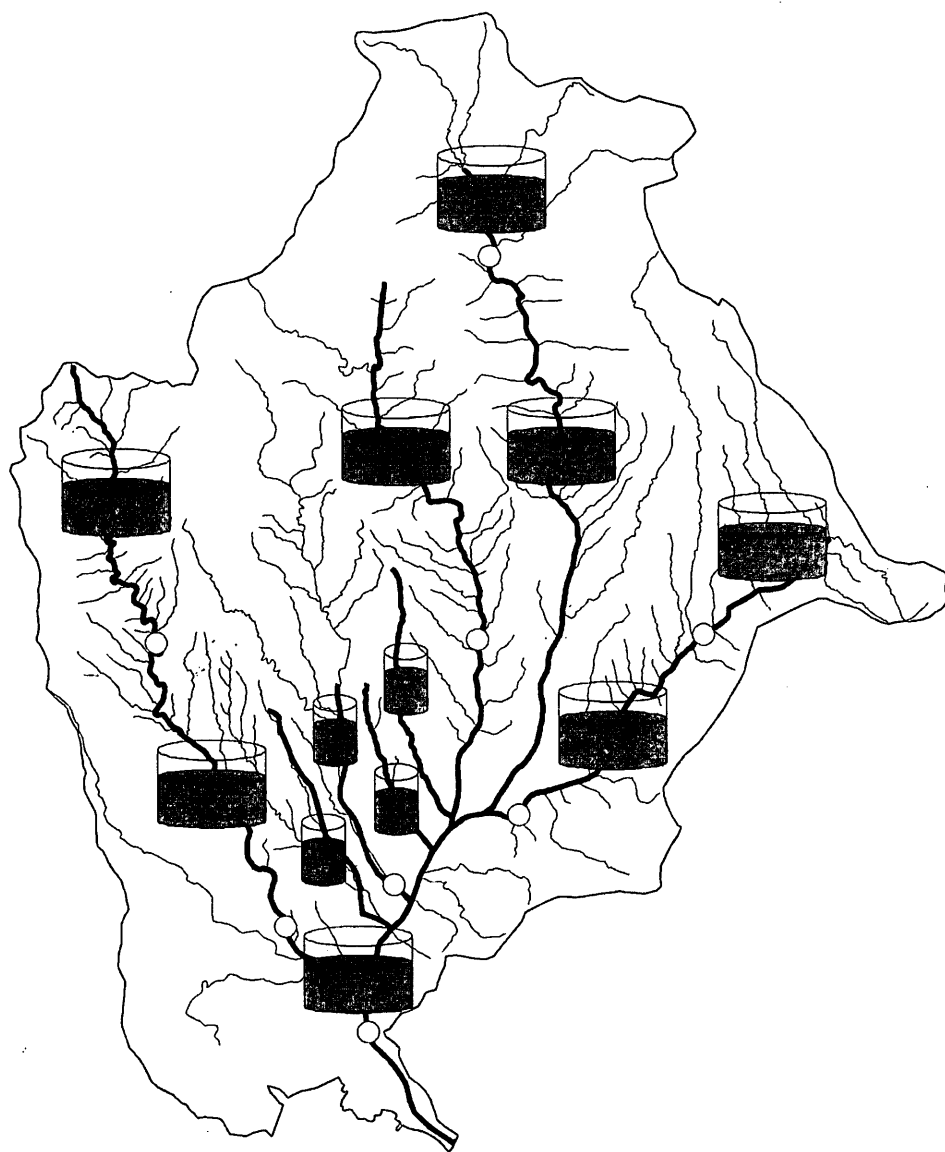


Diagrama de Proceso.

Información Auxiliar

Esta funcionalidad le permite obtener al sistema supervisor una información sobre el interior del parque. Se prevé la instalación de cámaras de vigilancia por circuito cerrado de televisión.

Estos datos deberán ser tratados adecuadamente por el sistema (transmisión y proceso), y posteriormente serán evaluados por el operador humano del centro de control.



Cuenca río Besós, y su modelización (Modelo Calibración Continua).

Previsión de estados de alerta

En función de los datos recibidos, de los resultados de los modelos de simulación y de los datos aportados por la información auxiliar, el Sistema Supervisor debe tener la capacidad funcional de establecer unos estados de alerta i prever su evolución. Los estados de alerta son la condensación en un número pequeño de variables de toda la información que recoge el sistema y de su capacidad de predicción.

