

ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN
LA CORPORACION METROPOLITANA DE BARCELONA
DURANTE LAS LLUVIAS DE LOS
DIAS 6 Y 7 DE NOVIEMBRE DE 1983

Rafael Mujeriego
Dr Ingeniero de Caminos

Josep María Jové
Ingeniero de Caminos

Tomás Andreu
Alumno Becario

Departamento 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, septiembre de 1985

ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN
LA CORPORACION METROPOLITANA DE BARCELONA
DURANTE LAS LLUVIAS DE LOS
DIAS 6 Y 7 DE NOVIEMBRE DE 1983

Rafael Mujeriego
Dr Ingeniero de Caminos

Josep María Jové
Ingeniero de Caminos

Tomás Andreu
Alumno Becario

Departamento 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, septiembre de 1985

RESUMEN

Las precipitaciones registradas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, ocasionaron el desbordamiento de numerosas rieras, así como la inundación de diversas zonas urbanas y agrícolas de la Corporación.

La circunstancia de que este episodio de intensas precipitaciones se produjera exactamente un año después de haberse registrado la última avenida del Río Llobregat hizo que las consecuencias devastadoras de la acción de las aguas aparecieran todavía más patentes entre los ciudadanos y los responsables de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Las lluvias registradas en las laderas meridionales de las cordilleras litoral y prelitoral de Cataluña y, en particular, en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona tuvieron un carácter excepcional, al alcanzarse en el curso de los días 6 y 7 de noviembre una precipitación total de 200 a 300 mm, equivalente a la mitad de la precipitación media anual característica del área geográfica de la Corporación.

Estas precipitaciones tan intensas dieron lugar a unos caudales de agua de escorrentía de carácter excepcional que, al no poder ser desaguados en determinados puntos de las rieras, produjeron el desbordamiento de estas y la inundación de las zonas urbanas y rurales colindantes. Un 68% de las inundaciones registradas tuvieron lugar en zonas urbanas.

Entre las causas determinantes de las inundaciones cabe destacar: 1) la insuficiente capacidad hidráulica del cauce de las rieras, debido fundamentalmente a las restricciones impuestas por obras de cruce con vías de comunicación, 2) la acumulación en el cauce de las rieras de residuos, basuras, vegetación y arrastres y depósitos naturales, 3) la utilización del cauce natural de las rieras como vía urbana, camino rural o incluso zona edificable, 4) la insuficiencia hidráulica del alcantarillado, así como del posible sistema de impulsión complementario, 5) la obstrucción de las rejillas de desagüe, y 6) el ascenso del nivel freático.

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido elaborar un programa de medidas correctoras destinado a asegurar una correcta evacuación de las aguas de escorrentía y a eliminar así el riesgo de inundación que pesa sobre numerosas zonas de la Corporación. Por último, se ha realizado una valoración económica de este programa de medidas correctoras, a fin de facilitar la planificación y ejecución de las actuaciones propuestas.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este estudio ha sido posible gracias a la información y colaboración prestada por los responsables y técnicos de todos los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona, así como por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.

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 6 y 7 de noviembre de 1983.

Hemos de expresar nuestra gratitud a los Servicios Técnicos de la Corporación Metropolitana de Barcelona por la confianza y disponibilidad que nos han brindado en todo momento. Particularmente, a D. Francisco Gutiérrez y a D. Antonio Tomás, por el interés, apoyo y comprensión que nos han ofrecido durante la ejecución de este estudio.

INDICE

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
METODOLOGIA	3
RESULTADOS Y DISCUSSION	10
Condiciones Meteorológicas	10
Las Inundaciones de 1982 y 1983	16
Las depresiones atmosféricas	16
El sistema hidráulico	18
Zonas Inundadas	19
Origen de las Inundaciones	19
Causa de las Inundaciones	23
Programa de Medidas Correctoras	27
Valoración Económica	30
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS	38
Anejo 1 : Municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones	39
Anejo 2 : Formularios de registro de datos correspondientes a los municipios de la Corporación Metropolitana en que se registraron inundaciones	43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Formularios elaborados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.
- Figura 2. Mapa meteorológico de superficie de los días 6 y 7 de noviembre de 1983. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.
- Figura 3. Mapa pluviométrico de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante las 48 horas transcurridas entre las 8.00 h del día 6 y las 8.00 h del día 8 de noviembre de 1983. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.
- Figura 4. Mapa de pluviometría media de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante el período de 1944 a 1980. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental.
- Figura 5. Mapa pluviométrico de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona y Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental.
- Figura 6. Mapa meteorológico de superficie del día 7 de noviembre de 1982. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.
- Figura 7. Zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron inundaciones durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Tipo de zonas afectadas por las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.
- Tabla 2. Origen de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.
- Tabla 3. Causas determinantes de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.
- Tabla 4. Análisis presupuestario del programa de medidas correctoras propuesto para evitar las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

INTRODUCCION

El regimen 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 6 y 7 de noviembre de 1983 ocasionaron el desbordamiento de numerosas rieras, así como la inundación de diversas zonas urbanas y agrícolas de la Corporación.

La circunstancia de que este episodio de intensas precipitaciones se produjera exactamente un año después de haberse registrado la última avenida del Río Llobregat hizo que las consecuencias devastadoras de la acción de las aguas aparecieran todavía más patentes entre los ciudadanos y los responsables de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Mientras que las inundaciones ocurridas en noviembre de 1982 fueron causadas por las intensas lluvias registradas en la cabecera del Río Llobregat, que posteriormente provocaron el desbordamiento del Río en diversos tramos próximos a su desembocadura, las inundaciones registradas en 1983 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, invadieron las zonas urbanas y agrícolas colindantes.

Estos dos episodios catastróficos, ocurridos en el breve plazo de un año, han puesto de manifiesto la necesidad de establecer un programa de gestión eficaz de las aguas de escorrentía que asegure su evacuación adecuada en las zonas urbanas, y evite así el riesgo actual de inundación que pesa sobre numerosas zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Ha sido en este contexto en el que la Corporación Metropolitana de Barcelona ha establecido un Convenio de Investigación con el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, con objeto de evaluar las causas inmediatas de las inundaciones ocurridas en noviembre de 1983 y elaborar un plan adecuado de medidas correctoras.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es evaluar las causas inmediatas de las inundaciones ocurridas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, como consecuencia de las intensas lluvias registradas los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Entre los objetivos específicos de este estudio cabe señalar:

1. La identificación de las zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron inundaciones.
2. La recopilación de la información disponible sobre la localización de la zona inundada, el origen de las aguas responsables de la inundación, y las causas que la motivaron, así como de una documentación gráfica adecuada de la zona afectada.
3. La elaboración de un sistema de registro de datos que facilite el archivo y consulta de la información recopilada durante este estudio.
4. El análisis de 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. La elaboración de un programa de medidas correctoras que evite que situaciones similares a las registradas puedan producirse de nuevo en el futuro.
6. La 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 limpieza y mantenimiento de los dispositivos de desagüe de las aguas de escorrentía.

METODOLOGIA

La evaluación de las inundaciones registradas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 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 los responsables y técnicos municipales, y con los vecinos de las zonas afectadas.

Con objeto de establecer un método que facilite el archivo y consulta de toda la información recopilada durante este estudio, se han elaborado unos formularios de registro que aparecen en la figura 1.

