

ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN
LA CORPORACION METROPOLITANA DE BARCELONA
DURANTE LAS LLUVIAS DE LOS
DIAS 2 A 4 DE OCTUBRE DE 1987

Rafael Mujeriego
Dr. Ingeniero de Caminos

Josep Maria Jové
Ingeniero de Caminos

Sergi Sugranyes
Ingeniero de Caminos

Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña

Este estudio ha sido patrocinado por la
Corporación Metropolitana de Barcelona
a través de un Convenio de Investigación con la
Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona, mayo de 1988

ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN
LA CORPORACION METROPOLITANA DE BARCELONA
DURANTE LAS LLUVIAS DE LOS
DIAS 2 A 4 DE OCTUBRE DE 1987

Rafael Mujeriego
Dr. Ingeniero de Caminos

Josep Maria Jové
Ingeniero de Caminos

Sergi Sugranyes
Ingeniero de Caminos

Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña

Este estudio ha sido patrocinado por la
Corporación Metropolitana de Barcelona
a través de un Convenio de Investigación con la
Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona, mayo de 1988

RESUMEN

El régimen de lluvias característico de la zona costera catalana da lugar periódicamente a episodios de lluvia de considerable intensidad, que provocan el desbordamiento de sus rieras y la inundación de las zonas colindantes.

Las precipitaciones registradas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987 ocasionaron el desbordamiento de numerosas rieras y redes de drenaje urbano, lo que propició la inundación de un gran número de zonas urbanas y agrícolas de la Corporación. Este episodio de intensa precipitación se produjo exactamente cuatro años después de que se hubiera registrado una situación muy similar en la zona de estudio, y cinco años después de que se hubiera registrado la última avenida del Río Llobregat.

Las causas inmediatas de las inundaciones registradas en octubre de 1987 han sido prácticamente las mismas que las observadas en noviembre de 1983, debido fundamentalmente al estado de absoluto abandono y deterioro en que los sistemas de desagüe del ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona han permanecido durante los cuatro años transcurridos entre ambos episodios.

La insuficiente capacidad hidráulica de las rieras, la acumulación de residuos y basuras de todo tipo en el cauce de las rieras, las dificultades físicas para que los caudales recogidos por las rieras puedan desaguar en el mar, la utilización del cauce de las rieras como vía urbana, camino rural o incluso zona edificable, la insuficiente capacidad o fiabilidad del sistema de alcantarillado, la frecuente obstrucción de las rejillas de desagüe de las redes de alcantarillado, y el ascenso generalizado del nivel freático en las zonas del Delta del Río Llobregat, han contribuido a que las zonas urbanas y agrícolas de la Corporación Metropolitana de Barcelona sufran, una vez más, las consecuencias de las inundaciones.

Las remodelaciones efectuadas en puntos concretos del sistema de desagüe de la Corporación Metropolitana de Barcelona han sido muy eficaces para evitar que se produjeran inundaciones durante el episodio de lluvias del 2 al 4 de octubre de 1987. Las obras de remodelación realizadas en el casco urbano de El Prat de Llobregat constituyen una de las mejores ilustraciones.

La subida generalizada del nivel freático ha sido uno de los factores que más ha influido en la extensión y duración de las inundaciones registradas en las zonas del Delta del Río Llobregat. Además de los perjuicios ocasionados en explotaciones agrícolas y edificios urbanos, hay que resaltar las graves implicaciones sanitarias que puede tener la inundación prolongada y a veces permanente que sufren las pinedas y zonas urbanas situadas a lo largo de la carretera C-246, Autovía de Castelldefels.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este estudio ha sido posible gracias a la información y colaboración prestadas por los responsables y técnicos de todos los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona, así como por los Servicios Meteorológicos de los Centros Meteorológicos Zonales de Barcelona y Palma de Mallorca, de la Universidad de Barcelona y de TV3.

Queremos agradecer a los numerosos vecinos y agricultores afectados por las inundaciones, así como a los testigos presenciales de las mismas, la valiosa información que nos han facilitado sobre las circunstancias en que se desarrollaron las inundaciones ocurridas durante los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Hemos de expresar nuestra gratitud a los Servicios Técnicos de la Corporación Metropolitana de Barcelona por la confianza y ayuda que nos han brindado. Particularmente, a D. Antonio Tomás y a D. Antonio Palacios por el interés y apoyo que nos han ofrecido durante la ejecución de este estudio.

La ayuda entusiasta de la Profesora Carmen Llasat en la recopilación y análisis de las condiciones meteorológicas que provocaron las lluvias objeto de este estudio, y la colaboración incansable de Lluisa Guardia y Rafael López en las visitas a las zonas inundadas han contribuido a la pronta realización de este estudio. A todos ellos nuestro agradecimiento y aprecio.

Por último hemos de expresar nuestra gratitud a las personas que amablemente nos han facilitado información fotográfica de los efectos de las inundaciones: el Sr. Jordi Pérez, el Sr. Ramón Josa y a los técnicos de la Gerencia de Promoción Agrícola de la Corporación Metropolitana de Barcelona. Su aportación ha de contribuir sin duda a una mejor definición de las soluciones correctoras propuestas.

INDICE

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
METODOLOGIA	3
RESULTADOS Y DISCUSION	10
Introducción	10
El Episodio de Lluvias	10
Evolución y Distribución de las Lluvias	11
Pluviogramas Diarios	14
Condiciones Meteorológicas	15
Análisis Comparativo de las Lluvias de 1983 y 1987	20
El Sistema Hidráulico	25
Zonas Inundadas	26
Origen de las Inundaciones	29
Causa de las Inudaciones	30
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA SITUACION EN 1983 Y 1987	39
PROGRAMA DE MEDIDAS CORRECTORAS	44
VALORACION ECONOMICA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS	48
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	54
ANEXO 1 : Municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones	55
ANEXO 2 : Formularios de registro de datos correspondientes a los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones	60

LISTA DE FIGURAS

	Título	página
Figura 1.	Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).	4-8
Figura 2.	Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 7.00 horas del día 2 a las 7.00 horas del día 5 de octubre de 1987. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona	13
Figura 3.	Análisis comparativo de los pluviogramas de las lluvias registradas en el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, en el Aeropuerto de El Prat de Llobregat, durante los días 2 a 4 de octubre de 1987, con las de las lluvias de diseño utilizadas en la remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).	16
Figura 4.	Análisis comparativo de los pluviogramas de las lluvias registradas en el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, en la calle Roura de Barcelona, durante los días 2 a 4 de octubre de 1987, con las de las lluvias de diseño utilizadas en la remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).	17
Figura 5.	Mapa meteorológico de superficie de los días 1 y 3 de octubre de 1987. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Palma de Mallorca	19
Figura 6.	Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 8.00 horas del día 6 a las 8.00 horas del día 8 de noviembre de 1983. Tomado del estudio realizado para la Corporación Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y cols., 1985).	22
Figura 7.	Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982. Tomado del estudio realizado para la Corporación Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y Dolz, 1983)	23

- Figura 8. Precipitaciones medias anuales registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los años 1944 a 1980. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Tomado del estudio realizado para la Corporación Metropolitana de Barcelona (Muñeriego y Dolz, 1983). 24
- Figura 9. Zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron inundaciones durante los días 2 a 4 de octubre de 1987 . . . 27

LISTA DE TABLAS

Título	página
Tabla 1. Precipitaciones máximas de 24 horas registradas en Cataluña durante los últimos días de septiembre y primeros de octubre de 1987.	12
Tabla 2. Análisis comparativo de las zonas afectadas por las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 y los días 2 a 4 de octubre de 1987	26
Tabla 3. Análisis comparativo del origen de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 y los días 2 a 4 de octubre de 1987.	29
Tabla 4. Análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 y los días 2 a 4 de octubre de 1987	31
Tabla 5. Resumen de las obras realizadas por la Corporación Metropolitana de Barcelona durante el periodo 1983 a 1987, y valoración de sus efectos como medidas correctoras de las inundaciones.	43
Tabla 6. Análisis presupuestario del programa de medidas correctoras propuesto para evitar las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987.	50

INTRODUCCION

El régimen de lluvias característico de la zona costera catalana da lugar periódicamente a episodios de lluvia de considerable intensidad, que provocan el desbordamiento de sus rieras y la inundación de las zonas colindantes.

Las precipitaciones registradas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987 ocasionaron el desbordamiento de numerosas rieras y redes de drenaje urbano, lo que propició la inundación de un gran número de zonas urbanas y agrícolas de la Corporación.

Este episodio de intensa precipitación se produjo exactamente cuatro años después de que se hubiera registrado una situación muy similar en la zona de estudio, y cinco años después de que se hubiera registrado la última avenida del Río Llobregat.

Sin embargo, mientras que las inundaciones ocurridas en noviembre de 1982 fueron causadas por las intensas lluvias caídas en la cabecera del Río Llobregat, provocando posteriormente el desbordamiento del Río en diversos tramos próximos a su desembocadura, tanto las inundaciones registradas en noviembre de 1983 como las acaecidas en octubre de 1987 fueron producidas por las intensas lluvias caídas en el propio ámbito de la Corporación que, al no poder desaguar por el inadecuado sistema de drenaje existente, desbordaron sus cauces normales e invadieron las zonas urbanas y agrícolas colindantes.

La sucesión en un plazo de cinco años de estos tres episodios catastróficos y, especialmente, la morfología y consecuencias tan similares de los dos últimos episodios de inundaciones ponen de manifiesto, una vez más, la necesidad de llevar a cabo un programa eficaz de gestión de las aguas de escorrentía que asegure su evacuación adecuada de las zonas urbanas y agrícolas, evitando así el riesgo de graves inundaciones que pesa sobre numerosas zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Ha sido en este contexto en el que la Corporación Metropolitana de Barcelona estableció un Convenio de Investigación con la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, con objeto de evaluar las causas inmediatas de las inundaciones ocurridas los días 2 a 4 de octubre de 1987, comparar sus efectos con los de las lluvias registradas en noviembre de 1983, y elaborar un programa de medidas correctoras.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es evaluar las causas inmediatas de las inundaciones producidas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona por las intensas lluvias registradas los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Entre los objetivos específicos de este estudio cabe señalar:

1. Identificar las zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron las inundaciones.
2. Recopilar la información disponible sobre la localización de las zonas inundadas, el origen de las aguas responsables de las inundaciones, y las causas que las motivaron, así como elaborar un reportaje gráfico adecuado de las zonas afectadas.
3. Incorporar toda la información así obtenida dentro del sistema de registro de datos elaborado con ocasión de las inundaciones ocurridas en noviembre de 1983, a fin de facilitar el archivo y consulta de toda la información recopilada durante estos dos estudios.
4. Analizar las causas y circunstancias en que se produjeron las inundaciones, a partir de las observaciones de campo efectuadas y de las conversaciones mantenidas con los vecinos de la zona.
5. Elaborar un programa de medidas correctoras que, teniendo en cuenta el programa recomendado con ocasión de las inundaciones de noviembre de 1983, permita evitar la repetición futura de situaciones similares a las registradas en 1983 y 1987.
6. Realizar una valoración económica preliminar de las medidas correctoras propuestas, especialmente de los costes de ejecución de las obras hidráulicas destinadas a desaguar los caudales de escorrentía, y de los costes anuales de mantenimiento de los dispositivos de desagüe de esas mismas aguas.
7. Comparar los efectos producidos por las inundaciones de noviembre de 1983 y las de octubre de 1987, evaluando la beneficios obtenidos con las reformas llevadas a cabo desde el anterior episodio de lluvias de noviembre de 1983.

METODOLOGIA

La evaluación de las inundaciones registradas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987 se ha llevado a cabo mediante visitas de campo efectuadas a todos los municipios de la Corporación, así como a través de entrevistas mantenidas con responsables y técnicos municipales, y con vecinos afectados tanto en zonas urbanas como agrícolas.

Con objeto de facilitar el archivo y consulta de toda la información recopilada tanto durante este estudio como durante el realizado con ocasión de las lluvias de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985) se han utilizado los mismos formularios que se elaboraron durante el estudio de 1983 y que aparecen en la figura 1.

Como puede apreciarse en estos formularios, la identificación de la zona inundada viene reflejada en términos del municipio a que pertenece y de la denominación de la zona afectada. Cada una de las inundaciones registradas viene designada con un código de cuatro cifras: las dos primeras corresponden al municipio en el que se produjeron las inundaciones, y las dos últimas corresponden al número de orden de la inundación estudiada dentro del municipio considerado.

El criterio utilizado para establecer el código municipal ha sido el orden alfabético de los municipios visitados. La ordenación de las diferentes inundaciones ocurridas en un mismo municipio se ha realizado según el orden cronológico en el que fueron estudiadas. Se han respetado los códigos municipales adoptados durante el estudio de 1983, así como el de las inundaciones que entonces se produjeron, añadiéndose los números de orden necesarios para designar las inundaciones adicionales registradas en octubre de 1987.

La localización de la zona inundada viene ilustrada en la correspondiente porción de plano a escala 1 : 10 000, elaborado por la Corporación Metropolitana de Barcelona, en el que se ha señalado la zona afectada por las inundaciones.

El origen de las inundaciones viene reflejado en términos del río, canal de riego, riera u otro tipo de cauce de donde provinieron las aguas. La superficie total de la cuenca de la riera, así como la superficie urbana y urbanizable de la misma, han sido obtenidas de los planos de la Corporación Metropolitana de Barcelona y proporcionan una indicación de la importancia relativa de los caudales de agua de escorrentía que pudieron generarse en cada uno de los casos estudiados.

El apartado 4 del formulario incluye una descripción razonada de la causa inmediata de las inundaciones, basada en las observaciones realizadas durante las visitas de campo, así como en los comentarios que se pudieron recoger entre los vecinos o agricultores de la zona.

<p>CORPORACION METROPOLITANA DE BARCELONA</p> <p>Convenio de Investigación con la Universidad Politécnica de Cataluña</p> <p>Estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante las lluvias de los días 2 a 4 de octubre de 1987</p>	
<p>1. IDENTIFICACION</p> <p>Nombre del Municipio:</p> <p>Denominación de la zona inundada:</p>	<p>CODIGO:</p>
<p>2. LOCALIZACION DE LA ZONA INUNDADA</p>	
<p>3. ORIGEN DE LAS INUNDACIONES</p> <p>Río: Canal de riego: Riera:</p> <p>Superficie total de la cuenca: Superficie urbana de la cuenca: Superficie urbanizable de la cuenca:</p>	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

4. CAUSA DE LAS INUNDACIONES	CODIGO:
4.1 Observaciones de campo:	
4.2 Comentarios de los vecinos de la zona:	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

5. POSIBLES SOLUCIONES	CODIGO:
5.1 Descripción y valoración técnica:	
5.2 Valoración económica:	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

6. DOCUMENTACION GRAFICA	CODIGO:
[Empty space for graphical documentation]	
[Empty space for graphical documentation]	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. Formularios tomados del estudio similar realizado en 1985.