Avisos de alerta

Esta última funcionalidad es la que da al Sistema Supervisor la capacidad, a través de la parte de telemando del sistema de telecontrol, para hacer llegar los avisos determinados para los estados de alerta tanto a las administraciones implicadas, como a las fuerzas de orden público, como a los usuarios del parque fluvial. En este último caso se utilizan avisos sonoros, lumínicos, y a través de paneles luminosos.

3.2. Fuentes de información

Los datos que utiliza el sistema supervisor proceden de:

▼ “Junta d’Aigües de Catalunya”:

La Junta de Aguas tiene repartidas por toda Cataluña unas estaciones de control automático que forman parte del Sistema de Alerta y Información Hidrológica (Saihi) del Pirineo Oriental. El Sistema Supervisor del Sahbe obtiene de la Junta de Aguas los datos de las estaciones de aforo incluidas dentro de la cuenca del río Besós y de los pluviómetros ubicados dentro del área que abarca la cuenca del Besós recorrida en 25 Km.

▼ Base de Datos de Explotación

de Clabsa (Bde): La Bde, alimentada continuamente en tiempo real, contiene la información necesaria para gestionar el alcantarillado de la ciudad de Barcelona. De la Bde se obtiene la información de todos los pluviómetros y la información de los limnómetros de

los colectores que desembocan en el río Besós antes del inicio del parque.

▼ Telecontrol Sahbe: Dentro del Telecontrol del Sahbe se engloban todos los elementos instalados específicamente para llevarlo a cabo. El Sistema Supervisor recibirá información de los pluviómetros, de las estaciones de aforo y el estado de hinchado o deshinchado de las presas.

▼ Instituto Nacional de Meteorología (Inm): El Inm ha implantado una red de radares meteorológicos para cubrir

toda España. Del Inm se reciben las imágenes del radar situado en el "Pic de les Agulles" y que abarca toda la superficie de Cataluña.

▼ "Servei de Meteorologia de Catalunya" (Smc). Actualmente, el Smc está implantando una red de radares meteorológicos para cubrir el ámbito de Cataluña. Del Smc se reciben las imágenes del radar situado en Puig Bernat, el cual abarca toda la superficie requerida para el sistema supervisor del Sahbe

El sistema de comunicaciones para obtener estos datos varía dependiendo de la fuente de datos:

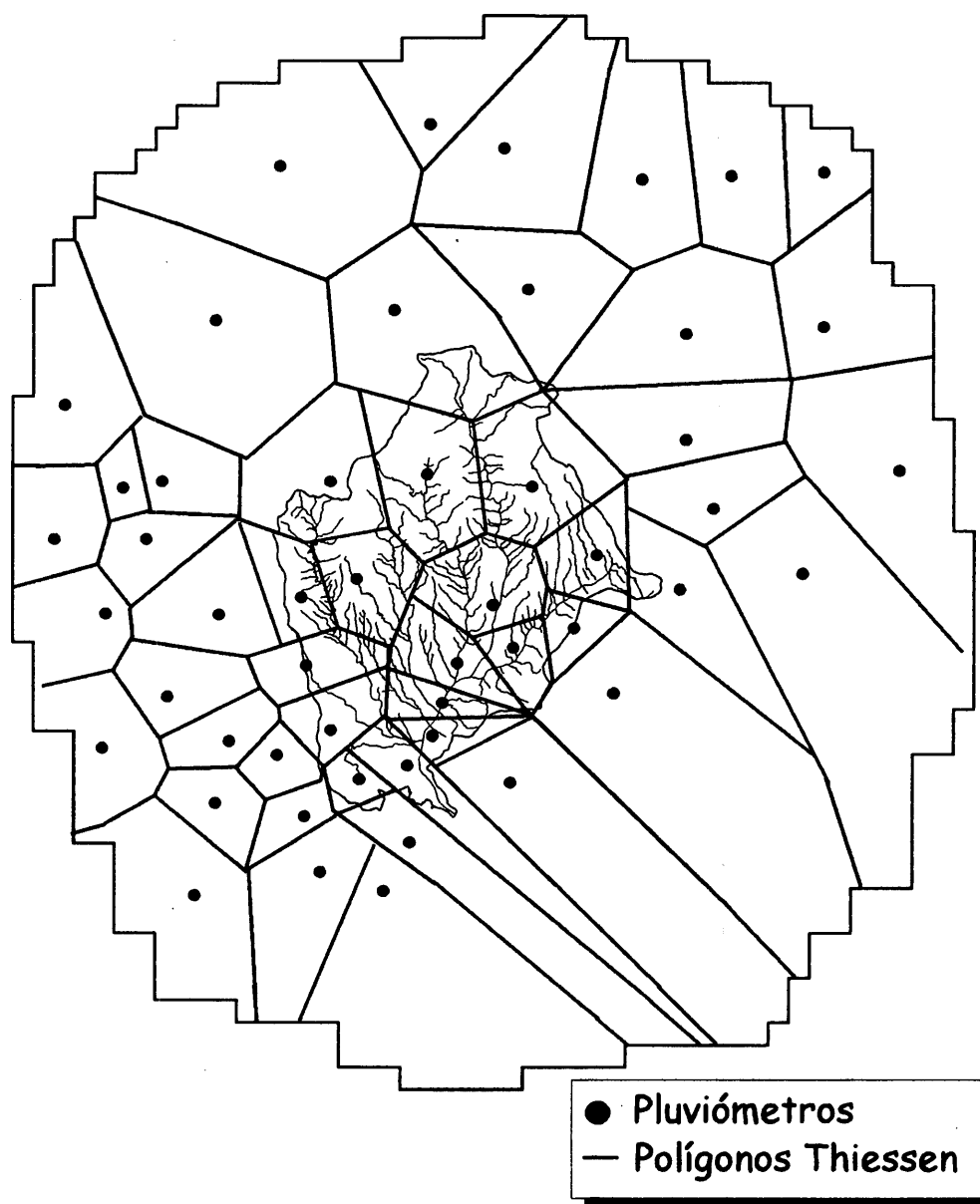
▼ Junta de aguas: La conexión se realiza a través de un router y de una línea punto a punto (LPP) dedicada.