Como puede apreciarse en esta figura, la identificación de la zona inundada viene reflejada en términos del municipio a que pertenece y de la denominación de la zona concreta, con indicación de la naturaleza urbana, industrial o rural de la misma.

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 ha seguido el orden cronológico en el que fueron estudiadas,

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 concreta en que se produjeron 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 de la zona.

El apartado 5 del formulario contiene una descripción y valoración técnica de las soluciones propuestas por el equipo de trabajo 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

<p>CORPORACION METROPOLITANA DE BARCELONA 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 del 7 de noviembre de 1983 Análisis de sus causas y las posibles soluciones</p>	
<p>1. IDENTIFICACION</p> <p>1.1 Nombre del municipio:</p> <p>1.2 Denominación de la zona inundada:</p>	<p>Código:</p>
<p>2. LOCALIZACION DE LA ZONA INUNDADA</p>	
<p>3. ORIGEN DE LAS INUNDACIONES</p> <p>3.1 Rio:</p> <p>3.2 Canal de riego:</p> <p>3.3 Riera:</p> <p>3.3.1 Superficie total de la cuenca:</p> <p>3.3.2 Superficie urbana:</p> <p>3.3.3 Superficie urbanizable:</p>	

Figura 1. Formularios elaborados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

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

Figura 1. Formularios elaborados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

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

Figura 1. Formularios elaborados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

6. DOCUMENTACION GRAFICA:	Código:

Figura 1. Formularios elaborados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

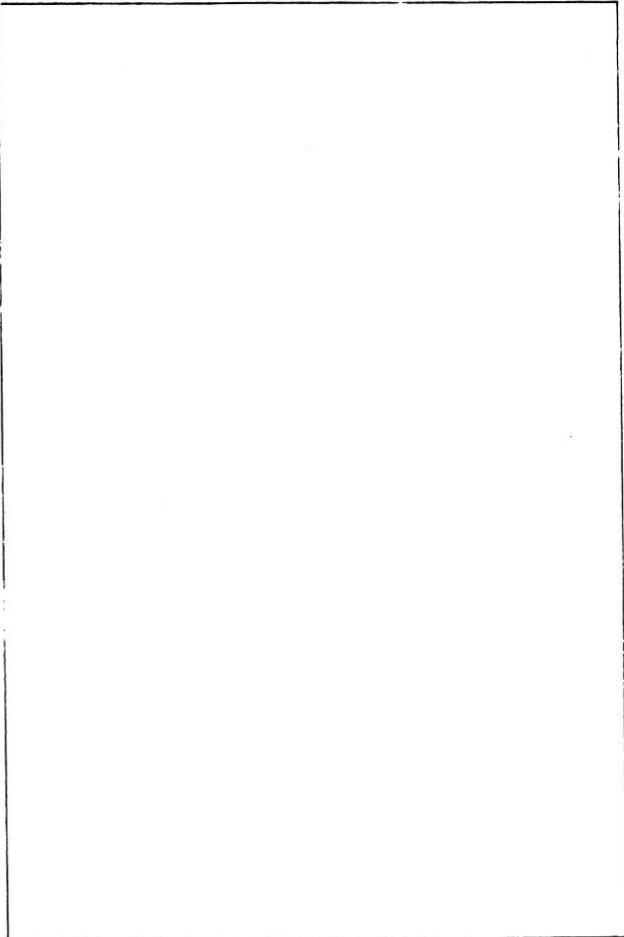
6. DOCUMENTACION GRAFICA:	Código:
	

Figura 1. Formularios elaborados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

tomados de las estimaciones realizadas por los Servicios Técnicos de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Por último, los formularios de registro contienen diversas fotografías que documentan los aspectos más significativos tanto de las causas de las inundaciones como del estado de la zona después de que ocurrieran estas.

RESULTADOS Y DISCUSION

La evaluación de las inundaciones ocurridas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, se ha efectuado a dos niveles: por 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 de otra parte se han estudiado las circunstancias que propiciaron que esas mismas aguas de escorrentía desbordaran sus cauces, inundando y produciendo numerosos destrozos en las zonas urbanas y rurales colindantes.

La información facilitada por el Servicio Meteorológico Zonal de Barcelona ha permitido evaluar las circunstancias en que se produjeron las intensas lluvias registradas en Cataluña durante el mes de noviembre de 1983.

Los contactos mantenidos con los servicios técnicos de todos los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona permitieron establecer una primera valoración del número e importancia de las inundaciones ocurridas durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983. Las visitas de campo realizadas posteriormente a las zonas afectadas, así como las conversaciones mantenidas con los responsables y técnicos municipales, y 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 Anejos del presente estudio.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en cada uno de estos dos apartados.

Condiciones Meteorológicas

Un análisis de la información facilitada por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona ha permitido establecer algunas de 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 6 y 7 de noviembre de 1983.

Los mapas meteorológicos de los días 5, 6 y 7 de noviembre revelan la presencia de una depresión atmosférica que desde las Azores se desplaza sobre la península Ibérica en dirección Este. A esta primera depresión le seguirían otras de menor intensidad que darían lugar, durante los días 10, 14 y 16 del mismo mes de noviembre, a lluvias de intensidad moderada en las mismas zonas de Cataluña en que se habían registrado las primeras. La figura 2 ilustra la situación meteorológica de superficie durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

La trayectoria tan meridional de estas depresiones provocó una circulación de aire mediterráneo, cálido y húmedo del Sureste sobre la península Ibérica que, a escala de Cataluña, fué evolucionando hacia