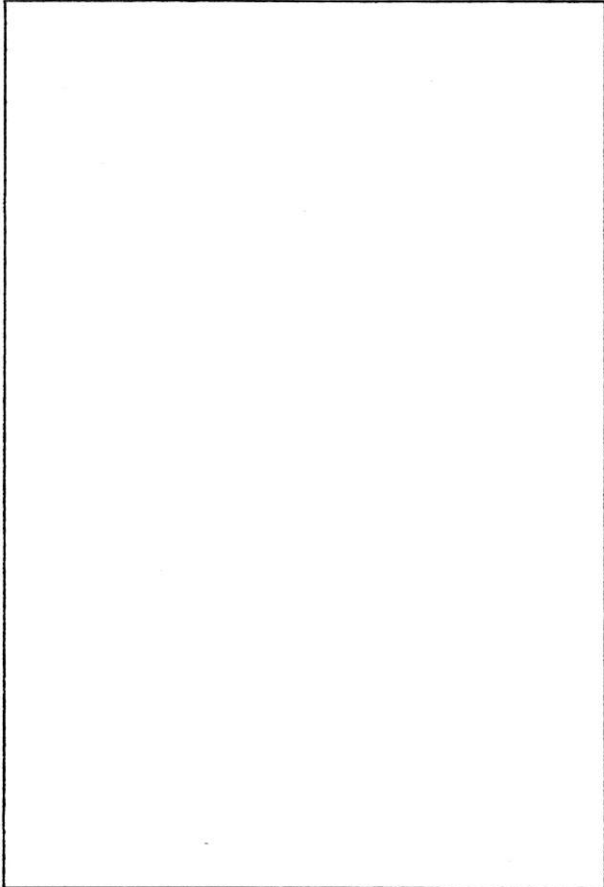
6. DOCUMENTACION GRAFICA	CODIGO:
	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

El apartado 5 del formulario contiene una descripción y valoración técnica de las soluciones propuestas para evitar la repetición de las inundaciones en cada caso concreto. Este apartado incluye también una valoración económica preliminar de las soluciones propuestas. Los costes que aparecen en muchos de estos casos, especialmente los relativos a obras de construcción, han sido tomados de las estimaciones realizadas por los Servicios Técnicos de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Por último, los formularios de registro contienen una selección de fotografías que ilustran los aspectos más significativos tanto de las causas de las inundaciones como del estado de la zona después de que éstas ocurrieran.

El método de trabajo adoptado ha sido el siguiente:

1. Identificación de la zona inundada, a partir de la información obtenida de los medios de comunicación y de los datos facilitados por la Corporación Metropolitana de Barcelona.
2. Localización sobre el plano de las zonas inundadas, y elaboración de los recorridos de las visitas.
3. Comparación detallada de las zonas inundadas en octubre de 1987 con respecto a las registradas en noviembre de 1983.
4. Visita a las zonas inundadas, para realizar el reportaje fotográfico y las entrevistas con vecinos afectados.

En los casos de inundación en zona rural, estas etapas se completaron con las siguientes:

5. Entrevista con personas relacionadas con la zona inundada, a través de las gestiones realizadas por la Gerencia de Promoción Agrícola de la Corporación Metropolitana de Barcelona.
6. Visita a las zonas afectadas en compañía de las personas entrevistadas.

Finalmente, y tanto en el caso de inundaciones de zonas urbanas como en el de zonas agrícolas,

7. Redacción del formulario correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

INTRODUCCION

El estudio de las inundaciones ocurridas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987 se ha efectuado a dos niveles: 1) de una parte, se han analizado las circunstancias que dieron lugar a unos caudales de escorrentía excepcionales en numerosas rieras de las cordilleras litoral y prelitoral de Cataluña, y 2) de otra parte, se han estudiado las circunstancias que propiciaron que esas mismas aguas de escorrentía desbordaran los cauces de las rieras, inundaran las zonas urbanas y agrícolas colindantes, y produjeran numerosos destrozos en ellas.

La información facilitada por los Servicios Meteorológicos de los Centros Meteorológicos Zonales de Barcelona y Palma de Mallorca, así como de la Universidad de Barcelona y de TV3, ha permitido evaluar las circunstancias en que se produjeron las intensas lluvias registradas en Cataluña durante los primeros días del mes de octubre de 1987.

Los contactos mantenidos con los Servicios Técnicos municipales así como con los de la propia Corporación Metropolitana de Barcelona han permitido establecer una primera valoración del número e importancia de las inundaciones ocurridas durante los días 2 al 4 de octubre de 1987. Las visitas de campo realizadas posteriormente a las zonas afectadas, así como las conversaciones mantenidas con los responsables y técnicos municipales y, especialmente, los comentarios recogidos entre los vecinos de las zonas colindantes, han permitido documentar cada una de estas inundaciones. La información recopilada se ha recogido en los correspondientes formularios, que aparecen en los Anexos de este estudio.

EL EPISODIO DE LLUVIAS

El mes de septiembre de 1987 ha sido uno de los más calurosos y secos de los últimos 25 años, como lo ilustran los 33°C de temperatura máxima alcanzada en Barcelona. No obstante, el día 28 de septiembre se iniciaron las lluvias que, aunque muy localizadas al principio, fueron extendiéndose posteriormente a toda la Península Ibérica y al sureste francés. Las precipitaciones llegaron a alcanzar gran intensidad, y dieron lugar a graves inundaciones en todo el litoral mediterráneo francés y español: el Rosellón, Cataluña, Levante y Andalucía Oriental.

Las precipitaciones de los días 28 de septiembre al 5 de octubre en Cataluña ocasionaron el desbordamiento de numerosas rieras y elevaron considerablemente los caudales de los ríos

Llobregat, Besós, Fluvía y Ter. Numerosas carreteras y vías férreas quedaron cortadas, y el servicio eléctrico y telefónico quedó interrumpido en numerosas poblaciones. El aeropuerto de El Prat de Llobregat permaneció cerrado durante dos días, debido a los destrozos causados en su torre de control por un rayo.

Al efecto de las lluvias se sumó el efecto devastador del viento que, con velocidades superiores en ocasiones a los 100 km/h, arrasó numerosos árboles y provocó el desplome de edificios. La fuerte marejada registrada en Mallorca llegó a producir olas de 6 metros de altura. Gran parte de las cosechas se vieron afectadas, y el balance de las inundaciones se saldó con 10 personas fallecidas e incalculables pérdidas materiales.

Las mayores precipitaciones se registraron en la zona costera, por lo que la situación de sequía que padece toda la región apenas se vió afectada. Mientras que los pantanos de Siurana y Riudecanyas permanecieron prácticamente vacíos, el lago de Sils en Gerona se llenó de agua, después de permanecer seco desde mediados del siglo pasado.

Las inundaciones provocadas por estas lluvias en Cataluña y, concretamente, en la cuenca baja del río Llobregat pueden considerarse como las más graves registradas en estas zonas. En líneas generales, los fenómenos desencadenantes de las inundaciones de octubre de 1987 fueron muy similares a los de las inundaciones de noviembre de 1983: las cordilleras litoral y prelitoral de Cataluña provocaron la precipitación de gran cantidad del vapor de agua contenido en las masas de aire cálido y húmedo provinientes del Mediterráneo (Mujeriego y cols., 1985).

Por el contrario, las inundaciones registradas en Cataluña en noviembre de 1982 fueron causadas por las precipitaciones producidas en las estribaciones de los Pirineos; estas lluvias dieron lugar a elevados caudales en las cabeceras de los ríos, y especialmente del Llobregat, produciendo una avenida que desbordó e inundó numerosas zonas próximas a su cauce, particularmente en las proximidades de su desembocadura, en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y Dolz, 1983).

EVOLUCION Y DISTRIBUCION DE LAS LLUVIAS

Después de una prolongada sequía estival, las lluvias se inician en Cataluña el 28 de septiembre de 1987, prolongándose hasta el 5 de octubre, y reanudándose los días 9 y 10 de este mismo mes. Aunque la zona afectada en primer lugar fué Tarragona y la costa sur de Barcelona, las lluvias se extendieron después a toda Cataluña, recogándose en muchos puntos precipitaciones superiores a 50 mm en 24 horas.

Las lluvias más intensas se registraron entre los días 1 y 4 de octubre, llegándose a sobrepasar los 90 mm en 24 horas. La precipitación máxima diaria se registró el 3 de octubre, con 209

mm. Hay que señalar, no obstante, que estos datos corresponden a las estaciones de registro del Servicio Nacional de Meteorología, por lo que es posible que pudieran registrarse precipitaciones superiores en zonas desprovistas de aparatos de medida.

La figura 2 ilustra las precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 2 a 4 de octubre de 1987. La evolución de las isoyetas muestra que las mayores precipitaciones se registraron en la franja litoral, con algunos máximos secundarios en el Pallars Jussà y en el Berguedà. Aunque el episodio de lluvias se inició al sur de Tarragona, no es posible detectar una trayectoria predominante durante su desarrollo.

Como prueba de ello puede indicarse que mientras que la precipitación máxima de 24 horas del 28 de septiembre se registró en Vandellós, las precipitaciones máximas en días sucesivos se registraron en el Delta del Ebro, en Barcelona, en Vandellós, en Tarragona, en Perelada, en Barcelona, y finalmente en Manresa, tal como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Precipitaciones máximas de 24 horas registradas en Cataluña durante los últimos días de septiembre y primeros de octubre de 1987.

Día	Localidad	Precipitación mm/día
28 septiembre	Vandellós	54
29 septiembre	Delta del Ebro	62
30 septiembre	Barcelona	66
1 octubre	Vandellós	145
2 octubre	Tarragona	91
3 octubre	Perelada	209
4 octubre	Barcelona	138
5 octubre	Manresa	60

La precipitación máxima registrada entre las 7 horas del 30 de septiembre y las 7 horas del 5 de octubre correspondió a El Prat de Llobregat, donde se recogieron 397 mm, valor máximo histórico de los registrados en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona. Otras precipitaciones máximas se registraron en el aeropuerto de Gerona, con 340 mm, en Perelada, con 373 mm, y en El Vendrell, con 280 mm.

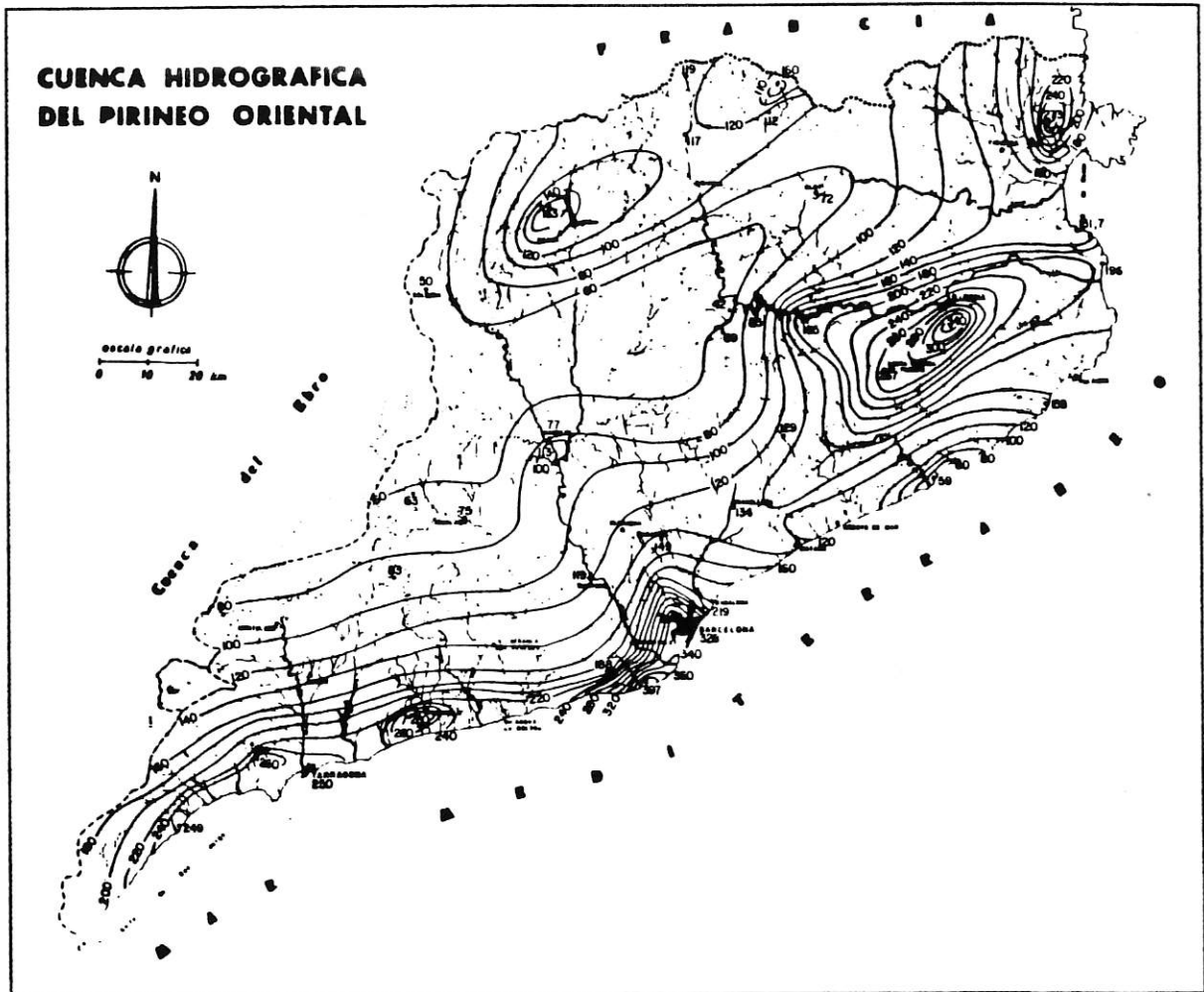


Figura 2. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 7.00 horas del día 2 a las 7.00 horas del día 5 de octubre de 1987. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.

Si se considera el episodio de lluvias comprendido entre las 7 horas del 28 de septiembre y las 7 horas del 6 de octubre, las precipitaciones máximas se registraron en El Prat de Llobregat, con 431 mm, y en El Vendrell, con 341 mm. Como puede verse, las mayores precipitaciones se registraron en zonas del litoral.

Las dos precipitaciones máximas registradas en Cataluña hasta septiembre de 1987 correspondían al ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona: los 440,5 mm recogidos en Sant Boi de Llobregat durante los días 20 a 23 de septiembre de 1971, y los 347 mm recogidos en El Prat de Llobregat durante las lluvias del 6 al 8 de noviembre de 1983.

A pesar de que las precipitaciones de los primeros días de octubre de 1987 han sido las mayores registradas históricamente en las costas de Cataluña, las intensidades de lluvia fueron moderadas, comparadas con las de otros episodios de lluvia ocurridos en Cataluña. Baste recordar que, en septiembre de 1962, se recogieron 250 mm en menos de 6 horas, que, el 2 de septiembre de 1971, se recogieron 308 mm en 24 horas, y que, en noviembre de 1982, se alcanzaron 341,8 mm en 24 horas en La Molina, y 408 mm en 24 horas en Vallcebre.

No obstante, puede asegurarse que la intensidad media de las precipitaciones fue elevada en algunos puntos, sobre todo en el Alt Empordà. El temporal de lluvias que se extendió hasta el SE francés hizo que se recogieran 411 mm en Banyuls entre los días 2 y 4 de octubre, de los cuales 305 mm se recogieron en tan sólo algunas horas, según el Servicio Meteorológico Francés.

Las lluvias se extendieron a toda España, provocando inundaciones en Andalucía y Levante, así como desprendimientos en el País Vasco. En muchos puntos, las lluvias fueron acompañadas de granizo.

Hay que señalar por último el gran paralelismo entre este episodio, el registrado en las mismas fechas del año 1986, y el observado en septiembre de 1962. Los tres se produjeron tras un periodo extremadamente cálido y seco, siendo la zona costera la más afectada por las lluvias.

Aunque el episodio de lluvias de 1983 no se produjo tras un periodo extremadamente cálido, ni las condiciones meteorológicas eran las mismas por tratarse del mes de noviembre, todos los episodios de inundaciones en Cataluña se rigen por el modelo de circulación atmosférica propuesto por Llasat (1987). Otro de los aspectos comunes entre los episodios de lluvias registrados en 1962, 1983, 1986 y 1987 es que la zona más afectada fue la Corporación Metropolitana de Barcelona.

PLUVIOGRAMAS DIARIOS

Con objeto de comparar las precipitaciones registradas durante este episodio de lluvia con los episodios de diseño

utilizados recientemente (Mujeriego y cols., 1986) para remodelar la red de drenaje de El Prat de Llobregat, se han elaborado los pluviogramas de las lluvias registradas durante los días 2 al 4 de octubre de 1987.