▼ Base de datos de explotación de Clabsa: La Bde está implantada sobre un sistema UNIX, y la Base de Datos del Sistema Supervisor del Sahbe está sobre un sistema WinNT. Los dos sistemas están conectados con una red ethernet. El acceso a los datos de la Bde se realiza a través de la red mediante ODBC (Open DataBase Connectivity).

▼ Instituto Nacional de Meteorología: Las imágenes de radar se reciben por dos vías: mediante módem por RTC (Red Telefónica Conmutada) y a través de Internet mediante FTP (File Transfer Protocol). Existe una aplicación que cada cierto tiempo captura las nuevas imágenes del radar.

▼ Servicio de Meteorología de Cataluña: Las imágenes de radar se reciben mediante línea RDSI.

▼ Telecontrol Sahbe: El acceso a estos datos es directo ya que la Base de Datos del Sistema Supervisor y la Base de Datos del Telecontrol del SAHBE están en la misma máquina.

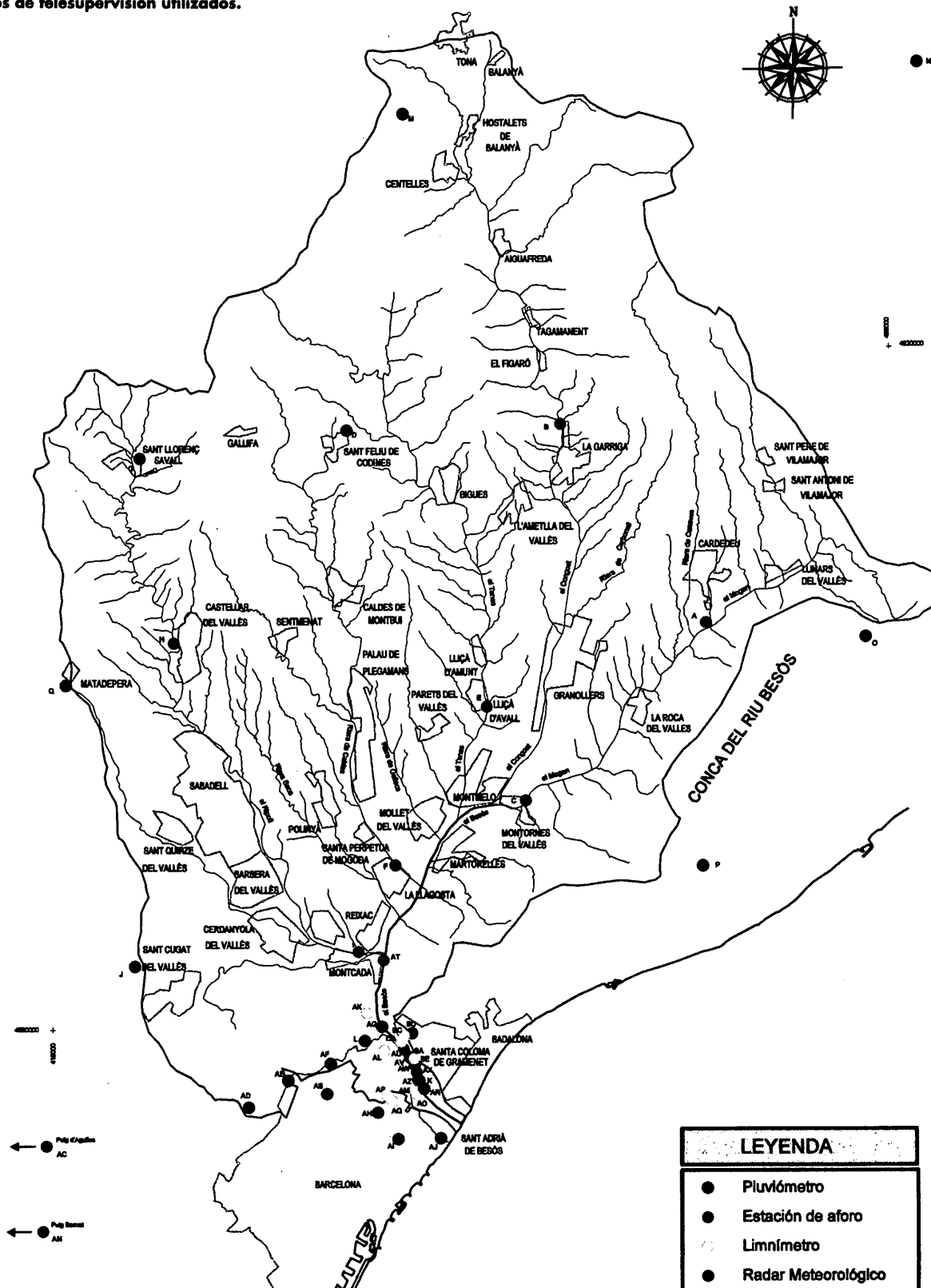


Subdivisión de polígonos de Thiessen de la cuenca del río Besós.

Los datos que llegan de las diferentes fuentes, se tienen que unificar para poderlas tratar conjuntamente. Es necesario que todos los datos tengan el mismo formato, que será el formato utilizado por los modelos. No se requiere de una unificación temporal. Se parametriza el tiempo de acceso a cada fuente de datos, dependiendo de la frecuencia de captura de los datos por los distintos sistemas. De esta manera no se restringe la periodicidad de los modelos a la frecuencia de captura más amplia.

Se han desarrollado unas aplicaciones de conversión que acceden a cada una de las fuentes para capturar los nuevos

Elementos de telesupervisión utilizados.



datos, convierten estos datos al formato unificado y las introducen en la Base de Datos del Sistema Supervisor. Existe una aplicación distinta para cada fuente: Junta de Aguas, Bde, Telecontrol Sahbe, Instituto Nacional de Meteorología y Servicio Meteorológico de Cataluña.

3.3. Organización de la base de datos

Dentro de la Base de Datos debemos distinguir entre dos tipos de datos:

- ▼ Datos en tiempo real.- Son los que se utilizan para ejecutar los modelos de cálculo.
- ▼ Datos históricos.- Se utilizan para hacer estudios posteriores sobre las previsiones realizadas y la situación a la que se llegó realmente. Con estos estudios se analizará si es necesario reajustar los valores iniciales de los parámetros de los modelos.

Separando los datos de este modo, se permite un rápido acceso a los mismos por parte de los modelos. Es necesario remarcar que los datos anteriores a un cierto número de horas no son utilizados por los modelos en tiempo real.