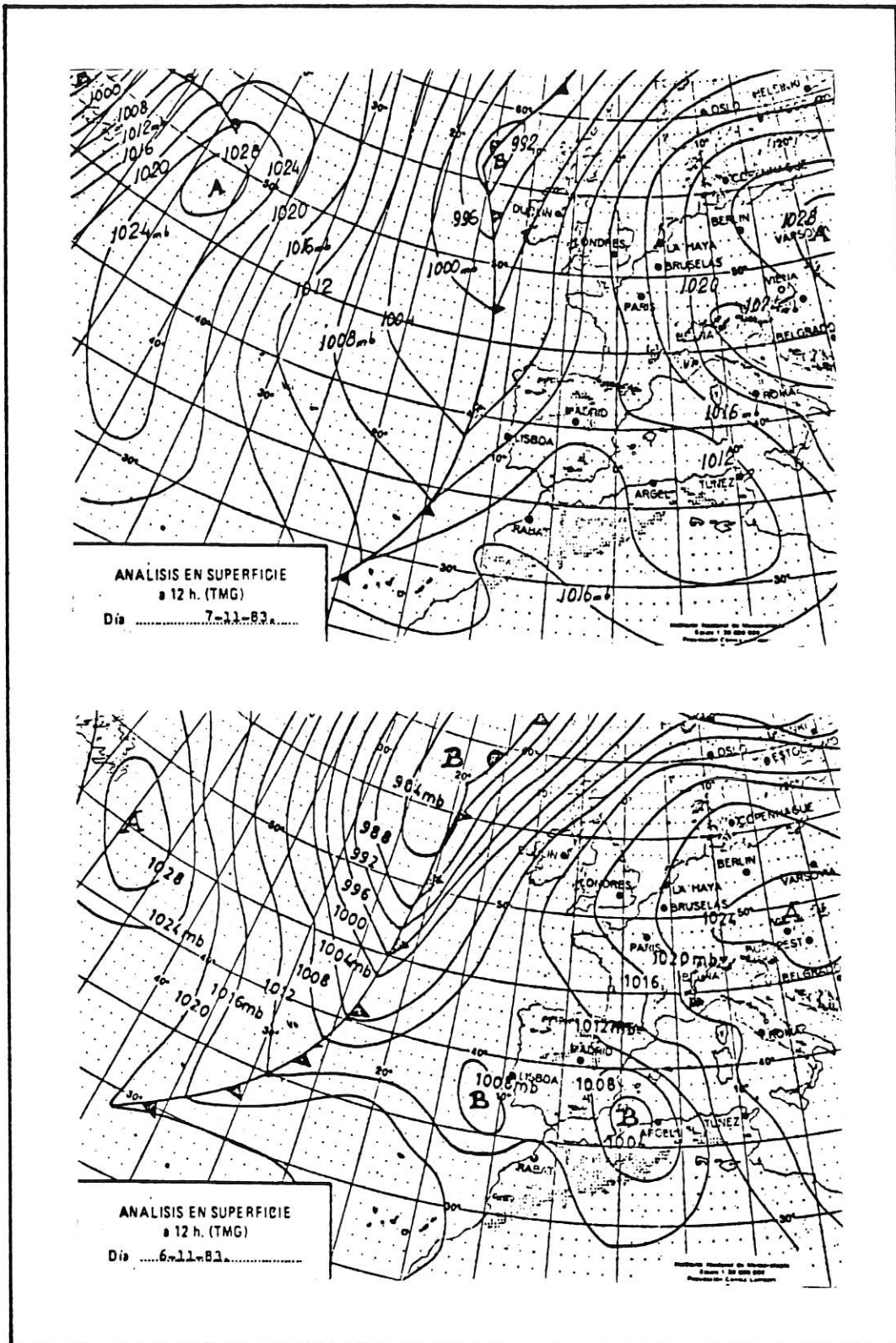


Figura 2. Mapa meteorológico de superficie de los días 6 y 7 de noviembre de 1983. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.

vientos de Levante durante los días 6 y 7 de noviembre.

Los gradientes isobáricos tan débiles existentes sobre Cataluña durante estos días, así como la existencia de vientos irregulares e incluso de calmas sobre gran parte del litoral mediterráneo español, hacen pensar en la existencia de fenómenos de advección de escasa potencia y con trayectorias irregulares y cambiantes.

Si tenemos en cuenta además la escasa nitidez con que se perfilan los frentes de lluvias, especialmente el frente frío, puede postularse que las lluvias registradas durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 fueron el resultado de un fenómeno explosivo que se manifestó de forma espectacular sobre las estribaciones meridionales de la cordillera prelitoral de Cataluña, siguiendo en cierto modo el cauce del Río Llobregat.

El efecto ascendente impuesto sobre las corrientes de advección de aire cálido y húmedo del Sur por las cadenas montañosas litoral y prelitoral provocó la condensación de grandes masas de agua, que dieron lugar a precipitaciones extraordinarias en numerosas zonas del litoral de Cataluña durante los días 6 y 7 de noviembre, seguidas de precipitaciones notables y moderadas durante los días 8, 9, 10, 14 y 16 del mismo mes.

Por otra parte, los posibles movimientos ascendentes de aire originados por el perfil térmico atmosférico existente durante esos días, que pudo incluso verse reforzado por fuentes superficiales de calor, podrían haber contribuido a que las masas de aire cargadas de aire húmedo y cálido experimentaran un fenómeno de condensación brusco e intenso en las inmediaciones de la zona geográfica de la Corporación.

La figura 3 muestra las precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983. La figura 3 ilustra el efecto de condensación provocado en esta ocasión por la orografía litoral de Cataluña sobre las masas de aire húmedo provinientes del Mediterráneo, haciendo que las lluvias se produjeran principalmente en las laderas de la cadena montañosa prelitoral y que las precipitaciones registradas en las zonas altas y alejadas de la costa fueran infrecuentes y moderadas.

La figura 4 ilustra las precipitaciones medias anuales de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental, durante el periodo 1944-1980. La figura 5 ilustra las precipitaciones registradas en esta cuenca durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982. Un análisis comparativo de las figuras 3, 4 y 5 pone de manifiesto dos observaciones importantes:

1. La distribución espacial de las precipitaciones registradas tanto en noviembre de 1982 como en noviembre de 1983 difieren considerablemente entre sí y respecto a la distribución pluviométrica media anual de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental. La naturaleza aleatoria y diferente de las causas determinantes de estos dos episodios de intensas lluvias explican estos resultados.

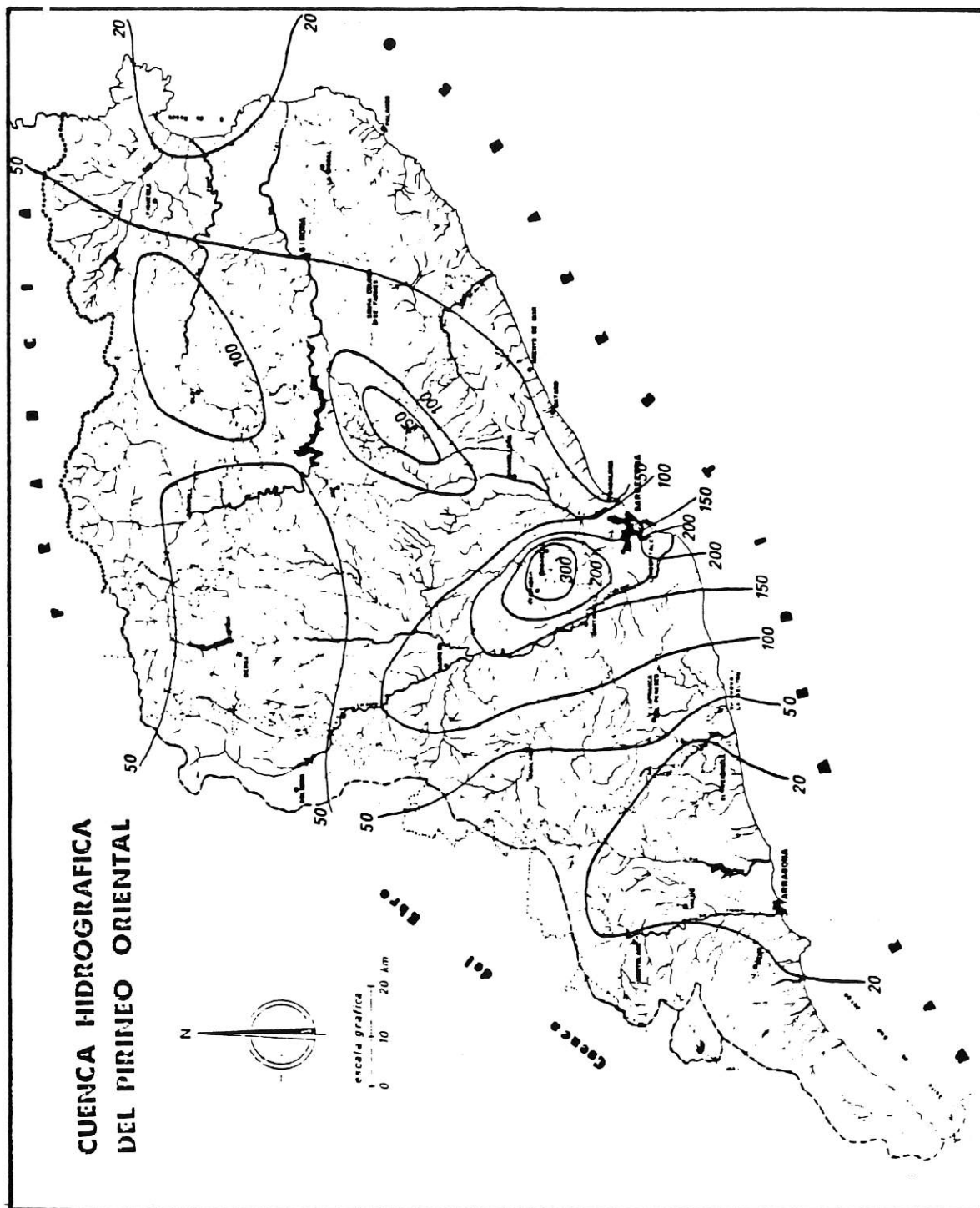


Figura 3. Mapa pluviométrico de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante las 48 horas transcurridas entre las 8.00 h del día 6 y las 8.00 h del día 8 de noviembre de 1983. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.