Las observaciones meteorológicas consultadas han sido las facilitadas por: 1) el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona en el aeropuerto de El Prat de Llobregat, 2) el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona en la calle Roura, y 3) el Observatorio Fabra, situado en la Sierra de Collcerola.

Las gráficas que aparecen en las figuras 3 y 4 corresponden a las observaciones registradas en los dos primeros observatorios, ya que los datos facilitados por el Observatorio Fabra no han permitido obtener los pluviogramas correspondientes.

Un análisis comparativo de los pluviogramas correspondientes a los días 2 a 4 de octubre de 1987 y los utilizados para la remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat permite obtener las siguientes conclusiones:

1. Las intensidades de lluvia registradas durante los días 2 a 4 de octubre de 1987 son menores que las correspondientes a los pluviogramas de diseño tipo I y tipo II utilizados en El Prat de Llobregat.
2. El pluviograma correspondiente al periodo del 4 al 5 de octubre es muy similar al pluviograma de diseño tipo II. Por otra parte, el pluviograma correspondiente al periodo del 3 al 4 de octubre guarda mayor similitud con el pluviograma de diseño tipo I.
3. La intensidad de las lluvias registradas los días 2 a 4 de octubre de 1987 fue inferior a las consideradas en el estudio de remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat. No obstante, las lluvias tuvieron una duración muy prolongada y se produjeron en un momento en que el suelo estaba saturado .

Por último, los resultados anteriores ponen claramente de manifiesto las considerables dificultades a que hay que hacer frente en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona para disponer de unos pluviogramas fiables y sistemáticos. Es evidente que mientras no se disponga de una serie histórica adecuada de los episodios de lluvias característicos de esta zona no será posible llevar a cabo un programa de remodelación de las redes de drenaje de la Corporación Metropolitana de Barcelona que ofrezcan una protección adecuada y eficaz frente a las inundaciones, a cambio de unos costes razonables.

CONDICIONES METEOROLOGICAS

El análisis de la información facilitada por los Servicios

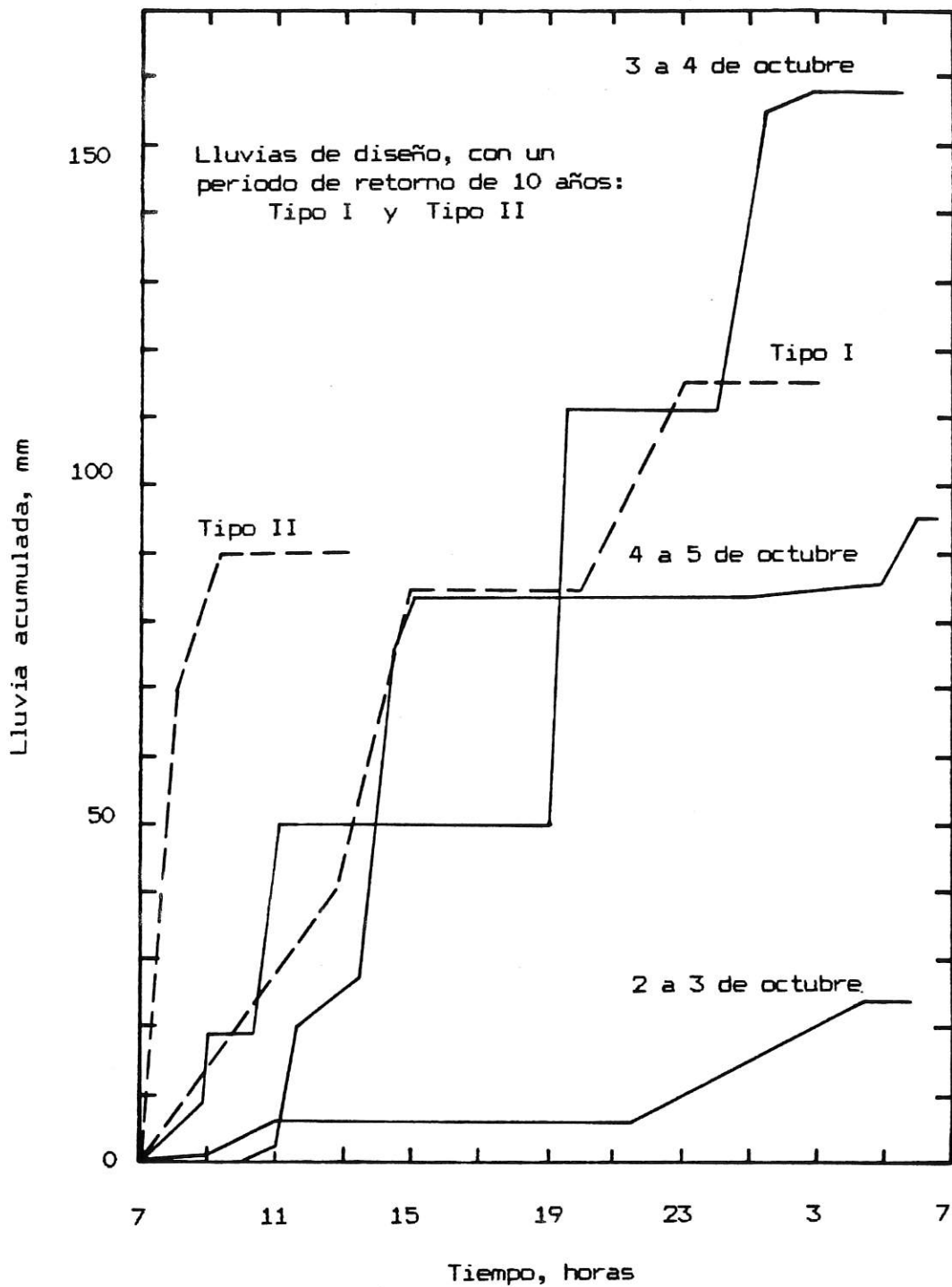


Figura 3. Análisis comparativo de los pluviogramas de las lluvias registradas en el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, en el Aeropuerto de El Prat de Llobregat, durante los días 2 a 4 de octubre de 1987, con las de las lluvias de diseño utilizadas en la remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

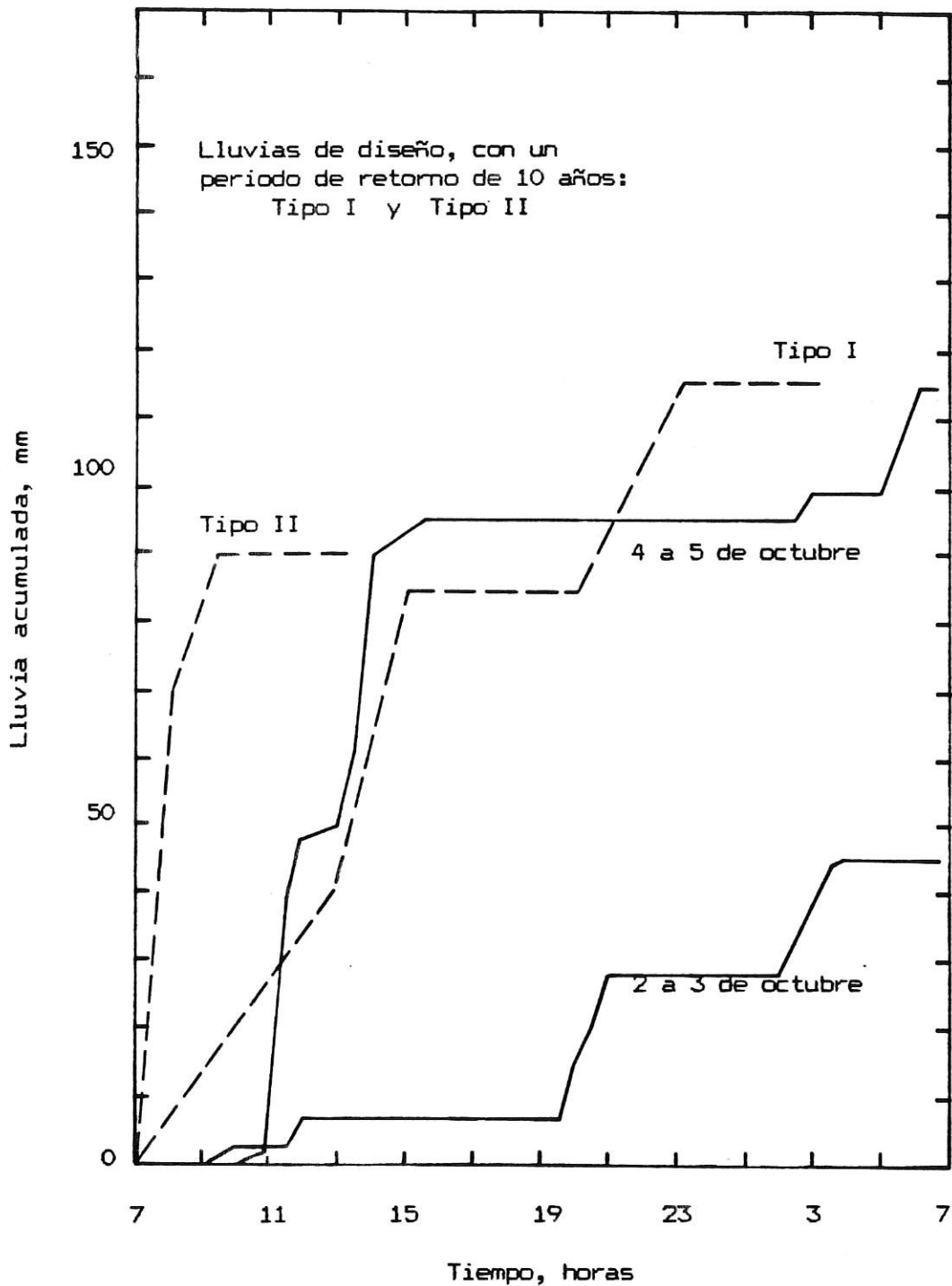


Figura 4. Análisis comparativo de los pluviogramas de las lluvias registradas en el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, en la calle Roura de Barcelona, durante los días 2 a 4 de octubre de 1987, con las de las lluvias de diseño utilizadas en la remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

Meteorológicos de los Centros Meteorológicos Zonales de Barcelona y Palma de Mallorca, de la Universidad de Barcelona y de TV3 ha permitido establecer las circunstancias que propiciaron las intensas lluvias registradas en Cataluña y, en particular, en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Los mapas meteorológicos de superficie y de 500 hPa del día 3 de octubre que aparecen en la figura 5 revelan la presencia de una fuerte depresión situada sobre la Península Ibérica y de un fuerte anticiclón centrado sobre Europa. Este extenso anticiclón europeo impide el avance de la perturbación, favoreciendo la acumulación de agua en la troposfera baja, sobre el Mediterráneo. El episodio de lluvias terminaría unos días después cuando el anticiclón se situó sobre Rusia, y la depresión abandonó la zona de influencia de la Península Ibérica, pudiendo restablecerse la circulación zonal.

Esta situación atmosférica en superficie tan característica, propuesta por Llasat (1987) como modelo para este tipo de episodios, favoreció la entrada de aire húmedo del atlántico que se fue recalentando a medida que avanzaba sobre el norte de Africa, y aumentando su contenido de humedad a su paso por el Mediterráneo. Las observaciones meteorológicas indican un marcado ascenso de las temperaturas hasta el 5 de octubre, momento en que se inicia su descenso. Así, mientras que en Palma de Mallorca la temperatura sobrepasó los 19°C a mediodía solar del 1 de octubre, en Argel se alcanzaron los 31°C durante los días 2 y 3 de octubre.

Esta lengua de aire muy cálido afectó a todo el litoral mediterráneo español, que fue donde se registraron las mayores precipitaciones. El análisis de los radiosondeos muestra que, al mediodía de los días 3 y 4 de octubre, el aire cálido ocupaba todos los niveles de la atmósfera, observándose una inversión de subsidencia a 1500 m sobre la vertical de Palma de Mallorca.

La entrada de un frente frío en la península el día 1 de octubre, y la intensificación de una depresión al NW de Galicia favorecieron el contraste de temperaturas y el flujo de aire del SW en altura. Las lluvias registradas en el oeste de la península fueron debidas principalmente a estos dos factores. Los mapas de superficie de los días 2 a 5 de octubre muestran como el frente frío quedó bloqueado, favoreciendo así la persistencia del episodio de lluvias.

El día 5 de octubre, en que la depresión ya había desaparecido, se formó una débil gota fría en el Golfo de Cádiz que pudo contribuir a las lluvias que se registraron en Andalucía Occidental.

Aunque los mapas meteorológicos de los días 2 al 5 de octubre de 1987 no lo manifiestan, llegaron a registrarse ráfagas de viento superiores a 60 km/h en superficie, debido principalmente a la circulación de aire creada por la propia tormenta. La velocidad del viento en el observatorio Fabra de Barcelona llegó a alcanzar 108 km/h. Al margen de estas fuertes rachas, el viento en las capas bajas de la atmósfera fue débil y

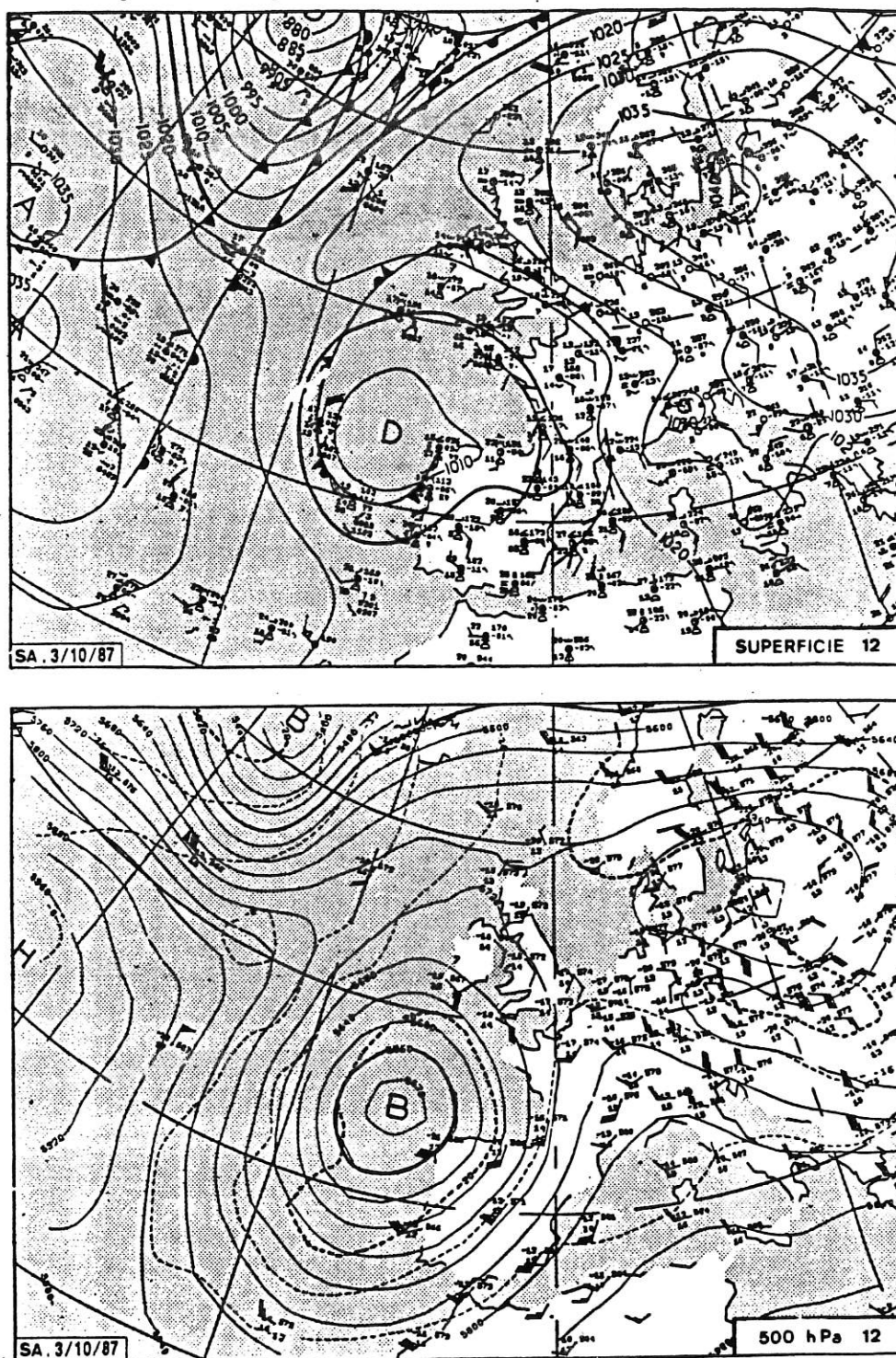


Figura 5. Mapas meteorológicos de superficie y de 500 hPa del día 3 de octubre de 1987. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Palma de Mallorca.

principalmente del SE, incidiendo normalmente a la costa y aportando aire mediterráneo. Por el contrario, el viento en altura fue del SW y de origen atlántico.