La Base de Datos es relacional y contiene:

- ▼ Parámetros generales del sistema.
- ▼ Características de los elementos: limnímetros, estaciones de aforo y pluviómetros.
- ▼ Valores en tiempo real: niveles de limnímetros, niveles de estaciones de aforo, intensidad de lluvia medida por los pluviómetros, y valores de las imágenes de radar.
- ▼ Valores históricos: los datos en tiempo real van pasando a las tablas de históricos.
- ▼ Valores previstos de precipitación y de caudal.
- ▼ Definición, previsión y histórico de alertas.

3.4. Modelos utilizados

3.4.1.- Introducción

El Sistema Supervisor del SAHBE requiere una previsión del nivel del río en el punto inicial del parque que se está cons-



Presa hinchable de regulación.

truyendo en el tramo final del río Besós. Esta previsión se tiene que hacer de un modo continuo, desde el instante actual hasta un cierto horizonte temporal.

Para hacer una previsión de este tipo, es necesario utilizar un modelo analítico de cálculo que en el cálculo de forma continuada. El cálculo tiene que ser sencillo de manera que el tiempo de ejecución sea lo suficientemente pequeño para poder ejecutarlo en tiempo real.

Se ha desarrollado un modelo de predicción pluviométrica que proporciona las entradas a un segundo grupo de modelos de predicción de caudales.

Las imágenes de radar que se reciben pasan por un proceso previo que las calibra con los datos recibidos de los pluviómetros. El modelo de predicción, en función de las imágenes de radar calibradas y de información introducida por el responsable del centro, realiza una predicción de las imágenes futuras.

Se ejecutarán simultáneamente tres modelos de predicción de caudales: el Modelo de Isocronas, el Modelo de Transporte y el Modelo de Calibración Continua, de modo que se complementan y sustituyen en caso de fallo.

3.4.2.- Calibración Imagen del radar

a) Promedio espacial y temporal de las imágenes de radar

El radar meteorológico realiza una estimación de la lluvia indirectamente, a partir de la medida de una variable, la reflec-

tividad(Z), que está directamente relacionada con la medida de las gotas. La reflectividad es medida sobre amplios alcances geográficos, y mediante un algoritmo de interpolación espacial y temporal crea una imagen de reflectividad cada cierto intervalo de tiempo (actualmente 10 minutos), donde es asociada una reflectividad media a cada celda en que se ha discretizado el espacio (actualmente 1 o 2 Km²)

Conocida la reflectividad en cada una de estas celdas, es posible realizar una estimación de la intensidad de lluvia (R) mediante una relación Z-R. Esta relación, que depende de las características de la lluvia (función de distribución de tamaño de las gotas), varía según la zona climática y el tipo de lluvia, y debe adoptarse como una relación media que se ajuste a datos experimentales.

La estimación de lluvia por radar se realiza indirectamente a partir de otra medida, y se puede intuir que está sometida a una gran cantidad de fuentes de error intrínsecos a la medida de Z: intercepción del haz del radar con algún obstáculo, la distancia del radar al punto de medida, etc. Es por esta razón, que se realiza un promedio espacial y temporal de las imágenes de radar. Mediante estos promedios, quedan compensados los valores de las imágenes, y el resultado obtenido se acerca más al valor real.

b) Ajustar la imagen de radar con la red de pluviómetros

La información de lluvia que ofrece el radar meteorológico es continua en el espacio, pero es solo aproximada. Por otra parte, la red de pluviómetros da una información discreta de la lluvia caída, pero esta información es exacta.

Un segundo paso para ajustar las imágenes recibidas por el radar, es utilizar la información obtenida por la red de pluviómetros.

Se utilizan los polígonos de Thiessen para asignar a cada celda de la imagen del radar el pluviómetro apropiado.

El criterio de calibración establecido es el siguiente:

▼ Se calcula el valor promedio de las celdas de la imagen del radar que envuelven a un determinado pluviómetro. Comparamos este promedio con el valor obtenido por el pluviómetro y obtenemos un factor de corrección. Si los valores son muy pequeños, el valor de corrección será aditivo, y sino será multiplicativo.

▼ Se aplica el factor de corrección calculado a todas las celdas del polígono de Thiessen correspondiente al pluviómetro.

3.4.3.- Modelo de predicción pluviométrica

En la Base de Datos se han definido las fuentes de donde el operador puede obtener información, y se ha asignado a cada una de ellas un peso, dependiendo de su importancia o

grado de fiabilidad. Las fuentes introducidas son las siguientes: MASS, SAFEMA, METEOSAT, Fax, Internet, Radio, TV.