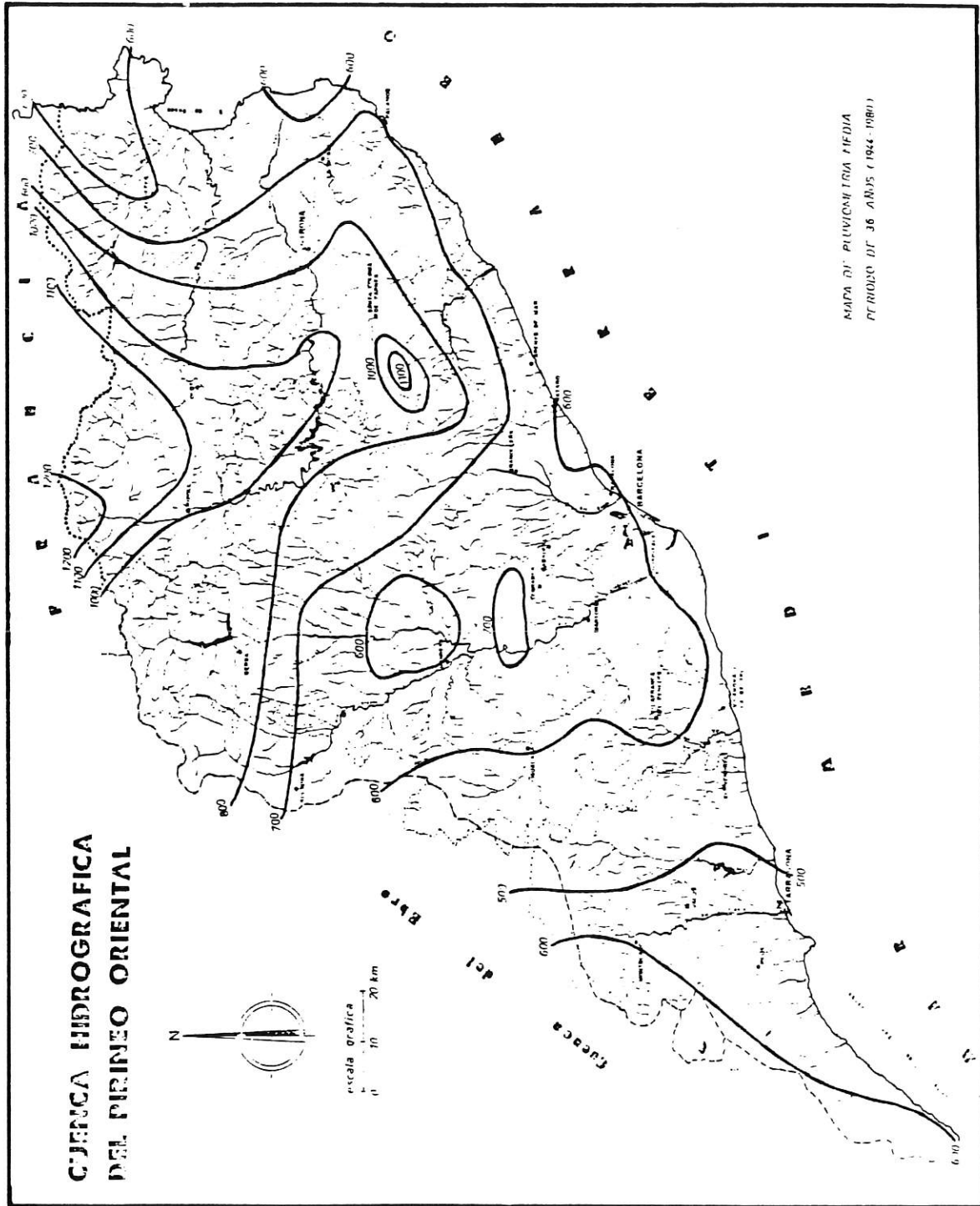


Figura 4. Mapa de pluviometría media de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante el período de 1944 a 1980. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Tomado de Mujeriego y Dolz (1983).