Las imágenes proporcionadas por Meteosat permiten diferenciar dos fases en este episodio de lluvias:

1. Del 28 de septiembre al 1 de octubre. Durante estos días, una extensa franja nubosa situada entre el Sahara y el Mediterráneo Occidental se traslada progresivamente hacia el Este. Los efectos producidos fueron principalmente tormentas, muy localizadas y de evolución muy rápida, por lo que sólo pueden observarse algunos pequeños cúmulos en la costa catalana, que probablemente darían lugar a las lluvias registradas en Tarragona.
2. Del 1 al 5 de octubre. La cola de la banda nubosa invade Cataluña, permaneciendo sobre ésta aún cuando el frente y la depresión ya han desaparecido. Se produce entonces un proceso de realimentación de la perturbación que, con desarrollo y disipación sobre la misma zona geográfica, irrumpe una y otra vez sobre Cataluña.

El día 5 de octubre la formación nubosa situada sobre Cataluña ha perdido su independencia, observándose una única agrupación de nubes que se extiende desde la mitad norte de la península hasta Europa Central. La formación continua alejándose hacia el norte, de modo que en la tarde del día 5 sólo quedan algunas nubes sobre Cataluña.

Las lluvias y vientos registrados los días 10 y 11 de octubre pueden considerarse un episodio diferente al estudiado en apartados anteriores. El paso de un nuevo frente frío durante el día 10 dió lugar a vientos fuertes sobre la península. El día 11 los vientos máximos se registraron en el Golfo de León. No obstante, los mapas meteorológicos no permiten explicar la tromba de agua que asoló Segur de Calafell, y que fue provocada por factores de escala local.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS LLUVIAS DE 1983 Y 1987

Un análisis comparativo del episodio de lluvias registrado en octubre de 1987 con los registrados en 1986, 1983, 1982, 1977 y 1962, pone de manifiesto la posición tan característica del anticiclón europeo, así como la circulación de aire cálido del SW en altura y del SE en la capa baja de la atmósfera.

Sin embargo, mientras que en 1987 la depresión fría se centro en el Norte de Galicia, en forma análoga aunque mucho más débil que en 1982, el episodio de 1986 se debió a una gota de aire frío situada sobre el mar de Alborán. Como consecuencia de ello, durante el episodio de 1986, el viento fue del Sureste a

todos los niveles, sin que se registrara aporte de aire del Atlántico y por lo tanto dando lugar a unas precipitaciones de menor cuantía. Como se ha señalado en apartados anteriores, durante el episodio de 1987 el viento fue del SW en altura, principalmente del Atlántico.

La figura 2 muestra las precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 2 a 4 de octubre de 1987, mientras que las figuras 6 y 7 muestran las precipitaciones registradas en la misma cuenca durante los episodios de noviembre de 1983 y noviembre de 1982, respectivamente. Las tres figuras ilustran claramente el efecto ascensional y de condensación provocado en los tres casos por la orografía de Cataluña, de acuerdo con los estudios de Novoa (1985).

Este fenómeno es todavía más evidente cuando se comparan las precipitaciones registradas durante esos episodios con las precipitaciones medias anuales correspondientes al período 1944-1980, tal como se ilustran en la figura 8.

Característica común a todos los episodios de inundaciones, manifestado de nuevo en esta ocasión, es la presencia sobre el Mediterráneo de una capa de aire seco en la troposfera media, a 500 m aproximadamente, y de otra capa baja de aire muy húmedo, favoreciendo así el desarrollo de la inestabilidad. Cuando estas masas de aire llegan a Cataluña, el efecto ascendente impuesto por las cadenas montañosas de Cataluña provoca la condensación del vapor de agua que estas arrastran, dando lugar a lluvias extraordinarias en las zonas del litoral, como ocurrió en 1987 y 1983, o en las zonas montañosas del interior, como sucedió en 1982.

Esta localización geográfica diferenciada depende fundamentalmente de la altura a que se sitúe la inestabilidad: cuanto más baja sea ésta, mayor será la probabilidad de que las precipitaciones se registren en las estribaciones de las cadenas más bajas.

A estos movimientos ascendentes provocados por la orografía habría que añadir los posibles movimientos de aire originados por el perfil térmico existente en diferentes puntos de Cataluña, que pudo verse reforzado durante esos días por fuentes superficiales de calor. Estos fenómenos localizados explicarían los fenómenos de condensación brusca de aire cálido y húmedo que dieron lugar a intensas precipitaciones en distintos puntos de Cataluña.

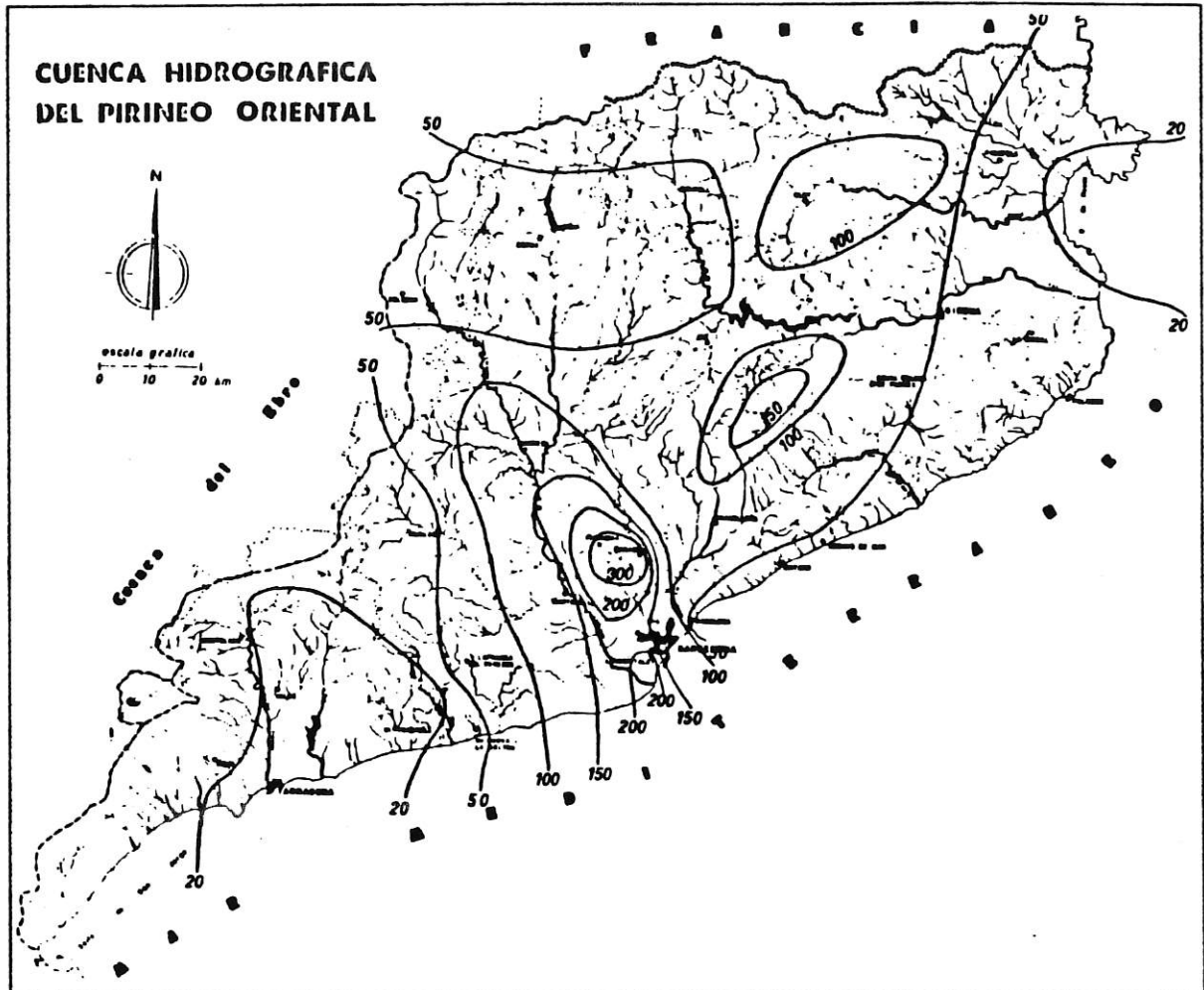


Figura 6. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 8.00 horas del día 6 a las 8.00 horas del día 8 de noviembre de 1983. Tomado del estudio realizado para la Corporación Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y cols., 1985).

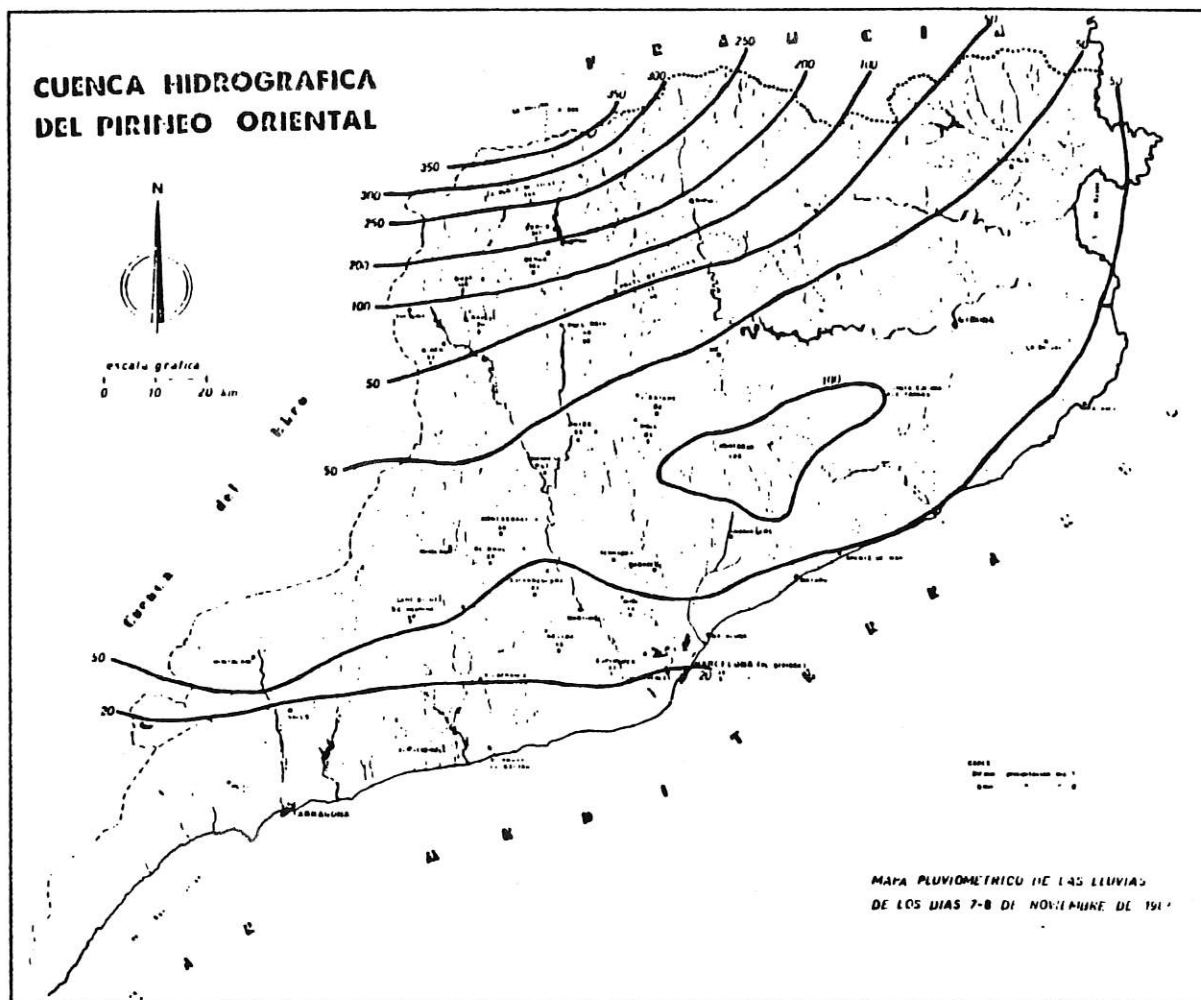


Figura 7. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982 Tomado del estudio realizado para la Corporación Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y Dolz, 1983).

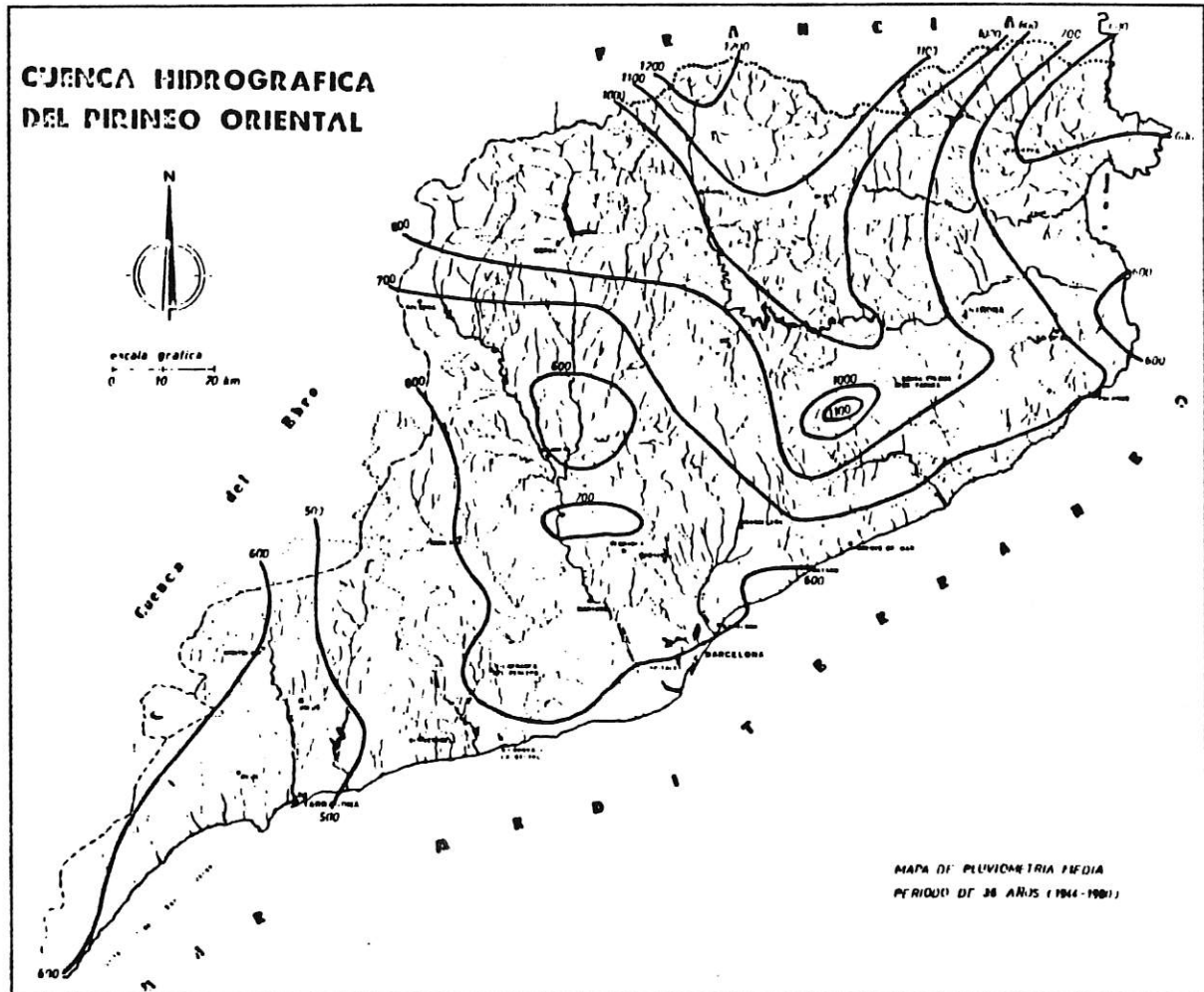


Figura 8. Precipitaciones medias anuales registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los años 1944 a 1980. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Tomado del estudio realizado para la Corporación Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y Dolz, 1983).