El operador del centro de control, dependiendo de la información que reciba a través de estas fuentes introducirá un valor de previsión para un intervalo de tiempo que indicará si la lluvia va a ir decreciendo en un futuro o bien si va a ir en aumento.

A partir de las imágenes de radar calibradas con la información recibida por los pluviómetros y de información introducida por el operador, el modelo de predicción pluviométrica generará las imágenes de radar que se proveen para las siguientes 12 horas.

3.4.5.- Modelo de Isocronas

Este modelo usa las imágenes de radar previamente ajustadas con los valores de los pluviómetros, y las imágenes de radar previstas calculadas por el modelo de predicción como entradas de un modelo hidrológico.

La cuenca del río se ha dividido en células de 2x2 Km. El modelo transforma la lluvia caída en cada célula en escorrentía superficial en función del tipo de terreno de las mismas. Posteriormente aplica un transporte a cada célula basado simplemente en la aplicación de retrasos en función de la posición de cada célula respecto al punto de inicio del parque.

3.4.6.- Modelo de Transporte

Este modelo calcula a partir de los caudales provenientes de los diferentes afluentes del río y del alcantarillado, el caudal que llegará al punto de inicio del parque. A las aportaciones de caudal se les aplica un retraso en función de la diferencia entre la isocrona entre el punto de medida y el punto de inicio del parque, que representa el tiempo de transporte.

3.4.7.- Modelo de Calibración Continua

Se trata de un modelo determinista, en el que las relaciones entre las medidas hidrológicas pluviómetros y puntos de aforo, permiten establecer un modelo para determinar los niveles futuros de agua en el parque fluvial. Este modelo se basa en modelar cada subcuenca mediante un depósito virtual que contiene toda el agua acumulada en ella. Las entradas del depósito son las aportaciones anteriores y la lluvia, y las salidas son las aportaciones del mismo hacia otras subcuencas.

La existencia de sistemas de telesupervisión permiten realizar una calibración continua en tiempo real, produciéndose una notable mejora en la calidad del modelo. Concretamente, los parámetros que definen el modelo se recalculan en tiempo real cada vez que llegan nuevos datos de los diferentes sistemas de telesupervisión. Para ello se comparan los datos que se han medido en la realidad, con los valores previamente calculados por el modelo.

CUADRO 1

	Latencia	Vigilia	Crecida	Alarma	Inundación Parcial	Inundación Total
Latencia		1	1,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Vigilia	1		1,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Crecida	1,3	1,3		1,2,3	1,2,3	1,2,3
Alarma	1,2,3,	1,2,3	1,2,3		1,2,3	1,2,3
Inundación parcial	1,2,3,	1,2,3	1,2,3	1,2,3		1,2,3
Inundación total	1,2,3,	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	

3.4.8.- Interfase del Sistema Supervisor

Los tres modelos de predicción de caudales: modelo de isocronas, modelo de transporte y modelo de calibración continua corren simultáneamente. Cada uno de ellos hará una predicción del caudal que pasará por el río Besós a la altura del parque las siguientes 12 horas. A partir de estas predicciones, el sistema establecerá un estado de alerta.

De manera paralela, y siguiendo un criterio de prudencia inicial en la explotación del parque, se establecerá el estado "Estado de Crecida" siempre que algún pluviómetro registre una lluvia superior a los 25mm/h de intensidad 5-minutal, el nivel SAFEMA sea como mínimo el equivalente al nivel "L" del PREVIMET, o el promedio de las imágenes de radar en el área de la cuenca del Besós recrecida en 25 Km sea superior a 25 mm/h de intensidad 5-minutal. El valor de 25mm/h se irá ajustando en función de la experiencia y de los estudios de los datos diarios existentes.

3.5. Alarmas y avisos

El estado de alerta es la condensación en un solo parámetro del gran volumen de información que proporcionan todos los sensores utilizados. El sistema supervisor del sistema de alerta, dependiendo de los resultados de los modelos y de si se superan unos ciertos límites establecidos da un estado de alerta. Un operador valida este estado de alerta obtenido. Se definen 6 estados de alerta.

- ▼ a) Estado de latencia. Sin previsión de posibles crecidas. No se toma ninguna acción.
- ▼ b) Estado de vigilia. Previsión de posibles crecidas a largo plazo. No se toma ninguna acción, pero se sigue la situación atentamente.
- ▼ c) Estado de crecida. Previsión de posibles crecidas a medio plazo. Se ordena una evacuación tranquila del parque fluvial.