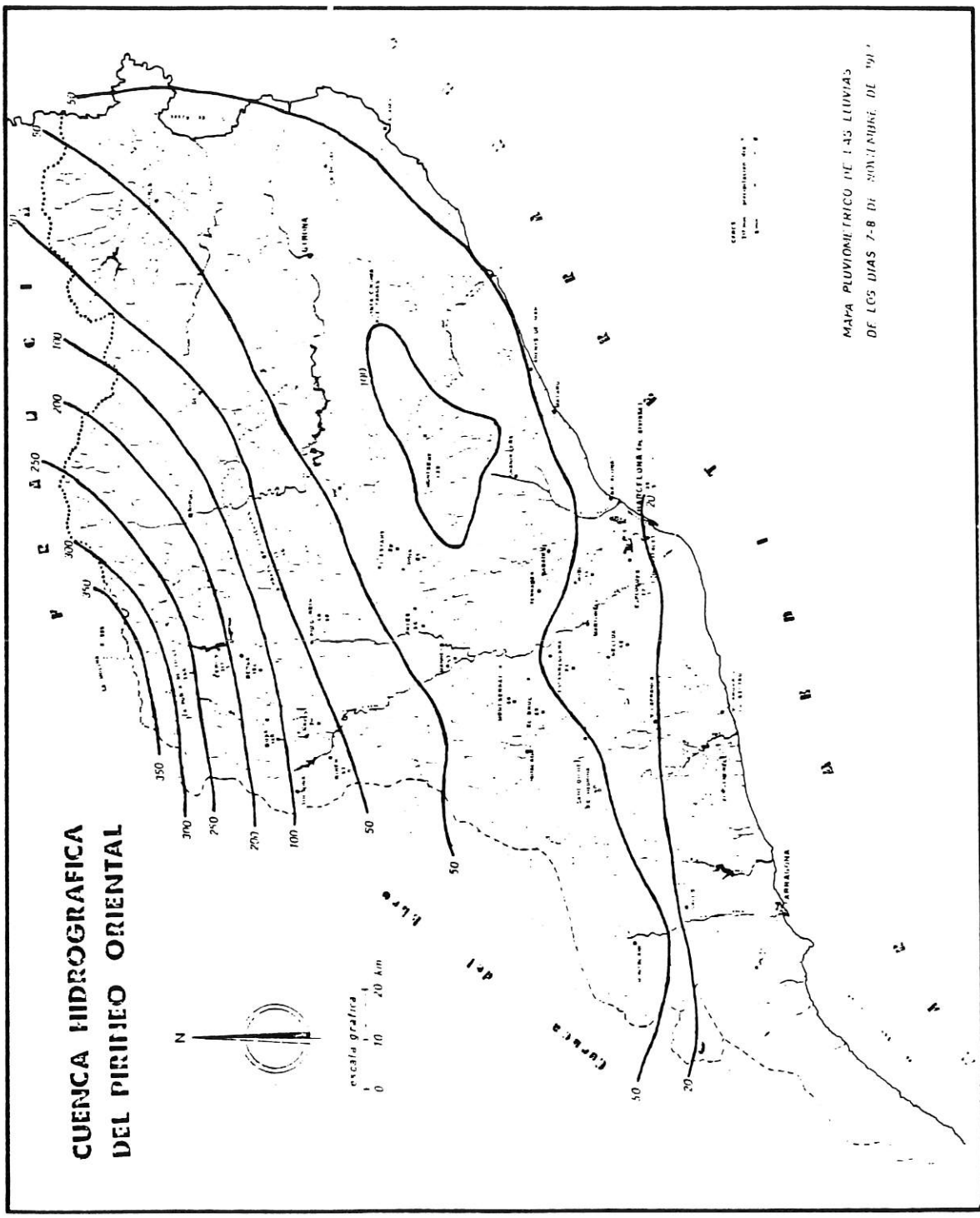


Figura 5. Mapa pluviométrico de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona y Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Tomado de Mujeriego y Dolz (1983).

2. Las lluvias registradas en las zonas meridionales de la cordillera prelitoral y, en particular, en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, tuvieron un carácter excepcional, al alcanzarse en el curso de los días 6 y 7 de noviembre una precipitación total entre 200 y 300 mm, equivalente a la mitad de la precipitación media anual característica de estas zonas.

Fueron estas precipitaciones tan intensas las que dieron lugar a unos caudales de agua de escorrentía también excepcionales, que las cuencas de las rieras no pudieron desaguar en determinados puntos, produciendo su desbordamiento e inundando las zonas urbanas y rurales colindantes.

Las Inundaciones de 1982 y 1983

La circunstancia de que, en noviembre de 1982, unas condiciones meteorológicas similares a las registradas en noviembre de 1983 provocaran graves inundaciones en Cataluña y, en particular, en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, ofrece una excelente oportunidad para analizar las consecuencias que pueden derivarse de este tipo de condiciones atmosféricas, así como los mecanismos responsables de las inundaciones que se registraron en el ámbito de la Corporación Metropolitana en ambas ocasiones.

Las depresiones atmosféricas

La crecida experimentada por el Río Llobregat en 1982 fué provocada por las intensas precipitaciones registradas en la parte alta de su cuenca. La **figura 6 muestra como** una depresión atmosférica muy intensa, con presiones mínimas en superficie de 964 mb, impulsó grandes masas de aire cálido y húmedo del Mediterráneo que, desde el Sur, atravesaron Cataluña durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982 (Mujeriego y Dolz, 1983).

Un análisis comparativo de las figuras 2 y 6 pone de manifiesto la existencia de unas condiciones meteorológicas similares en noviembre de 1982 y 1983. Sin embargo, la depresión atmosférica de noviembre de 1982 fué mucho más intensa que la de noviembre de 1983, y su posición relativa respecto a la península Ibérica mucho más septentrional que la de noviembre de 1983, que siempre se mantuvo en latitudes próximas a las del estrecho de Gibraltar.

Estas dos circunstancias contribuyeron a que las corrientes de advección de aire cálido y húmedo de noviembre de 1982 sólo experimentaran un proceso de condensación a cotas relativamente altas de los sistemas montañosos de Cataluña, especialmente de los Pirineos. Por el contrario, en noviembre de 1983, el fenómeno de condensación tuvo lugar predominantemente en las estribaciones montañosas del litoral catalán, siendo muy reducidas las precipitaciones en las laderas de los Pirineos. Como puede apreciarse, en estos dos episodios concurren, en mayor o menor

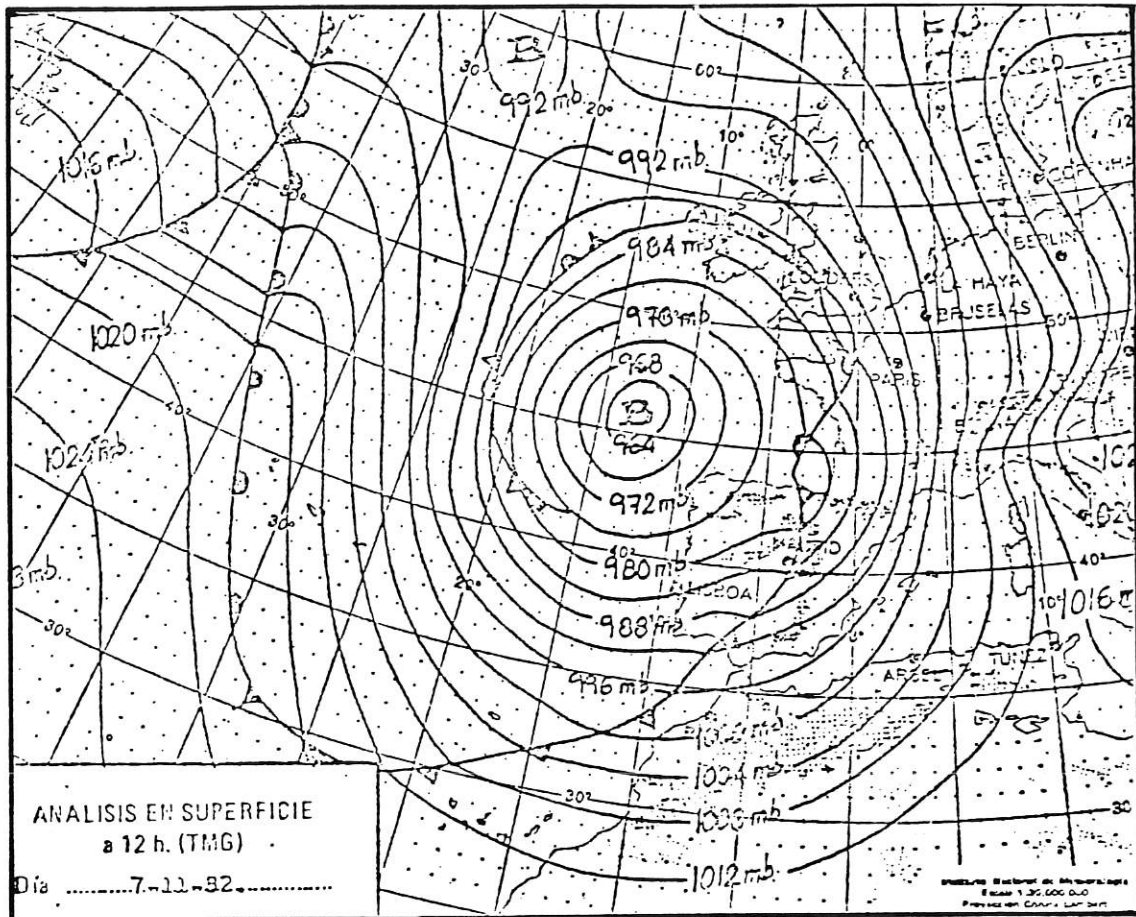


Figura 6. Mapa meteorológico de superficie del día 7 de noviembre de 1982. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.