EL SISTEMA HIDRAULICO

Tal como se describe en el estudio sobre "El comportamiento del río Llobregat en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante la avenida del 8 de noviembre de 1982", las intensas lluvias caídas en la cabecera de su cuenca ocasionaron una crecida de su caudal que provocó la inundación de diversas zonas de la Corporación (Mujeriego y Dolz, 1983).

La causa inmediata de esas inundaciones fué la salida de agua desde el cauce del propio río. Esta salida de agua fué facilitada por derrumbamientos y defectos de sus márgenes, así como por el funcionamiento defectuoso de numerosos dispositivos de desagüe de las redes de alcantarillado de las zonas colindantes que, en aquella ocasión, actuaron como puntos de desagüe del propio río Llobregat.

Como se analiza tanto en el capítulo siguiente como en el estudio sobre las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona en noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985), el mecanismo responsable de las inundaciones ocurridas en noviembre de 1983 y en octubre de 1987 fue diferente del que se acaba de mencionar. En estas dos ocasiones, fueron los caudales de agua de escorrentía generados en las zonas bajas de las cuencas de los ríos Llobregat y Besós los que, al no poder desaguar por sus cauces naturales, desbordaron e inundaron las áreas colindantes.

En razón de la gran similitud entre las inundaciones registradas en noviembre de 1983 y octubre de 1987, una parte importante de este estudio estará dedicada a la comparación entre las causas, efectos y soluciones de ambos episodios de inundaciones.

Un examen preliminar de estos tres graves episodios de inundaciones ocurridas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona en el espacio de cinco años pone claramente de manifiesto dos puntos: 1) la importancia crítica que tienen los nexos de unión de las cuencas vertientes de los ríos Llobregat y Besós con los cauces de los propios ríos, dentro del sistema hidrológico de la Corporación, y 2) el papel tan importante que estos puntos han tenido en gran parte de las inundaciones ocurridas tanto en noviembre de 1982, como en noviembre de 1983 y en octubre de 1987.

ZONAS INUNDADAS

Los resultados obtenidos durante las visitas de campo realizadas a los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona han permitido determinar el tipo de zona afectada por las inundaciones registradas durante los días 2 al 4 de octubre de 1987. La figura 9 muestra las zonas de la Corporación en las que se produjeron las inundaciones.

Por otra parte, la tabla 2 ilustra el tipo de zonas afectadas. Los 66 casos de inundación registrados ocasionaron 83 incidentes, de los cuales 43 de ellos afectaron a zonas urbanas, mientras que 28 tuvieron lugar en zonas rurales, generalmente dedicadas a usos agrícolas.

Tabla 2. Análisis comparativo de las zonas afectadas por las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 y los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Zona	Número de casos registrados	
	1983	1987
Industrial	2 (5%)	12 (14%)
Rural	11 (27%)	28 (34%)
Urbana	32 (68%)	43 (52%)
Total	45 (100%)	83 (100%)
Total de casos	45	66 (*)

(*) Hay casos en los que se inundó más de un tipo de zona.

La circunstancia de que un 52% de las inundaciones registradas tuvieran lugar en zonas urbanas de la Corporación pone de manifiesto los considerables daños y perjuicios materiales que éstas ocasionaron, a la vez que evidencia la situación de abandono y negligencia técnica tan grande en que se encuentran los sistemas de drenaje urbano de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Tal como ya se resaltaba en el estudio realizado sobre las inundaciones de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985), el estado de abandono absoluto en que se han mantenido los sistemas de drenaje de la Corporación durante los cuatro años



Figura 9. Zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron inundaciones durante los días 2 a 4 de octubre de 1989.

transcurridos desde aquellas inundaciones ha contribuido al deterioro progresivo del nivel de calidad de vida de las zonas urbanas y agrícolas de la Corporación, ha influido decisivamente a que se produzcan de nuevo las inundaciones registradas en aquella ocasión, y constituye un riesgo real de que las inundaciones vuelvan a producirse durante unas condiciones meteorológicas similares a las registradas en noviembre de 1982, en noviembre de 1983 o en octubre de 1987.

Hay que resaltar a este respecto que, durante las inundaciones sufridas por las zonas mediterráneas españolas en 1987, tanto los responsables políticos y técnicos como los medios de comunicación han puesto especial énfasis en la importancia que tiene disponer de sistemas adecuados de previsión meteorológica, a fin de poder tomar las medidas adecuadas para evitar catástrofes como las ocurridas durante las lluvias registradas en octubre de 1987.

Sobre este punto hay que señalar claramente que la existencia de uno de estos sistemas de previsión, por más perfeccionado que hubiera sido y aún siendo capaz de facilitar previsiones con varios días de anticipación, no habría podido evitar los efectos catastróficos de las inundaciones registradas en noviembre de 1983 o en octubre de 1987.

El evidente estado de deterioro físico y la ausencia absoluta de mantenimiento de que gozan la mayoría de los sistemas naturales de drenaje urbano y rural de la Corporación exigen medidas correctoras cuya magnitud y duración son muy superiores a las que pueden acometerse en los plazos de tiempo que puede proporcionar cualquier sistema de previsión de avenidas. La recuperación de estos sistemas de drenaje requiere una labor de reconstrucción y mejora, caracterizada por una actuación coordinada y sistemática a lo largo del tiempo.

ORIGEN DE LAS INUNDACIONES

La tabla 3 contiene un análisis de la procedencia de las aguas causantes de las inundaciones registradas los días 2 al 4 de octubre de 1987. Como puede apreciarse en la tabla 3, el origen más frecuente de las inundaciones lo constituye el propio cauce de las rieras. En segundo término aparecen las redes de alcantarillado, seguidas en importancia por los ríos, los interceptores y los colectores.

Un análisis comparativo de las tablas 2 y 3, así como de los formularios correspondientes a cada una de las inundaciones, pone de manifiesto que los tramos urbanos del cauce de numerosas rieras constituyen el aspecto crítico más importante del sistema de drenaje de los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Tabla 3. Análisis comparativo del origen de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 y los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Origen	Número de casos registrados	
	1983	1987
Alcantarillado	7 (16%)	20 (30%)
Canal de riego	1 (2%)	0
Canal de desagüe	0	2 (3%)
Interceptor	4 (9%)	2 (3%)
Riera	32 (71%)	37 (56%)
Río	1 (2%)	3 (5%)
Mar	0	1 (2%)
Nivel freático	-	1 (2%)
Total	45 (100%)	66 (100%)

CAUSA DE LAS INUNDACIONES

La tabla 4 muestra un resumen de las causas determinantes de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, y los días 2 al 4 de octubre de 1987.

En la tabla 4 se han contabilizado todas las causas determinantes que concurrieron en cada inundación. Esto explica que el número total de ocasiones en que se registró cualquiera de estas causas sea superior al de inundaciones registradas, ya que, en general, en cada inundación concurrieron dos o más de las causas consideradas.

De los resultados contenidos en la tabla 4 y de las observaciones de campo realizadas durante este estudio es posible establecer las siguientes conclusiones:

1. Insuficiente capacidad hidráulica de las rieras.

La insuficiente capacidad hidráulica del cauce de la riera es una de las causas determinantes de la práctica totalidad de las inundaciones registradas. La concurrencia de alguna de las deficiencias incluidas en esta categoría en 108 ocasiones indica claramente que es frecuente observar más de una de estas circunstancias en muchas de las inundaciones registradas.

Entre las causas últimas de esta capacidad hidráulica insuficiente hay que destacar la reducción de sección hidráulica existente en los puntos de intersección de la riera con las vías de comunicación: carretera y ferrocarril. La reducción de sección es tan evidente en la mayoría de los casos que basta una simple inspección visual para comprender los efectos catastróficos que el estado de estas intersecciones puede causar durante un episodio de lluvias moderadas o intensas.

Muchas de las deficiencias observadas en el cruce de las rieras con las vías de comunicación son debidas a una concepción inadecuada de la solución de desagüe. Si a esto se añade que, en la práctica totalidad de los casos, no se realiza ningún trabajo de limpieza y mantenimiento de las obras de desagüe, se comprenderán las consecuencias tan catastróficas que estos defectos de diseño tienen.

Un análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en 1983 y 1987 pone claramente de manifiesto el papel tan importante que la insuficiente capacidad hidráulica de las rieras por cruce con vías de comunicación sigue teniendo como causa determinante de las inundaciones. El número de ocasiones en que se registró esta circunstancia es próximo a 20, manteniéndose inalterado con respecto a 1983. Todos estos casos constituyen puntos críticos de cruce con las rieras en el ámbito de la Corporación.

Tabla 4. Análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 y los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Causa determinante	Número de ocasiones en que ocurrió	
	1983 (*)	1987 (*)
1. Insuficiente capacidad hidráulica de la riera por:		
a) restricción o barrera en la intersección del cauce con:		
- el ferrocarril	8 (18%)	8 (12%)
- la carretera	11 (15%)	13 (20%)
b) sección o pendiente reducida del cauce actual, con o sin rotura del encauzamiento	8 (18%)	17 (26%)
c) vegetación en el cauce	3 (7%)	18 (27%)
d) acumulación de arrastres y sedimentos en el cauce	5 (11%)	35 (53%)
e) acumulación de residuos y escombros en el cauce	4 (9%)	17 (26%)
Total	39 (86%)	108 (164%)
2. Dificultades para desaguar en el mar	0	3 (5%)
3. Utilización de la riera como:		
a) vía urbana, con desagües inadecuados o inexistentes	5 (34%)	14 (21%)
b) camino, con o sin relleno del cauce	4 (9%)	12 (18%)
c) zona edificada o de ubicación de terraplén	1 (2%)	6 (9%)
Total	20 (45%)	32 (48%)
4. Capacidad hidráulica insuficiente del alcantarillado, del desagüe o del sistema de impulsión	7 (16%)	18 (27%)
5. Obstrucción de las rejillas de acceso al desagüe	3 (7%)	9 (14%)
6. Ascenso del nivel freático	2 (4%)	1 (2%)
7. Ausencia de obras complementarias como falta de conexión al alcantarillado, falta de desagüe, falta de tramo de conducción, o falta de protección antirretorno	0	7 (11%)

(*) Los porcentajes corresponden al total de casos registrados, es decir, 45 casos en 1983 y 66 casos en 1987.

2. Acumulación de residuos y basuras.

La acumulación de residuos y basuras de todo tipo en el cauce de la riera, así como de vegetación, arrastres y depósitos naturales, es una causa determinante de la práctica totalidad de las inundaciones registradas.

Esta situación se registra especialmente en las rieras que desembocan en el río Llobregat y que discurren por los términos municipales de Pallejá, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Cervelló, El Papiol, Molins de Rei, Sant Feliu de Llobregat y Sant Joan Despí. El aterramiento natural de todas estas rieras se ve favorecido por las características orográficas de la zona, con montañas próximas al río, con cuencas vertientes de considerables dimensiones, y con una zona llana en el fondo del valle que propicia la sedimentación.

En general, las observaciones de campo efectuadas han permitido constatar, una vez más y tras los cuatro años transcurridos desde las anteriores inundaciones, el estado deplorable en que se encuentran muchos de los cauces naturales de las rieras, al servir de punto de vertido de todo tipo de residuos, tanto generados en las zonas agrícolas contiguas como en las zonas urbanas más alejadas.

Si se tiene en cuenta además que prácticamente en ningún caso se lleva a cabo un servicio de limpieza y mantenimiento de los arrastres propios de las rieras, se comprenderá la notable reducción causada en la capacidad hidráulica de éstas, lo que provoca su desbordamiento y la destrucción de sus márgenes durante episodios de grandes caudales como los que se registraron en noviembre de 1983 y en octubre de 1987.

Como ejemplo ilustrativo de esta situación puede citarse el caso de la riera dels Canyars, en Gavà. Las lluvias de noviembre de 1983 derribaron el muro de protección existente a la salida del cruce de la riera con el puente de la carretera C-245 de Barcelona a Santa Creu de Calafell. Como puede comprobarse en las fotografías contenidas en el Anexo a este estudio, el estado del cauce de la riera en octubre de 1987 es idéntico al que ofrecía hace cuatro años.

Otro ejemplo ilustrativo de esta misma situación es la riera de Sant Climent, a su paso bajo el puente del ferrocarril de Barcelona a Zaragoza. Los agricultores y vecinos del lugar recuerdan como en el pasado era posible el paso de carros bajo el puente, al disponer de casi 2 m de gálibo. En la actualidad, la altura libre entre el puente y el lecho de la riera se ha reducido a 50 cm, agravándose todavía más la situación al haberse cimentado las obras de reconstrucción del puente sobre el cauce actual de la riera, lo que dificultará notablemente las futuras obras de dragado del cauce.

Una situación similar se ha producido en el caso de la riera dels Canyars, por cuyo lecho actual discurren la totalidad de los servicios de agua, luz y electricidad. No es necesario insistir sobre las dificultades que esta circunstancia provocará cuando se trate de restituir el cauce de la riera, a fin de que pueda

desaguar los caudales de su cuenca y no provoque sistemáticamente la inundación de las zonas colindantes.

Un análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en 1983 y 1987 pone claramente de manifiesto la notable importancia que la acumulación de arrastres y sedimentos en los cauces de la riera ha adquirido durante el período transcurrido entre los dos episodios. El número de ocasiones en que los arrastres han contribuido a las inundaciones ha aumentado notablemente, desde 5 en 1983 hasta 35 en 1987.

Un aumento similar se observa en el número de ocasiones en que la presencia de vegetación o de acumulación de escombros determinó la inundación de la zona. Como resultado de todo ello, el número de ocasiones en que cualquiera de estas deficiencias de capacidad hidráulica se registró en 1987 fué de 87, más de cuatro veces superior al de las observadas en 1983.

3. Dificultades para desaguar en el mar.

Las dificultades para que los caudales recogidos por las rieras pudieran desaguar en el mar fueron las causas determinantes de 3 casos de inundaciones. La causa inmediata de estas dificultades fue, en unos casos, la disminución de la sección del cauce en su tramo final y, en otros, la formación de una barra de arena en la playa, propiciada por la presencia de un temporal de Levante.