▼ d) Estado de alarma. Previsión de crecidas a corto plazo. Se ordena una evacuación inmediata y rápida del parque fluvial.

▼ e) Estado de inundación parcial. El parque fluvial está parcialmente inundado. La entrada al parque está prohibida.

▼ f) Estado de inundación total. El parque está totalmente inundado. La entrada al parque está prohibida.

Largo plazo significa más de 12 h, medio plazo entre 2 h y 12 h y corto plazo quiere decir menos de 2 h. Por crecida se entiende una elevación del nivel del río dentro del parque fluvial que provoque que el agua llegue a zonas normalmente destinadas al paso de personas.

El modelo genera un valor de estado de alerta. La información auxiliar que llegue en un momento dado, evaluada por un operador humano, puede hacer que éste decida modificar en más o en menos el valor de estado de alerta generado por el sistema.

Funcionalmente, el sistema también deberá generar la previsión futura de la evolución de los estados de alerta.

Los avisos de alerta se envían en función de las variaciones de los estados de alerta, ello está resumido en el cuadro 1.

- ▼ 1) Aviso a las administraciones interesadas (Ayuntamientos, Junta de Aguas, Gobierno Civil, etc.).
- ▼ 2) Aviso a las fuerzas de orden público (Policía Nacional, Policía Municipal, Bomberos, Guardia Civil, etc.).
- ▼ 3) Aviso a los usuarios del parque fluvial.

Por tanto, el sistema supervisor del sistema de alerta hidrológica, en función de los cambios que se produzcan en el estado de alerta tiene la funcionalidad de generar y enviar los correspondientes avisos siguiendo el anterior cuadro.

Los avisos de tipo 3 se enviarán telemáticamente a la estación remota situada al propio parque fluvial, y consistirán en la

difusión de mensajes, a través de las sirenas instaladas en el parque fluvial, avisadores luminosos, y a través de paneles luminosos alfanuméricos situados también en su interior.

4. CONCLUSIONES

El problema de la predicción de avenidas en cuencas pequeñas y con regímenes de lluvia tormentosos, puede abordarse mediante el uso de una sensorización en tiempo real – tanto de lluvia y caudal, como de radar meteorológico – conjuntamente con el uso de modelos hidrológicos, incluyendo entre estos los de calibración continua en tiempo real. Estas técnicas están siendo aplicadas en la actualidad en la implantación del sistema supervisor del sistema de alerta del parque fluvial del río Besós, en Barcelona.

5. BIBLIOGRAFÍA

–Luis Berga Casafont, “La problemática de las inundaciones y los sistemas de alarma y previsión de avenidas”, Curso de Avenidas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–José Luis Camacho Ruíz, “Medida de precipitaciones por radar. Red nacional de radares meteorológicos”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–José Ramón Témez Peláez, “Previsión de avenidas mediante modelos hidrometeorológicos”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Antonio Osuna Martínez, “Ecuaciones básicas en el estudio de la propagación de avenidas”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–José Dolz Ripollés, “Propagación de avenidas. Métodos de cálculo”, Curso de Avenidas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Konstantine P. Georgakakos, “Real time flood and flash-flood forecasting using hydrometeorological models and modern estimation theory techniques”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Yousuke Sasaki, “Flood forecasting and warning systems in Japan”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Yoshiaki Iwasa, “Numerical models in flood forecasting used in Japan”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de In-

genieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Jean Pierre Dupouyet, “Red radio de telemediciones para el anuncio de las crecientes en la cuenca del Garona”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Antonio Milla Riera. “Sistema automático de información hidrológica (S.A.I.H.)”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Javier Arbáizar González, “Instrumentación en los sistemas automáticos de información hidrológica”, curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–José Cuenca Bartolomé, “Los sistemas inteligentes de información en la gestión de avenidas”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

Enrique Díaz González, “Antecedentes y sistema actual de previsión de avenidas en la cuenca del Pirineu Oriental”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

–Justo Llácer Barrachina, “Problemática debida a las avenidas e implantación del S.A.I.H. en las cuencas de la Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental”, Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.

A. Redaño, “Estructura fina de las lluvias intensas en Barcelona”, Mem. R. Ac. Ciencias y Artes de Barcelona, Vol. XLIV, nº 7, 1989.