Tomado de Mujeriego y Dolz (1983).

grado, las diversas características de las lluvias torrenciales que suelen producirse en Cataluña (Novoa, 1985).

Como se ha indicado en secciones precedentes, los gradientes isobáricos tan débiles observados en noviembre de 1983, junto con la existencia de vientos irregulares e incluso de calmas sobre gran parte del litoral mediterráneo español, explicarían el carácter espontáneo e intenso con que se desarrollaron las precipitaciones. La escasa potencia de los fenómenos de advección y los posibles movimientos ascendentes provocados por el perfil térmico atmosférico debieron contribuir a que las precipitaciones tuvieran lugar en las vertientes de la cordillera prelitoral, siguiendo el cauce del Río Llobregat como línea de penetración principal.

En definitiva, unas condiciones meteorológicas similares, caracterizadas por una depresión atmosférica que impulsa sobre Cataluña vientos del Sureste o de Levante, cálidos y húmedos, puede producir intensas precipitaciones en las estribaciones de los Pirineos, dependiendo de su intensidad y de su posición relativa sobre la península Ibérica.

No obstante, hay que señalar que, tal como sucedió durante las inundaciones de septiembre de 1962, una misma depresión atmosférica puede dar lugar simultáneamente a precipitaciones más o menos intensas en el interior y en la zona costera de Cataluña.

El sistema hidráulico

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 a su vez la inundación de diversas zonas de la Corporación (Mujeriego y Dolz, 1983).

El mecanismo de las inundaciones fué por tanto la salida de agua desde el cauce del Río. Esta salida de agua fué facilitada por derrumbamientos y defectos en 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 de puntos de desagüe del propio Río Llobregat.

Como se analiza en el capítulo siguiente, el mecanismo responsable de las inundaciones registradas en noviembre de 1983 fué diferente al que se acaba de describir. Fueron los caudales generados en las zonas bajas de las cuencas de los Ríos Llobregat y Besós los que, al tratar de desaguar por sus cauces naturales, no pudieron realizarlo, desbordando e inundando las áreas colindantes.

Estas observaciones permiten ya anticipar que los nexos de unión de las cuencas vertientes con los cauces de los Ríos Llobregat y Besós constituyen uno de los puntos críticos del sistema hidráulico de la Corporación Metropolitana de Barcelona, y son en gran parte responsables de las inundaciones registradas en los municipios de la Corporación en 1982 y 1983.

Zonas Inundadas

Los resultados obtenidos durante las visitas de campo realizadas a los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona ha permitido determinar el tipo de zona afectada por las inundaciones registradas durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

La figura 7 muestra las zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron inundaciones durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Por otra parte, la tabla 1 ilustra el tipo de zonas afectadas: de los 45 casos de inundación registrados, 32 de ellos afectaron a zonas urbanas, mientras que 11 tuvieron lugar en zonas rurales, generalmente dedicadas a usos agrícolas.

La circunstancia de que un 70% de las inundaciones ocurridas tuvieran lugar en zonas urbanas de la Corporación pone de manifiesto los considerables daños y perjuicios materiales que estas ocasionaron, a la vez que evidencia la situación inadecuada en que se encuentran los sistemas de drenaje urbano de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Hay que resaltar que, además del escaso nivel de calidad de vida que unas inundaciones como las ocurridas denotan, la situación actual de estos cauces naturales constituye un peligro real de que las inundaciones vuelvan a producirse, en presencia de condiciones meteorológicas similares a las observadas en noviembre de 1983.

Origen de las inundaciones

La tabla 2 contiene una valoración de la procedencia de las aguas causantes de las inundaciones registradas los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Como puede apreciarse en la tabla 2, el cauce de las rieras constituye el origen más frecuente de las inundaciones. En segundo término aparecen las redes de alcantarillado, seguidas en importancia por los interceptores y/o colectores.

Un análisis comparativo de las tablas 1 y 2, así como de los formularios correspondientes a cada una de las inundaciones, pone de manifiesto que el paso por zonas urbanas del cauce de numerosas rieras constituye el aspecto crítico más importante del sistema de drenaje de los municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona.



Figura 7. Zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se produjeron inundaciones durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Tabla 1. Tipo de zonas afectadas por las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Zona	Casos registrados	
	Número	Porcentaje
Industrial	2	5
Rural	11	27
Urbana	32	68
Total	45	100

Tabla 2. Origen de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Origen	Casos registrados	
	Número	Porcentaje
Alcantarillado	7	16
Canal de riego	1	2
Interceptor	4	9
Riera	32	71
Río	1	2
Total	45	100

Causa de las Inundaciones

La tabla 3 contiene 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.

En la tabla 3 se han contabilizado todas las causas determinantes que concurren en cada inundación. Esto explica que el número total de ocasiones en que se registró cualquiera de estas causas es superior al de inundaciones registradas, ya que, en general, en cada inundación concurren dos o más de las causas consideradas.

De los resultados contenidos en la tabla 3 y de las observaciones de campo realizadas durante este estudio, es posible establecer las siguientes conclusiones:

1. La insuficiente capacidad hidráulica del cauce de la riera es una de las causas determinantes del 86% 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: carreteras y ferrocarril. Prácticamente en todos los casos registrados, la reducción de sección es tan evidente que basta una simple inspección visual para comprender los efectos catastróficos que el estado de estas intersecciones pueden ocasionar durante un episodio de lluvias moderadas o intensas.

Por otra parte, 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. A esto viene a añadirse que, en la práctica totalidad de los casos, no se realiza ningún trabajo de limpieza y mantenimiento de la obra de desagüe que mitigue los defectos de diseño.

En definitiva, las observaciones de campo efectuadas permiten afirmar que un gran número de las soluciones de desagüe en los cruces de las rieras con las vías de comunicación han sido proyectadas y construidas con una absoluta desconsideración de las exigencias hidráulicas del cauce natural de la riera en cuestión.

2. La acumulación de residuos y basuras de todo tipo en el cauce de la riera, así como de vegetación y de arrastres y depósitos naturales, es una causa determinante del 25% de las inundaciones registradas.

En general, las observaciones de campo efectuadas han permitido constatar el estado deplorable en el 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

Tabla 3. Causas determinantes de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Causa determinante	Número de ocasiones en que ocurrió	Porcentaje sobre el número total de 45 inundaciones registradas
1. Insuficiente capacidad hidráulica de la riera por:		
a) restricción o barrera en la intersección del cauce con el ferrocarril	8	16
la carretera	11	25
b) sección o pendiente reducida del cauce actual, con/sin rotura de encauzamiento	8	18
c) presencia de vegetación en el cauce	3	7
d) acumulación de arrastres y sedimentos naturales en el cauce	5	11
e) acumulación de residuos y escombros en el cauce	4	9
Total	39	86
2. El cauce de la riera es utilizado como:		
a) vía urbana, con desagües inadecuados o inexistentes	15	34
b) camino, con/sin relleno del cauce	4	9
c) zona edificada o de ubicación de terraplen	1	2
Total	20	45
3. Capacidad hidráulica insuficiente del alcantarillado, del desagüe y/o del sistema de impulsión	7	16
4. Obstrucción de las rejillas de acceso a la conducción de desagüe	3	7
5. Ascenso del nivel freático	2	4

contiguas como provenientes de las zonas urbanas.