Como casos ilustrativos de inundaciones registrados por esta causa pueden citarse las rieras de Sant Climent y dels Canyars, y las lagunas del Remolar y de la Murtra. En el caso particular de la laguna de la Murtra, la situación se vé agravada por la progresiva ocupación de la misma causada por los escombros vertidos desde un camping colindante, con el consiguiente aumento de superficie para acampar.

El caso del canal de la Aviación, en El Prat de Llobregat, se encuadra también en este apartado, aunque en él concurren una serie de circunstancias que agravan notablemente la situación. En primer lugar, el desagüe del canal está constituido por tres tuberías de escaso diámetro, cuyos extremos están permanentemente tapados por arena debido a su proximidad a la línea de costa. En segundo lugar, a las aguas de escorrentia procedentes del casco urbano de El Prat de Llobregat vienen con frecuencia a sumarse parte de las aguas de drenaje del Aeropuerto de Barcelona que, mediante un sistema de compuertas y bombes, puede así controlar los niveles del agua en la zona de pistas. El aumento considerable de caudal que este vertido supone, junto con la dificultad de desagüe en el mar y la escasa pendiente del propio canal de la Aviación, reducen considerablemente su capacidad para drenar la cuenca de la Aviación, ocupada por parte del casco urbano de El Prat de Llobregat.

4. Utilización inapropiada del cauce de las rieras.

La utilización del cauce natural de la riera como vía urbana, camino rural o incluso como zona edificable, propició la

inundación de las zonas colindantes en un 48% de los casos registrados.

La urbanización del cauce natural de las rieras se ha efectuado, en unos casos, sin proporcionar un cauce o conducción alternativo y, en otros casos, con la provisión de tal conducción, pero sin la de los imbornales necesarios para desaguar el tramo de cauce urbanizado. Esto hace que, en momentos de intensa precipitación, estas calles actúen de verdaderos torrentes, cuyos caudales se acumulan en las partes bajas de la zona urbanizada, al no existir generalmente continuidad en el cauce de la riera.

Esta práctica de sustituir el cauce natural de la riera por una vía de comunicación, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales, refleja una absoluta desconsideración de los principios elementales de hidrología e impide que la calidad de este tipo de actuaciones urbanísticas alcance un nivel mínimo satisfactorio.

Un ejemplo ilustrativo de esta situación lo ofrecen las rieras del Pla, en la zona comprendida entre Molins de Rei y Sant Feliu de Llobregat. Las intervenciones del IRIDA para reponer y mejorar los caminos vecinales consistió en su relleno y elevación con tierras de aportación, lo que significó la eliminación de numerosas rieras que venían siendo utilizadas como caminos rurales. Lógicamente, las aguas de escorrentía de estas cuencas tratan de desaguar por sus antiguos cauces que, al estar más altos que los campos contiguos, no lo permiten y provocan la inundación de las zonas colindantes.

La elaboración de unas normas urbanísticas apropiadas y acordes con los principios de hidrología urbana y rural, así como la observancia sistemática de las mismas, aseguraría un control y desagüe adecuados de las aguas de escorrentía generadas durante episodios de lluvia tan intensos como los registrados en noviembre de 1983 y en octubre de 1987.

Tal como se indicaba en el estudio de las inundaciones de 1983 (Mujeriego y cols., 1985) este tipo de deficiencias habrían de ser subsanadas con carácter prioritario, si se quiere evitar la repetición de las inundaciones durante el próximo temporal de intensas lluvias.

Un análisis comparativo de las inundaciones causadas por esta circunstancia en los años 1983 y 1987 pone de manifiesto que los puntos conflictivos han sido los mismos prácticamente en ambas ocasiones, resultado lógico si se considera la ausencia de medidas correctoras durante el periodo transcurrido entre ambos episodios de lluvia.

5. Insuficiente capacidad hidráulica del alcantarillado.

La insuficiencia hidráulica del alcantarillado, así como del posible sistema de impulsión complementario, fué una causa determinante del 27% de las inundaciones registradas.

Tanto la proporción relativa como la importancia absoluta de este tipo de inundaciones ha sido menor que la alcanzada durante las inundaciones de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985).

En aquella ocasión, la inundación de diversas zonas urbanas de Barcelona, como la Plaza Cerdá, y las del casco urbano de El Prat de Llobregat causaron enormes daños materiales y grandes trastornos de circulación.

En octubre de 1987, la Plaza Cerdá sólo se inundó durante un día, debido a la interrupción de suministro eléctrico de las bombas de achique; el día anterior, la situación fué normal ya que las bombas instaladas funcionaron adecuadamente y evacuaron hacia el mar los caudales recogidos por la riera Blanca. Salvo en esta ocasión de emergencia, el paso inferior de la Gran Vía bajo el Primer Cinturón permaneció en condiciones adecuadas para la circulación de vehículos.

En contraste con lo ocurrido en noviembre de 1983, el casco urbano de El Prat de Llobregat no se inundó. La razón fundamental de que esta zona urbana no se inundara ha sido la adopción de las medidas correctoras que se indicaban en el estudio realizado con ocasión de las inundaciones de 1983 (Mujeriego y cols., 1985). Las obras de remodelación progresiva de su red de alcantarillado, que se vienen realizando de acuerdo con las previsiones de un modelo numérico (Mujeriego y cols., 1986), han evitado las extensas inundaciones que se solían producir en ocasiones como ésta.

Todo parece indicar que, una vez terminadas las obras de construcción de colectores urbanos y parte de los canales de desagüe al mar, el casco urbano de El Prat de Llobregat se verá libre de las inundaciones que solía padecer durante episodios de lluvia como los de noviembre de 1983. Únicamente quedará por resolver en futuras etapas la remodelación del cauce y del punto de desagüe al mar de los canales de la Bunyola y la Aviación, dificultados actualmente por la barra de arena que suele producirse en su desagüe en el mar, especialmente en presencia de temporales de Levante.

6. Obstrucción de las rejillas de desagüe.

La obstrucción de las rejillas de desagüe fué una causa determinante en un 14% de las inundaciones registradas.

La acumulación tanto de arrastres naturales como de residuos y basuras de todo tipo hizo que estos dispositivos de protección perdieran rápidamente su capacidad de desagüe, favoreciendo así la acumulación del agua de escorrentía que les llegaba.

Al igual que se ha señalado al examinar la insuficiencia del cauce de las rieras, estas rejillas no gozan generalmente de un servicio de limpieza y mantenimiento sistemáticos que las mantenga operativas en todo momento, lo que las convierte en causa determinante de inundaciones con mucha frecuencia.

Un análisis comparativo de las inundaciones registradas en noviembre de 1983 y en octubre de 1987 revela la existencia de una situación idéntica en cuanto al estado físico y al mantenimiento de las rejillas de desagüe. La ausencia de medidas correctoras durante los cuatro años transcurridos entre ambos

epidiosios ha hecho que las inundaciones vuelvan a repetirse en 1987 tal como se produjeron en 1983.

Como nota destacada del año 1987 cabe señalar las medidas adoptadas en algunos casos, como el de Sant Boi de Llobregat, consistentes en arrancar físicamente las rejillas de desagüe de la riera Bertrán, o el de Castelldefels, consistente en arrancar las conducciones enterradas en la playa para el desagüe al mar, de modo que los acarreos y basuras no entorpecieran la libre circulación de las aguas. Es obvio que, a pesar de su eficacia, este tipo de medidas dista mucho de ser el más adecuado, tanto desde el punto de vista hidráulico como económico.

Una concepción técnica adecuada de estos dispositivos, junto con un programa sistemático de limpieza y mantenimiento, y un programa de control de vertidos de basuras y escombros en los cauces de las rieras, contribuiría decisivamente a evitar que se repitan este tipo de inundaciones y se gasten inútilmente fondos públicos en construcciones inadecuadas.

7. Subida generalizada del nivel freático.

Uno de los factores que más ha influido en la extensión y duración de las inundaciones registradas en la zona del Delta del Llobregat ha sido la subida generalizada del nivel freático. Aunque este fenómeno sólo pudo apreciarse en puntos muy concretos durante las inundaciones de 1983, en noviembre de 1987 alcanzó una amplitud geográfica muy considerable.

La información facilitada por la Gerencia de Promoción Agrícola de la Corporación Metropolitana de Barcelona pone de manifiesto que desde marzo de 1984 el nivel del acuífero superior del río Llobregat ha ido ascendiendo hasta llegar, el día 5 de octubre de 1987, a 1,5 m sobre el nivel del suelo. Según indican esos mismos informes, la presión del agua en el acuífero superficial llegó a alcanzar tales valores que el agua manaba desde los pozos a cielo abierto, extendiéndose por los campos colindantes. Este fenómeno, tan espectacular y raro, es conocido entre los payeses con el nombre de "ullets".

Aunque esta subida generalizada del nivel freático no ha sido la causa directa de inundaciones, sí que ha provocado graves pérdidas en la agricultura, al contribuir a que algunas zonas agrícolas permanecieran inundadas más de 15 días. Así mismo, cada vez es mayor el número de sótanos y garages que permanecen total o parcialmente inundados en poblaciones de la zona baja del delta del Llobregat.

La extensión y gravedad de este fenómeno, al que han venido a sumarse las lluvias de octubre de 1987, queda de manifiesto por la considerable superficie de zonas agrícolas y urbanas que permanecen todavía inundadas, cuatro meses después de que se registraran las fuertes lluvias. Se han podido visitar, durante el mes de enero de 1988, zonas urbanas y rurales de Castelldefels, Gavà, Viladecans y, en general, de la zona baja del delta del Llobregat, en las que calles y extensas pinedas permanecen inundadas desde octubre de 1987. Las fotografías incluidas en el formulario correspondiente al Municipio de Gavà

(Código 406 del Anexo 2) ilustran claramente esta situación.

Los aportes de agua desde zonas exteriores al Delta aparecen como una de las causas inmediatas de este ascenso generalizado del nivel freático, cuya importancia viene agravándose en los últimos años. Entre los aportes más importantes cabe mencionar el de las aguas de escorrentía de las zonas urbanizadas que, con cortos periodos de concentración, son conducidas a través de las redes de alcantarillado hacia las zonas no urbanas, provocando aumentos bruscos e importantes de los caudales en los canales de riego o en las rieras que atraviesan el delta del Llobregat.

Una opinión generalizada entre los campesinos y los habitantes más viejos de la zona es que el delta del Llobregat siempre había tenido capacidad suficiente para desaguar las precipitaciones que caían sobre él; sin embargo, el considerable incremento de aportes exteriores junto con la presencia de numerosas vías de comunicación y la extensa urbanización de la zona han hecho que se supere su capacidad de desagüe, lo que provoca la inundación de la zona tan pronto se registran precipitaciones de moderada intensidad.

En 1983, el nivel freático en la zona urbana de L'Hospitalet de Llobregat alcanzó 50 cm por encima del nivel de las calles, debido principalmente al efecto de contención provocado por la construcción de los túneles de los Ferrocarriles de la Generalitat. Aunque en 1987 no se ha podido observar un fenómeno de magnitud similar, los comentarios de algunos vecinos de Castelldefels, Gavà y Viladecans indican la existencia de inundaciones en sótanos y garages de dichos municipios. El carácter tan localizado y de difícil identificación ha hecho que en esta ocasión no se haya contabilizado ninguno de estos incidentes.

La práctica generalizada de bombear el agua de los sótanos de las viviendas hacia las vías públicas, muchas de ellas desprovistas de alcantarillado, hace que éstas se conviertan en un barrizal permanente que se ha prolongado por más de cuatro meses. Es indudable que esta situación revela un nivel de calidad de vida muy distante del que cabría esperar en una zona como la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Además de los perjuicios ocasionados por la subida del nivel freático en explotaciones agrícolas y edificios urbanos, hay que resaltar las graves implicaciones sanitarias que puede tener la inundación permanente que sufren las pinedas y campos situados a lo largo de la carretera C-246, Autovía de Castelldefels. La existencia de numerosos cursos de aguas residuales, como los que desembocan en el estanque de la Murtra, y la proliferación de mosquitos que suele registrarse en estas zonas, puede hacer que toda esta franja litoral se convierta en un peligro sanitario de primera magnitud, especialmente durante los próximos meses de primavera y verano, cuando la zona se vea frecuentada por numerosos turistas nacionales y extranjeros. Las consecuencias sanitarias, ambientales y económicas que esta situación puede tener para los municipios de la zona costera son de enorme importancia.

El correcto drenaje de todas estas zonas, tanto en temporada de lluvias como durante períodos secos, constituye la mejor garantía para una protección sanitaria y un nivel de calidad de vida acordes con los principios directores de la Corporación Metropolitana de Barcelona y de los municipios que la integran.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA SITUACION EN 1983 Y 1987

Como se ha señalado en apartados anteriores, las inundaciones registradas en octubre de 1987 fueron prácticamente una réplica de las observadas en noviembre de 1983, debido fundamentalmente a que la realidad física de los sistemas de desagüe del ámbito de la Corporación han permanecido generalmente en el mismo estado de abandono y de deterioro durante los cuatro años transcurridos entre ambos episodios.

No obstante, han habido casos en los que, por remodelación y mejora de las condiciones existentes, la incidencia de las inundaciones ha podido ser controlada. También se han dado casos en los que la realización de nuevas obras de construcción ha provocado la existencia de inundaciones. Por último, sigue habiendo casos singulares en los que, por no haberse realizado ninguna de las mejoras recomendadas en el anterior estudio (Mujeriego y cols., 1985) han vuelto a padecer una vez más los efectos de las inundaciones.

A continuación se realiza un breve balance de las actuaciones más ilustrativas realizadas durante el periodo de noviembre de 1983 y octubre de 1987. El balance incluye tres apartados básicos: 1) actuaciones de remodelación y mejoras conseguidas, 2) puntos conflictivos que no han mejorado, y 3) problemas surgidos en obras de reciente construcción.

1) Actuaciones de Remodelación y Mejoras Conseguidas

Como ejemplo de este tipo de actuaciones pueden citarse las realizadas en la riera sin nombre existente en Pallejá, y que aparece con el código 802 en los anexos del estudio de las lluvias de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985). La actuación ha consistido simplemente en doblar la capacidad de desagüe de la reja interceptora y mantenerla limpia de residuos. Esto ha bastado para que no se repitan las inundaciones en octubre de 1987.

Un segundo ejemplo de este mismo tipo de actuaciones lo ofrece la riera de Batsacs. La gran cantidad de residuos y arrastres acumulados en el lecho de la riera redujeron la altura libre bajo el nuevo puente del ferrocarril a unos 30 cm. Como consecuencia de ello, las aguas de escorrentía de noviembre de 1983 desbordaron la vía del ferrocarril e inundaron los campos colindantes.

El Ayuntamiento de El Papiol llevó a cabo diversas obras de dragado y limpieza del cauce, aumentando su altura libre bajo dicho puente hasta unos 80 cm. Durante las intensas lluvias de octubre de 1987, las aguas de escorrentía pudieron circular con relativa facilidad y, aunque la reducción de sección significó la producción de un remanso aguas arriba del cruce con el puente, no llegaron a desbordar el balasto de la vía del ferrocarril.

Como puede apreciarse, una actuación de coste tan reducido como ésta puede ampliar considerablemente la capacidad de desagüe de una riera y evitar así futuras inundaciones. Estas

mejoras provisionales ofrecen además un margen de seguridad durante los plazos más largos necesarios generalmente para la planificación y construcción de las grandes obras de infraestructura, derivados especialmente por las necesidades presupuestarias de tales proyectos. Hay que señalar además la relación beneficio/coste notablemente superior que tienen estas actuaciones puntuales, en comparación con las inversiones de grandes obras de infraestructura.