–H. Hartong, “Aspectos económicos del control en tiempo real en sistemas de drenaje urbano” y “Estudio de casos en la región de West-Friesland y en el Flevo-Polder”, Workshop sobre gestión en tiempo real de sistemas de drenaje urbano, Barcelona, 1990.

–Hans Hartong, Arnold Lobbrecht, “Applications of operations research to real time control of water resources systems”, Third European Junior Scientist Course, Formerum, Terschelling, The Netherlands, 20-25 September 1991.

–J.M. Delattre, “Approche opérationnelle de la gestion en temps réel des réseaux d’assainissement. L’expérience de Seine Saint-Denis”, III Curso de Avenidas: Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 1992.

–P. Malgrat, “El Plan Especial de Alcantarillado de Barcelona (PECB)”, III Curso de Avenidas: Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 1992.

–M. Gómez, “Análisis hidráulico de las redes de drenaje urbano”, III Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1992.

- J.R. de Clascà, M.A. Andújar, J.N. Arderiu, “Los colectores del Frente Marítimo de Barcelona”, III Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1987.
- J.L. Quer, J. Martí, P. Malgrat, “On the implementation of real time control (RTC) and a GIS in Barcelona’s urban drainage system”, Novatech’92, Lyon (Francia), 1992.
- J.M. Sévar, “Nouvelles technologies utilisées pour la mesure et l’enregistrement des débits des eaux usées et pluviales”, Novatech’92, Lyon (Francia), 1992.
- P. Malgrat, J. Martí, “Aplicación de tecnologías avanzadas de gestión en una red de alcantarillado”, XIV Jornadas Técnicas de la Asociación Española, de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), Las Palmas de Gran Canaria, 1993.
- J. Martí, LL. Ballester, P. Malgrat, “Implementation of real time control in Barcelona’s urban drainage system”, Sixth International Conference on Urban Storm drainage, Ontario-Canada, 1993.
- J. Martí, “Problemática general del saneamiento y drenaje”, Curso de Nuevas Tecnologías aplicadas al diseño y renovación de Alcantarillados Urbanos, Benicàssim, 1993.
- J. Martí, “Diseño de sistemas informáticos de gestión de redes de saneamiento”, XIV Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), Jerez de la Frontera, 1994.
- J. Martí, “Control optimizado operativo (COPOP)”, Clavegueram de Barcelona, S.A. (CLABSA), 1994.
- P. Malgrat, J. Martí, “Aplicación de tecnologías avanzadas de gestión en una red de alcantarillado”, XIV Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento. Las Palmas de Gran Canaria, 1994.
- J. Martí, “Explotación centralizada de redes de saneamiento”, OP Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1995 (nº 3.358).
- Clavegueram de Barcelona S.A. (CLAB-SA), “Manual de operación de la explotación centralizada (MOEC), 1995.
- J. Martí, “Explotación centralizada de redes de saneamiento”, Revista Obra Pública (Saneamiento II, nº 33), 1995.
- J.A. García, F.J. Pascual, M. Salamero, M. Serentill, “Estudio teórico-práctico del funcionamiento de un pluviómetro de cazoletas”, Tecnología del Agua nº 153, 1996.
- M. Ferré, F.J. Pascual, “Comparación reflectividad – intensidad de lluvia en imágenes de radar meteorológico sobre Barcelona”, Mapping, 1997.
- J. Martí, LL. Ballester, J.M. Verdejo, “Sistema de alerta hidrológica del parque fluvial del río Besós”, Equipamiento y Servicios Municipales, nº 75, 1998.
- J. Martí, F. Puig, A. Alarcón, R. Prats, “Récupération environnementale du Tronçon aval de la rivière Besós”, Waterways. Rehabilitation in urban environments, Quebec, September 1998.
- J. Martí, “Lluvia en Barcelona, determinación de su intensidad en periodos inferiores a 5 minutos”, revista Tecnología del Agua, núm. 182, Noviembre 1998.
- J. Martí, María Salamero, “Optimized global control and self-calibrating models for real time sewer management in Barcelona”. International Workshop in trends in on-line monitoring and control (Amsterdam, September 1998).
- J. Martí, “El proyecto Life de reducción de la polución al río Besós producida por los vertidos de las aguas pluviales y residuales del alcantarillado”, revista Medio Ambiente y Servicios Urbanos de Barcelona (núm. 4. Enero 1998). ■