Si se tiene en cuenta además que prácticamente no se lleva a cabo ningún servicio de limpieza y mantenimiento de los arrastres propios de las rieras, se comprende la notable reducción causada en la capacidad hidráulica de estas, que provoca su desbordamiento y la destrucción de sus márgenes durante la circulación de caudales importantes como los registrados durante el periodo objeto de este estudio.

3. 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 45% de los casos registrados.

La urbanización del cauce natural de las rieras se ha efectuado en unos casos con la total desconsideración de la necesidad de proporcionar un cauce o conducción alternativo y, en otros casos, con la provisión de tal conducción pero sin la de los correspondientes imbornales para desaguar el propio 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 utilizar el cauce natural de la riera como 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.

La elaboración de unas normas urbanísticas apropiadas y acordes con los principios de la hidrología urbana, así como la observación 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 durante el mes de noviembre de 1983.

Lógicamente, las deficiencias observadas durante este estudio habrían de ser subsanadas de forma prioritaria, si se quiere evitar la repetición de las inundaciones durante el próximo temporal de intensas lluvias.

4. La insuficiencia hidráulica del alcantarillado, así como del posible sistema de impulsión complementario, fué una causa determinante del 16% de las inundaciones registradas.

Aunque esta proporción es notablemente inferior a las consideradas anteriormente, su importancia absoluta fué considerablemente superior al de aquellas, al corresponder a las inundaciones registradas en la zona urbana de Barcelona, Plaza de Ildefonso Cerdá y sus alrededores, y en el casco urbano de El Prat de Llobregat.

La intersección a múltiples niveles de varias vías de circulación importantes, y el trazado de los Ferrocarriles de la Generalidad, han impuesto tradicionalmente unas limitaciones prácticamente insuperables a la capacidad hidráulica de la conducción que recoge las aguas de escorrentía de la Riera Blanca.

No obstante, las consecuencias de las inundaciones en la zona de la Plaza Ildefonso Cerdá se agravaron notablemente, y en especial su duración, por el fallo del sistema de impulsión que evacua las aguas de escorrentía que llegan por la Riera Blanca.

Todo parece indicar que, de haberse mantenido operativo el sistema de impulsión en estas zonas del Primer Cinturón, los efectos de las inundaciones habrían sido menores y de duración más breve. La circulación de vehículos se habría visto probablemente interrumpida durante unas horas, por acumulación de los caudales excedentes a la capacidad de impulsión de las bombas.

Por otra parte, evitar absolutamente el que este corte de circulación pueda producirse en determinadas ocasiones haría necesario recurrir a unas obras de enorme envergadura y coste, destinadas a proporcionar una capacidad hidráulica adecuada al tramo de colector en cuestión.

En cuanto a las inundaciones ocurridas en el casco urbano de El Prat de Llobregat, la insuficiente capacidad de su red de drenaje urbano no ofrece otra alternativa que una remodelación general de la misma, que la dote de las secciones y pendientes necesarias para asegurar el desagüe de las aguas de escorrentía hasta el cauce del Río Llobregat o hasta el mar.

5. La obstrucción de las rejillas de desagüe fué una causa determinante del 7% de las inundaciones registradas. Como consecuencia de la acumulación de arrastres naturales, y de residuos y basuras de todo tipo, estos dispositivos de protección perdieron rápidamente su capacidad de desagüe y favorecieron la acumulación del agua de escorrentía que les llegaba.

Al igual que ocurre con el propio cauce natural de la riera, 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 en numerosas ocasiones.

Basta recordar aquí que esta misma circunstancia de la acumulación de arrastres y basuras en las rejillas y conductos de desagüe de las aguas de escorrentía en el Río Llobregat contribuyó a que, en 1982, este inundara extensas zonas de la Corporación Metropolitana de Barcelona, cuando las clapetas destinadas a impedir los reflujos de agua del Río quedaron bloqueadas y abiertas, a causa de su obstrucción por arrastres y residuos.

Un programa sistemático de limpieza y mantenimiento de estos dispositivos de desbaste y control del flujo de las aguas de escorrentía, junto con un programa de control de los vertidos de basuras y escombros en los cauces de las rieras, han de contribuir de forma decisiva a evitar que se repitan este tipo de inundaciones en la Corporación Metropolitana de Barcelona.

6. Por último, el ascenso del nivel freático contribuyó a la inundación de los sótanos y garajes de diversas viviendas en el municipio de L'Hospitalet de Llobregat. Entre las posibles causas de este ascenso anormal del nivel freático, los servicios técnicos de este municipio apuntan el efecto pantalla producido por la construcción de los túneles de la línea de los Ferrocarriles de la Generalidad.

Programa de Medidas Correctoras

Del análisis realizado en el apartado anterior sobre las causas determinantes de las inundaciones registradas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, es posible establecer un programa de medidas correctoras que asegure la correcta evacuación de las aguas de escorrentía y elimine así el riesgo de inundación que pesa sobre numerosas zonas de la Corporación.

Las medidas correctoras más adecuadas para evitar cada una de las inundaciones consideradas en este estudio aparecen descritas en el correspondiente apartado de los formularios que se recogen en los Anejos de este estudio.

Por otra parte, un análisis conjunto de las causas determinantes de estas inundaciones permite establecer las líneas básicas de un programa de medidas correctoras, de aplicación general en todo el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona.

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

1. El restablecimiento de la capacidad hidráulica del cauce 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, tales como las destinadas a eliminar la reducción de capacidad existente en numerosas intersecciones de las rieras con vías de comunicación, o como las dirigidas a asegurar que el cauce de la riera disponga de una pendiente y/o márgenes adecuados.

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

- b) Tareas de limpieza y mantenimiento destinadas a eliminar la considerable cantidad de vegetación, de arrastres y sedimentos, y de residuos de todo tipo que existen actualmente en el cauce de las rieras.
2. La provisión de cauces adecuados y suficientes en los tramos de riera urbanizados.

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) Acciones que exigen la remodelación o construcción de los dispositivos de desagüe necesarios para que las aguas de escorrentía generadas en el tramo de riera urbanizado puedan acceder al conducto ya existente, que sirve de cauce alternativo de la riera. En este apartado habría que incluir también la construcción de zanjas y rejillas desarenadoras que eviten el acceso a los cauces y conducciones de los materiales de arrastre naturales.

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

3. La implantación y observancia de una normativa que incluya:
- a) La prohibición de realizar vertidos de residuos sólidos y basuras en los cauces públicos, de modo que, proporcionando alternativas adecuadas para efectuar esos vertidos, disuada y evite la acumulación de esos materiales en los cauces de las rieras.
 - b) La adopción de unos criterios urbanísticos apropiados y acordes con los principios de hidrología urbana, a fin de asegurar un control y desagüe adecuados de las aguas de escorrentía generadas en la cuenca de la riera.
4. La implantación de un plan sistemático 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 que la circulación de las aguas de escorrentía se realice adecuadamente, sin producir retenciones, acumulaciones, desbordamientos, roturas de márgenes y/o inundaciones de cualquier tipo.

Hay que resaltar aquí que en este plan de limpieza y mantenimiento habrían de incluirse lógicamente los dispositivos de desbaste y desagüe de las rieras en los ríos de la Corporación Metropolitana de Barcelona. De este modo, sería posible asegurar 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. La 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 está especialmente dirigida a evitar las inundaciones que se registraron en la Plaza Ildefonso Cerdá y sus inmediaciones.