Un tercer caso de este mismo tipo de actuaciones lo constituye la cuenca de la Bunyola, en El Prat de Llobregat. En octubre de 1987, los colectores de la cuenca de la Bunyola tenían una capacidad de desagüe aproximada a la de un periodo de retorno de cinco años, estando en curso de construcción la remodelación de la red para dotarla de una capacidad de desagüe correspondiente a un periodo de retorno de 10 años.

Las obras de remodelación realizadas hasta octubre de 1987 fueron suficientes para evitar que el casco urbano de El Prat de Llobregat se inundara, tal como había ocurrido en anteriores ocasiones. Esta observación preliminar, que habrá de contrastarse una vez terminadas las obras de remodelación, pone de manifiesto que con un 25% aproximadamente de los 1 250 millones de pesetas presupuestados inicialmente en el Plan de Saneamiento Metropolitano ha sido posible resolver en gran parte las inundaciones de El Prat de Llobregat. A ello habría contribuido claramente el estudio detallado de la red de drenaje (Mujeriego y cols., 1986), cuyo presupuesto ascendió a un 0,3% del presupuesto inicial de las obras previstas en el Plan.

Por último cabe citar el caso de la riera de Horta. La terminación en 1986 de las obras del colector de la calle Prim hizo que en octubre de 1987 no se produjeran los problemas registrados durante las lluvias de noviembre de 1983.

En definitiva, las conclusiones que emergen de estas tres experiencias son: 1) las actuaciones de limpieza y mejora de los sistemas de drenaje tiene una gran eficacia en la prevención de las inundaciones, 2) la realización de estudios técnicos detallados permite la definición de soluciones apropiadas y ajustadas económicamente, y 3) estos estudios tienen una enorme rentabilidad, al poder establecer soluciones técnica y económicamente más adecuadas que las adoptadas en estudios de ámbito general.

2) Puntos Conflictivos que no han Mejorado

Las fotografías que aparecen en los formularios correspondientes a la Riera dels Canyars (Código 404 del Anexo 2) ilustran claramente algunos de los puntos conflictivos que no han mejorado durante el periodo de cuatro años transcurrido entre los dos episodios de lluvias.

Los fotografías 3 y 4 muestran el estado del cauce de la riera dels Canyars. Como puede apreciarse, las lluvias de noviembre de 1983 destruyeron parte de un muro de su margen derecha, que ha permanecido inalterado durante los cuatro años transcurridos entre los dos episodios de lluvia.

Las fotografías que aparecen en los formularios correspondientes a la Riera del Manya (Código 1502 del Anexo 2) revelan el estado de abandono en que ha permanecido el cauce la riera del Manya, a su cruce con la carretera N-II, durante los años 1983 a 1987. Como puede apreciarse, ni siquiera se han efectuado las más mínimas tareas de mantenimiento.

Por último, las fotografías incluidas en los formularios correspondientes al Municipio de Castelldefels (Código 201 del Anexo 2) muestran el estado del cauce de la Corredera Maestra de Castelldefels, y reflejan la falta absoluta de mantenimiento. Su escasa capacidad de desagüe provocó, en 1983, la inundación de diversas zonas colindantes, circunstancia que volvió a repetirse durante las lluvias de octubre de 1987.

En definitiva, la ausencia prácticamente total de medidas correctoras sobre los puntos conflictivos de las inundaciones registradas en noviembre de 1987 ha propiciado la repetición de las inundaciones durante las lluvias de octubre de 1987. Como queda de manifiesto en las fotografías antes citadas, el agente causal más inmediato ha sido la falta de sección para que las aguas de escorrentía puedan circular por sus cauces naturales.

3) Problemas Surgidos en Obras de Reciente Ejecución

Entre las inundaciones provocadas por obras de reciente construcción cabe citar la ocurrida en el Moll de la Fusta. La falta de control durante la construcción y la premura de tiempo con que hubieron de tomarse las medidas de emergencia fueron posiblemente las responsables de que se optará por taponar el extremo de un aliviadero de la red de alcantarillado, en su intersección con el paso inferior del Moll de la Fusta, en vez de taponar el conducto a su inicio en el pozo de registro. Tras las inundaciones del primer momento, y la adopción de esta segunda medida de control de caudales, el problema quedó resuelto y la circulación de vehículos a través del Moll de la Fusta pudo restablecerse con normalidad.

Otro ejemplo destacado de los problemas causados por obras en curso de construcción fue la inundación del barrio de La Catalana. La causa inmediata de las inundaciones fueron las obras de construcción de un nuevo puente sobre el río Besós, aguas abajo de los puentes de la autopista A-19, destinado a servir de alternativa de comunicación entre ambas márgenes del río.

Las obras de construcción del puente redujeron el cauce útil del río a la mitad, mediante la creación de un terraplén que sirviera de apoyo al cimbrado destinado a encofrar el tablero. Por otra parte, se practicaron sendos cortes transversales en los hastiales del encauzamiento para poder ubicar las zapatas y los pilares del puente. Aunque estos cortes se protegieron temporalmente con escollera, no fué suficiente para soportar el empuje de las aguas del río, que rápidamente se escapó del cauce, a través del debilitamiento del hastial derecho. El barrio de La Catalana quedó rápidamente inundado por el agua, que alcanzó niveles entre 20 y 25 cm sobre el suelo. Hay que señalar que, una vez terminadas las obras y restituido el encauzamiento del río, no

cabe esperar que se reproduzcan este tipo de inundaciones.

Como recopilación de las observaciones realizadas dentro de este apartado, la tabla 5 contiene un resumen de las obras realizadas por la Corporación Metropolitana de Barcelona durante el periodo de 1983 a 1987, en el que se ha tratado de valorar la eficacia de estas actuaciones para reducir o eliminar las causas de las inundaciones registradas en anteriores ocasiones.

Tabla 5. Resumen de las obras realizadas por la Corporación Metropolitana de Barcelona durante el periodo 1983 a 1987, y valoración de sus efectos como medidas correctoras de las inundaciones.

Municipio	Descripción	Efecto	Observaciones
Badalona	Colector de Ponent	----	
Barcelona	Plaza Ildefonso Cerdá	Favorable	Se inundó aguas arriba de la actuación por fallo eléctrico
Barcelona	Riera de Horta	Favorable	
Barcelona	Parte Riera Blanca	----	
Hospitalet de Llobregat	Amadeo Torner	----	Falta conexión y desagüe
El Prat de Llobregat	Cuenca de la Bunyola	Favorable	Sin inundación aguas arriba. Inundación al final del colector
El Prat de Llobregat	Cuenca de la Aviación	Favorable	Inundaciones en zonas del casco urbano aguas arriba de los tramos de colector en remodelación
Sant Boi de Llobregat	Riera Basté	Favorable	Falta mejorar la riera Bertrán, aguas abajo de la riera Basté
Sant Feliu de Llobregat	Riera de la Font o Escorxador	----	
Sant Joan Despí	Fonsanta	----	Falta tramo intermedio
Sant Vicenç dels Horts	Interceptor Norte	----	

PROGRAMA DE MEDIDAS CORRECTORAS

Del análisis realizado en el capítulo anterior es posible establecer una vez más un programa de medidas correctoras que asegure la correcta evacuación de las aguas de escorrentía generadas durante episodios de lluvia como los de noviembre de 1983 y octubre de 1987, y elimine así el riesgo real de inundación que pesa sobre numerosas zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Las medidas correctoras más adecuadas para evitar cada una de las inundaciones registradas en este estudio aparecen descritas en el correspondiente apartado de los formularios contenidos en los Anexos de este estudio.

Por otra parte, un análisis conjunto de las causas determinantes de estos dos episodios de inundaciones ha permitido establecer de nuevo las líneas básicas de un programa de medidas correctoras, de aplicación general a todo el ámbito de la Corporación.

Este programa de medidas correctoras habría de considerar, por orden de prioridad, las siguientes líneas de actuación:

1. El restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras. Dentro de este capítulo hay que diferenciar dos tipos de actuaciones:

- a) Medidas que requieren la construcción de algún tipo de obra, como las destinadas a eliminar la reducción de la capacidad existente en numerosas intersecciones de las rieras con vías de comunicación, o como las destinadas a asegurar que el cauce de la riera disponga de una pendiente y márgenes adecuados.

El proyecto y construcción de estas obras habrá de responder a las exigencias hidráulicas del cauce natural de la riera.

- b) Trabajos de limpieza y mantenimiento destinados a eliminar la considerable cantidad de vegetación, arrastres y sedimentos de todo tipo que existen actualmente en el cauce de las rieras.

2. La provisión de cauces adecuados en los tramos urbanos de las rieras. Dentro de este capítulo hay que diferenciar dos tipos de actuaciones:

- a) Medidas que requieren la construcción de un nuevo cauce o conducción con capacidad para evacuar los caudales característicos de la riera.
- b) Actuaciones que exigen la remodelación o construcción de los dispositivos de desagüe necesarios para que las aguas de escorrentía generadas en el tramo de la riera urbanizado puedan acceder al conducto que sustituye

actualmente a la riera. En este apartado habría que incluir también la construcción de zanjas y rejillas desarenadoras que eviten la entrada de arrastres en los cauces y conducciones.

El proyecto y construcción de las obras incluidas en los apartados anteriores habrá de responder adecuadamente a las exigencias hidráulicas e hidrológicas de la cuenca natural de las rieras.

3. Implantación y observancia de normativas de vertidos. Esta normativa deberá incluir:

- a) La prohibición de realizar vertidos de residuos sólidos y basuras en los cauces públicos, y la provisión de alternativas adecuadas y asequibles para efectuar esos vertidos, de modo que pueda evitarse la acumulación de todos esos residuos en los cauces de las rieras.
- b) La adopción de unos criterios urbanísticos apropiados y acordes con los principios de la hidrología urbana, a fin de asegurar un control y desagüe adecuados de las aguas de escorrentía generados en los cauces de las rieras.

Dos directrices principales a tener en cuenta serían, por una parte, la implantación de dispositivos urbanísticos que retengan temporalmente las aguas, evitando así las puntas de caudal en los alcantarillados y rieras, y por otra parte, la construcción de barreras físicas ante los arrastres de piedras y arenas causados por las aguas en su descenso desde las colinas próximas a muchos municipios. Los trabajos del Seminario sobre Hidrología Urbana (1987), organizado en Sitges por la Universidad Técnica de Verano de Cataluña, contienen alternativas de gran interés que ya han sido aplicadas en otros países mediterráneos como Francia.

4. Implantación de un plan de limpieza y mantenimiento de todos los dispositivos de eliminación de arrastres y de evacuación de aguas de escorrentía, que asegure su correcto estado de funcionamiento en todo momento.

Como ya se ha indicado en la primera de estas líneas de actuación, la limpieza y mantenimiento sistemáticos de los imbornales y dispositivos de desagüe constituyen requisitos esenciales para asegurar una circulación adecuada de las aguas de escorrentía, sin retenciones, acumulaciones, desbordamientos, roturas de márgenes e inundaciones de cualquier tipo.

Este plan de limpieza y mantenimiento deberá abarcar también los dispositivos de desbaste y desagüe de las rieras en los ríos de la Corporación. Así se aseguraría que los sistemas de clapetas existentes son operativos en todo momento, y se evitaría la eventual inundación de las zonas colindantes de los ríos por salida de agua de sus cauces en momentos de crecida.

5. **Provisión de equipos de impulsión y achique** que aseguren, con la mayor fiabilidad técnica posible, la evacuación de los excesos de escorrentía que puedan producirse en puntos críticos de las redes de alcantarillado.

Esta actuación ha producido resultados positivos durante las inundaciones de octubre de 1987, evitando la inundación de la Plaza Cerdá de Barcelona durante uno de los episodios de lluvia, y reduciendo los trastornos circulatorios que llegaron a producirse en noviembre de 1983.

6. **Remodelación y ampliación del alcantarillado**, especialmente en los tramos conflictivos, y de los dispositivos de desagüe, a fin de dotarlos de una capacidad hidráulica suficiente.

Como caso ejemplar de la eficacia de este tipo de actuación cabe citar los trabajos en curso de construcción para la remodelación parcial de los colectores de la Bunyola y de la Aviación en el municipio de El Prat de Llobregat.

La realización de un estudio detallado de la red de alcantarillado, mediante un modelo numérico de escorrentía urbana (Mujeriego y cols., 1986), permitió la redacción de un proyecto de remodelación basado en caudales de escorrentía realistas que, con un presupuesto del 25% del generalmente estimado en el Plan de Saneamiento Metropolitano para remodelar toda la red, va a permitir resolver los problemas más prioritarios del casco urbano, y ha evitado su inundación durante los episodios de lluvia de octubre de 1987.

Hay que señalar por último el gran interés que tiene la aplicación de los modelos de escorrentía urbana para la remodelación y gestión de las redes de alcantarillado de la Corporación Metropolitana de Barcelona. No obstante, su aplicación requiere necesariamente la disponibilidad de datos fiables sobre la pluviometría de la zona. Un programa de seguimiento de 2 a 4 años en unas zonas seleccionadas permitiría obtener una información adecuada para la calibración y aplicación sistemática de esos modelos en todo el ámbito de la Corporación.

7. **El control del nivel freático.** La elevación del nivel freático registrada en amplias zonas del delta del río Llobregat ha producido la inundación permanente de numerosas zonas urbanas y agrícolas de la Corporación.

La gravedad de los problemas económicos causados en las edificaciones y en las explotaciones agrarias, y especialmente los problemas sanitarios que estas aguas estancadas pueden ocasionar, deberían ser objeto prioritario de un estudio que determine las medidas correctoras necesarias para favorecer su infiltración en el terreno.

No parece necesario insistir en las consecuencias tan desastrosas que para los habitantes de estas zonas y para el desarrollo económico y turístico de las zonas costeras del

Bajo Llobregat puede llegar a tener el desarrollo de condiciones insalubres, especialmente durante la primavera y el verano, en grandes zonas de sus términos municipales, particularmente en las situadas en las proximidades de la costa.

VALORACION ECONOMICA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

La valoración económica preliminar del programa de medidas correctoras propuesto en capítulos anteriores se ha realizado a partir de los datos siguientes:

1. Estimaciones presupuestarias realizadas tanto por los Servicios Técnicos de la Corporación Metropolitana de Barcelona como de los municipios correspondientes, para proyectos de construcción de obras iguales o similares a las propuestas en este estudio.
2. Estimaciones realizadas durante este estudio, a partir de presupuestos realizados por los Servicios Técnicos de la Corporación Metropolitana de Barcelona, sobre costes de construcción de unidades de obra similares a las propuestas en este estudio.
3. Estimaciones realizadas durante este estudio sobre los costes de limpieza y mantenimiento de los dispositivos de desagüe.

Los costes individualizados de las medidas correctoras propuestas en cada caso están indicadas en el apartado correspondiente de los formularios que aparecen en los Anexos de este estudio. Las cifras que aparecen en estos presupuestos corresponden a costes del año 1987.

Un análisis general de los costes de ejecución de las medidas correctoras propuestas pone de manifiesto la existencia de dos grandes grupos de actuaciones:

1. Proyectos que por su amplitud geográfica o su dificultad técnica comportan unos presupuestos singulares, próximos generalmente a los 500 millones de pesetas y, en algunos casos, muy superiores a esa cifra.
2. Proyectos que por su menor envergadura o su sencillez técnica tienen presupuestos que oscilan entre una y varias decenas de millones de pesetas, pudiendo llegar en algunos casos a superar los cien millones de pesetas.

El análisis de los criterios que han de tenerse en cuenta para establecer la lista de actuaciones prioritarias a llevar a cabo dentro de un presupuesto limitado es un aspecto que sobrepasa los objetivos de este estudio. No obstante, hay que resaltar el interés de efectuar un estudio de alternativas en cada caso, especialmente cuando el presupuesto de ejecución es elevado; una vez adoptada la solución, su ejecución podría implantarse por fases, dentro de un esquema de prioridades general.

Con objeto de establecer una visión global del presupuesto del programa de medidas correctoras propuesto, las diferentes actuaciones se han agrupado según sus características más importantes, se ha obtenido el presupuesto parcial de cada grupo, y se ha estimado a continuación el precio medio de cada una de

esas actuaciones. Los resultados de este análisis aparecen en la tabla 6.

Como puede apreciarse en la tabla 6, las actuaciones más numerosas y con un presupuesto conjunto superior corresponden al restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras, con un presupuesto medio aproximado de 50 millones de pesetas cada una, aunque con un amplio margen de variación entre ellas.

Le siguen en importancia las actuaciones destinadas a aumentar la capacidad hidráulica de los interceptores y de las redes de alcantarillado, con un coste medio aproximado de 80 millones de pesetas, aunque con un amplio margen de variación entre ellas.

A continuación aparecen las 6 modificaciones o construcciones de puentes sobre el cauce de otras tantas rieras, con un coste aproximado de 35 millones cada una, y con un intervalo de variación entre ellas de 3 a 115 millones de pesetas.

Por último hay que señalar las actuaciones destinadas a la instalación o ampliación de dispositivos de drenaje, con un presupuesto medio unitario de 5 millones de pesetas, las dos actuaciones destinadas a colocar diques de escollera que protejan la salida al mar de dos rieras, con un presupuesto medio unitario de 12 millones de pesetas, y las actuaciones destinadas a construir dispositivos de retención de arrastres, con un presupuesto medio unitario de 1 millón de pesetas.

Los programas municipales de limpieza, mantenimiento y conservación sistemáticos de los cauces y dispositivos de desagüe de las rieras tienen un presupuesto medio aproximado de 0,5 millones de pesetas anuales. A pesar de la dificultad de estimar correctamente estos costes, y aún admitiendo un aumento del 100% sobre el coste propuesto en razón del estado actual de los cauces, no cabe duda que esta sería la actuación con una relación beneficio/coste más favorable de las que se pueden realizar en estos momentos, ya que reduciría muy considerablemente los riesgos de inundación y el alcance de los daños que pudieran llegar a producirse en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

En resumen, el programa de medidas correctoras propuestas tiene un presupuesto aproximado de 2 200 millones de pesetas, distribuidas en un total de 71 actuaciones. Hay que resaltar que el elevado presupuesto de algunas actuaciones exige la realización de un detenido estudio de alternativas que permita definir la solución más adecuada desde el punto de vista técnico y económico. La remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat ofrece un excelente ejemplo del enfoque recomendado.

Tabla 6. Análisis presupuestario del programa de medidas correctoras propuesto para evitar las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Tipo de actuación	Número de Actuaciones	Presupuesto, millones de pesetas		
		Total	Medio	Intervalo
Restablecimiento de la capacidad hidráulica de la riera	25	1 237	50	1,1 - 195
Aumento de la capacidad del interceptor o de la red de alcantarillado	8	638	80	5,0 - 260
Modificación o construcción de un puente sobre la riera	6	204	35	3,0 - 115
Instalación o ampliación de dispositivos de desagüe	16	76	5	0,2 - 29
Escollera de protección en la desembocadura al mar y conductos de prolongación	2	24	12	10 - 14
Instalación de dispositivos de retención de arrastres	11	11	1	----
Tramo Fonsanta	1	-	-	----
Red de drenaje de Hospitalet de Llobregat	1	-	-	----
Ampliación de la capacidad hidráulica de la Plaza Cerdá	1	-	-	----
Total	71	2 190		
Planes municipales de limpieza, mantenimiento y conservación de cauces, millones pesetas/año	21	9	0,5	0,05 - 1,5

CONCLUSIONES

El objetivo general de este estudio ha sido evaluar las causas inmediatas de las inundaciones producidas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona por las intensas lluvias registradas los días 2 a 4 de octubre de 1987, comparar sus efectos con los de las lluvias registradas en noviembre de 1983, y elaborar un programa de medidas correctoras que evite la repetición de las inundaciones en el futuro.

De los datos e información recopilados durante este estudio es posible establecer las siguientes conclusiones:

1. Las causas inmediatas de las inundaciones registradas en octubre de 1987 han sido prácticamente las mismas que las observadas en noviembre de 1983, debido fundamentalmente al estado de absoluto abandono y deterioro en que los sistemas de desagüe del ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona han permanecido durante los cuatro años transcurridos entre ambos episodios.
2. La insuficiente capacidad hidráulica de las rieras, la acumulación de residuos y basuras de todo tipo en el cauce de las rieras, las dificultades físicas para que los caudales recogidos por las rieras puedan desaguar en el mar, la utilización del cauce de las rieras como vía urbana, camino rural o incluso zona edificable, la insuficiente capacidad o fiabilidad del sistema de alcantarillado, la frecuente obstrucción de las rejillas de desagüe de las redes de alcantarillado, y el ascenso generalizado del nivel freático en las zonas del Delta del Río Llobregat, han contribuido a que las zonas urbanas y agrícolas de la Corporación Metropolitana de Barcelona sufran, una vez más, las consecuencias de las inundaciones.
3. Las remodelaciones efectuadas en puntos concretos del sistema de desagüe de la Corporación Metropolitana de Barcelona han sido muy eficaces para evitar que se produjeran inundaciones durante el episodio de lluvias del 2 al 4 de octubre de 1987. Las obras de remodelación realizadas en el casco urbano de El Prat de Llobregat constituyen una de las mejores ilustraciones.
4. La realización de un estudio detallado de las posibles actuaciones de remodelación es una de las mejores garantías para definir, en cada caso, las soluciones más apropiadas tanto técnica como económicamente. El estudio de remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat, mediante un modelo numérico de escorrentía, ilustra la rentabilidad de este enfoque al haber podido ofrecer una solución satisfactoria, valorada en menos del 25% de los 1 250 millones presupuestados inicialmente en el Plan de Saneamiento

Metropolitano, a cambio de un coste próximo al 0,3% de ese mismo presupuesto inicial.

5. La subida generalizada del nivel freático ha sido uno de los factores que más ha influido en la extensión y duración de las inundaciones registradas en las zonas del Delta del Río Llobregat. Además de los perjuicios ocasionados en explotaciones agrícolas y edificios urbanos, hay que resaltar las graves implicaciones sanitarias que puede tener la inundación prolongada y a veces permanente que sufren las pinedas y zonas urbanas situadas a lo largo de la carretera C-246, Autovía de Castelldefels.
6. La existencia de numerosos cursos de aguas residuales, como los que desembocan en el estanque de la Murtra, y la proliferación de mosquitos que suele registrarse en las zonas del Delta del Río Llobregat, pueden hacer que toda la franja litoral próxima se convierta en un peligro sanitario de primera magnitud, especialmente durante la primavera y el verano, cuando la zona se ve frecuentada por numerosos turistas nacionales y extranjeros. Las consecuencias sanitarias, ambientales y económicas que esta situación puede tener para los municipios de la zona costera son de enorme importancia.

RECOMENDACIONES

Los resultados y conclusiones obtenidos de este estudio permiten formular la siguiente recomendación:

El peligro de inundaciones por aguas de escorrentía que se cierne actualmente sobre las zonas urbanas y agrícolas de la Corporación Metropolitana de Barcelona sólo prodrá eliminarse mediante la implantación de un programa de medidas correctoras como el propuesto en este estudio.

El programa propuesto incluye actuaciones a corto y a medio plazo, destinadas a corregir las causas inmediatas de las inundaciones registradas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, tanto en octubre de 1987 como en noviembre de 1983.

La necesidad de este programa de medidas correctoras ha quedado ampliamente justificada por la importancia, gravedad y similitud de las inundaciones ocurridas durante ambos episodios de intensas lluvias. Si no se adoptan las medidas correctoras propuestas, las zonas urbanas y agrícolas de la Corporación Metropolitana de Barcelona volverán a experimentar graves y extensas inundaciones durante un próximo episodio de intensas lluvias.

La implantación del programa de medidas correctoras propuesto evitará que vuelvan a producirse inundaciones durante un episodio de lluvia similar a los registrados en octubre de 1987 y noviembre de 1983. Las actuaciones llevadas a cabo en El Prat de Llobregat, de acuerdo con el programa de medidas correctoras propuestas durante el estudio de las inundaciones registradas en noviembre de 1983, ilustran de manera elocuente los beneficios obtenidos mediante la utilización de un modelo de drenaje urbano. La aplicación sistemática de esta técnica a otros municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona permitiría obtener la información experimental necesaria para la remodelación y explotación de sus sistemas de drenaje.

El plan de medidas correctoras propuesto está detalladamente especificado, es técnicamente factible y tiene un coste conmensurable con los presupuestos considerados en el Plan de Saneamiento de la Corporación Metropolitana de Barcelona. Mientras que las actuaciones de mayor coste propuestas forman generalmente parte de dicho Plan, el programa de limpieza y mantenimiento de los cauces de las rieras y sistemas de drenaje constituye el elemento esencial del programa de medidas correctoras propuestas, del que destacan por su reducido coste de realización y su relación beneficio/coste tan favorable. Las obras de remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat ilustran así mismo el enfoque adoptado para elaborar el programa de medidas correctoras propuesto: mientras que el coste de construcción fue próximo al 25% del presupuesto inicial de 1 250 millones estimado en el Plan de Saneamiento, el coste del estudio de remodelación fue próximo al 0,3% de ese mismo presupuesto inicial.

REFERENCIAS

- Llasat, C. (1987). Episodios de lluvias copiosas en Cataluña: génesis, evolución y factores coadyuvantes. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Barcelona.
- Mujeriego, R. y J. Dolz (1983). "Descripción del comportamiento del río Llobregat, en el tramo comprendido en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante la avenida del día 8 de noviembre de 1982". Corporación Metropolitana de Barcelona.
- Mujeriego, R. J.M. Jové y T. Andreu (1985). "Estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante las lluvias de los días 6 y 7 de noviembre de 1983". Corporación Metropolitana de Barcelona.
- Mujeriego, R. J.M. Jové, T. Andreu y S. Sugrañes (1986). "Estudio de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat mediante el modelo numérico Storm Water Management Model (SWMM)". Corporación Metropolitana de Barcelona.
- Novoa, M. (1985). "Las avenidas en Cataluña". Tecnología del Agua. Año V, no. 19, 43-57.
- Seminario de Hidrología Urbana (1987). Fundació Narcís Monturiol. Universitat Tècnica d'Estiu de Catalunya. Sitges, 14 a 18 de septiembre de 1987.

ANEXO 1

Municipios de la
Corporación Metropolitana de Barcelona
en que se registraron inundaciones

Municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona en los que se registraron inundaciones durante los días 2 a 4 de octubre de 1987.

Municipio	Zona	Código
Badalona	Alrededores de la Estación de RENFE	51
Barcelona	Santa Eulalia, Primer Cinturón de Ronda	101
Barcelona	Plaza Ildefonso Cerdá	102
Barcelona	Paso inferior del Moll de la Fusta	105
Barcelona	Torre Baró	106
Barcelona	Zona Franca	107
Castelldefels	Corredera Maestra	201
Castelldefels	Paseo Marítimo, en las proximidades del Apeadero de RENFE	202
Castelldefels	Paso inferior de la Avenida de la Pineda	203
Castelldefels	Cuenca vertiente de la Riereta	204
Castelldefels	Bellamar	205
Cerdanyola del Vallès	Carretera de Ciudad Badía a Cerdanyola del Vallès	301
Cerdanyola del Vallès	Unión de las Rieras de Sant Cugat y Can Catà	302
Gavà	Alrededores de la Plaza de la Iglesia	401
Gavà	Cruce de la Carretera C-245 con la Avenida de Joan Carles I	402
Gavà	Zona agrícola próxima a la carretera C-245	404
Gavà	Alrededores de la Autovía de Castelldefels	406
Hospitalet de Llobregat	Cruce de la línea férrea Valencia-Barcelona con la calle Santa Eulalia	502
Hospitalet de Llobregat	Calle Amadeo Torner	504

Municipio	Zona	Código
Hospitalet de Llobregat	Rambla la Marina, en Bellvitge	505
Molins de Rei	Alrededores del puente de la Carretera de Caldes de Montbui	601
Molins de Rei	Alrededores del Torrent d'en Benet	602
Molins de Rei	Alrededores de la Riera Can Paissa	603
Molins de Rei	Calle Riera Mariona	604
Molins de Rei	Alrededores del Torrent de Can Sant Tomàs	605
Molins de Rei	Alrededores de la Autopista A-2	606
Montcada i Reixac	Barriada Can Joan	705
Montcada i Reixac	Fontpudenta	706
Montcada i Reixac	Fontpudenta	707
Montcada i Reixac	Polígono Industrial Can Cunyàs	708
Mongat	Desembocadura de la Riera d'en Font; cruce de las calles Mar y Riera d'en Font	751
Mongat	Playas	752
Mongat	Calle Sant Jordi	753
Pallejà	Zonas próximas a la Carretera N-II	801
Pallejà	Zonas próximas al cruce de la Riera Boter con la Carretera N-II	804
El Papiol	Alrededores del Torrent Batsacs	901
El Papiol	Calle Brasil, Pasaje Peu de la Costa	902
El Prat de Llobregat	Cuenca de la Aviación	1001
Ripollet	Calle Balmes	1031

Municipio	Zona	Código
Sant Adrià del Besós	Barrio La Catalana	1051
Sant Adrià del Besós	Calle Moratin, bajo Autopista A-19	1052
Sant Boi de Llobregat	Cruce de la Riera Bertrán con la Carretera BV-2002	1101
Sant Boi de Llobregat	Barrio de Marianao	1104
Sant Boi de Llobregat	Zona alta de la Riera Guinovart	1105
Sant Cugat del Vallés	Calles Celler Cooperatiu y adyacentes	1202
Sant Feliu de Llobregat	Alrededores del Torrent del Terme	1301
Sant Feliu de Llobregat	Alrededores de la Riera La Salut	1302
Sant Feliu de Llobregat	Plà del Llobregat	1303
Sant Feliu de Llobregat	Cruce de la Riera Sant Just con la vía férrea	1304
Sant Feliu de Llobregat	Plà del Llobregat	1305
Sant Joan Despí	Fontsanta	1401
Sant Joan Despí	Tramo final del canal de desagüe de la margen izquierda del Río Llobregat	1402
Sant Joan Despí	Tramo final de la Riera d'en Nofre	1403
Sant Joan Despí	Alrededores del Río Llobregat	1404
Sant Vicenç dels Horts	Polígono Industrial próximo al cruce de Cuatro Caminos	1502

Municipio	Zona	Código
Sant Vicenç dels Horts	Calles Girona y Barcelona, y sus alrededores	1503
Sant Vicenç dels Horts	Zona agrícola próxima al Río Llobregat	1504
Sant Vicenç dels Horts	Camino de la Font y paso inferior de los ferrocarriles de la Generalitat	1505
Santa Coloma de Cervelló	Alrededores de la línea férrea Barcelona-Martorell y Carretera BV-2002	1601
Santa Coloma de Cervelló	Zona limitada por la línea férrea Barcelona-Martorell y la Carretera BV-2002	1602
Santa Coloma de Cervelló	Línea férrea Barcelona-Martorell y zona industrial adyacente	1603
Santa Coloma de Cervelló	Zona agrícola próxima al puente de la línea férrea Barcelona-Martorell	1604
Santa Coloma de Gramanet	Calle Mosen Cinto Verdaguer	1701
Santa Coloma de Gramanet	Zona deportiva próxima a la Avenida Pallaresa	1702
Viladecans	Zona agrícola	1801
Viladecans	Zona agrícola aguas abajo de la línea férrea Barcelona-Zaragoza	1802

ANEXO 2

Formularios de registro de datos
correspondientes a los municipios de la
Corporación Metropolitana de Barcelona
en que se registraron inundaciones