La instalación de equipos de bombeo, capaces de funcionar indefectiblemente en las condiciones que concurren con los intensos caudales de la Riera Blanca, reducirán considerablemente la magnitud y las consecuencias de las inundaciones que suelen producirse en la Plaza Ildefonso Cerdá y en las zonas próximas del Primer Cinturón de Ronda de Barcelona.

Como posible alternativa, cabe considerar la ampliación de la sección hidráulica de la Riera Blanca a su paso bajo el nudo de comunicaciones de la Plaza Ildefonso Cerdá. No obstante, esta solución representa unas obras de enorme envergadura y coste.

6. La remodelación y ampliación de los tramos de alcantarillado conflictivos y de los correspondientes dispositivos de desagüe, a fin de dotarles de una capacidad hidráulica suficiente.

Como caso singular, dentro de este tipo de actuación, hay que considerar la remodelación de toda la red de drenaje del casco urbano de El Prat de Llobregat, con objeto de evitar las inundaciones que se producen con ocasión de lluvias de moderada intensidad.

7. La evaluación de la influencia que los túneles de los Ferrocarriles de la Generalidad pueden tener en la elevación del nivel freático de las zonas próximas del municipio de L'Hospitalet de Llobregat.

Este estudio debería identificar las medidas prácticas necesarias para evitar el posible efecto pantalla que estos túneles puedan producir sobre las aguas de escorrentía generadas durante episodios de intensas precipitaciones.

Valoración Económica

La valoración económica preliminar del programa de medidas correctoras propuesto en la sección anterior se ha efectuado en base a los siguientes datos:

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

Los costes de las medidas correctoras propuestas en cada caso están indicadas en el apartado correspondiente de los formularios que aparecen en los Anejos de este estudio. A pesar del carácter estimativo de los presupuestos contenidos en estos Anejos, las cifras que allí aparecen corresponden a costes del año 1982.

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 y/o dificultad técnica comportan unos presupuestos singulares, generalmente próximos a los 500 millones de pesetas y en algunos casos superiores a los 1000 millones de pesetas.
2. Proyectos que por su menor envergadura y/o 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 las prioridades a tener en cuenta para establecer que actuaciones deben emprenderse dentro de un marco presupuestario limitado es un aspecto que sobrepasa los objetivos de este estudio. No obstante, cabe señalar el interés de realizar siempre un examen detenido de las alternativas propuestas en cada caso, especialmente cuando sus presupuestos son elevados; una vez adoptada la solución definitiva, su ejecución debería implantarse por fases, dentro de un esquema de prioridades general.

Con objeto de establecer una visión de conjunto del presupuesto necesario para poder llevar a cabo el programa de medidas correctoras propuesto, las diferentes actuaciones se han agrupado según su carac-

terística más importante, obteniéndose el presupuesto conjunto de cada grupo y estimándose el coste unitario correspondiente. Los resultados de este análisis de conjunto aparecen en la Tabla 4.

Como puede apreciarse en la Tabla 4, las actuaciones más numerosas, y con un presupuesto conjunto superior, son las relativas al restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras, con un presupuesto medio de construcción próximo a los 34 millones de pesetas cada uno, aunque con un amplio margen de variación entre ellas.

Le siguen en importancia las tres modificaciones o construcciones de puentes sobre el cauce de otras tantas rieras, con un coste medio aproximado de 55 millones de pesetas cada uno.

A continuación aparecen las actuaciones relativas al aumento de capacidad del sistema de alcantarillado y a los dispositivos de desagüe, con costes medios aproximados de 7 y 2 millones de pesetas cada una de ellas, respectivamente.

Los planes de limpieza y mantenimiento sistemáticos de los cauces y dispositivos de desagüe de las rieras tienen un presupuesto aproximado de 0,5 millones de pesetas anuales. A pesar de la dificultad de estimar correctamente estos valores, y aún admitiendo un incremento del 100% sobre el coste propuesto en razón del estado actual de los cauces, no cabe duda que este sería el tipo de actuación con una relación de beneficio a coste más favorable, a efectos de controlar y prevenir las inundaciones en la Corporación Metropolitana de Barcelona.

Por último, la Tabla 4 contiene los presupuestos individuales de las medidas correctoras de tipo singular.

En resumen, el programa de medidas correctoras propuesto para desaguar las aguas de escorrentía en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, y así evitar la repetición de las inundaciones registradas los días 6 y 7 de noviembre de 1983, asciende a 4 516 millones de pesetas distribuidas en un total de 50 actuaciones. No obstante, hay que señalar que el presupuesto tan elevado de determinadas actuaciones hace necesaria la realización de un detallado estudio de alternativas, que permita definir la solución más adecuada desde los puntos de vista técnico y económico.

El plan de limpieza y mantenimiento necesario para mantener operativo en todo momento los sistemas de drenaje de la Corporación Metropolitana de Barcelona se ha estimado en 0,5 millones de pesetas anuales por zona conflictiva considerada.

Tabla 4. Análisis presupuestario del programa de medidas correctoras propuesto para evitar las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983

Tipo de Actuación	Número de Actuaciones	Presupuesto, millones de pesetas		
		Total	Intervalo	Medio
Restablecimiento de la capacidad hidráulica de la riera (intersección con vías de comunicación, muros de encauzamiento, continuidad en zonas urbanas, encauzamiento, recuperación de sección)	26	846 (*)	0,2 - 130	34
Modificación o construcción de puente sobre cauce de la riera	3	165	20 - 75	55
Aumento de capacidad de interceptor y/o red de alcantarillado	6	43	2 - 16	7
Instalación de dispositivos de desagüe (rejillas, sumideros, imbornales)	8	15	0,5 - 9	2
Reforma total de la riera de la Font Santa, en Sant Joan Despí, obras por adjudicar	1	270	-	-
Remodelación del alcantarillado de El Prat de Llobregat	1	1 250 (**)	-	-
Remodelación del alcantarillado del barrio Mas Rampinyo, en Montcada i Reixac	1	N.D.	-	-
Red de drenaje de L'Hospitalet de Llobregat	1	725 (**)	-	-
Mejoras y mantenimiento de los equipos de bombeo de la Plaza Ildefonso Cerdá, en Barcelona	1	N.D.	-	-
Ampliación de la capacidad hidráulica de la Riera Blanca a su paso bajo la Plaza Ildefonso Cerdá, en Barcelona (solución alternativa a la anterior)	1	1 022 (**)	-	-
Aumento de la capacidad hidráulica de la Riera de Horta, en Barcelona	1	180 (**)	-	-
TOTAL	50	4 516		
Planes municipales de limpieza y mantenimiento de dispositivos de desagüe, millones de ptas/año	45	22	0,5 - 2,0	0,5

(*) La Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental ha adjudicado recientemente las obras de remodelación del cauce de una riera por valor de 75 millones de pesetas.

(**) Previsión del Plan de Saneamiento de la CMB.

N.D. No disponible.

CONCLUSIONES

El objetivo general de este estudio ha sido evaluar las causas inmediatas de las inundaciones ocurridas en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona como consecuencia de las intensas lluvias registradas los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

El análisis de los datos e informaciones recopilados permite establecer las siguientes conclusiones:

1. La causa determinante de las intensas precipitaciones registradas en Cataluña durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983 fué una depresión atmosférica que desde las Azores se desplazó sobre la península Ibérica.
2. A esta primera depresión le seguirían otras de menor intensidad que dieron lugar, durante los días 10, 14 y 16 de noviembre, a lluvias de intensidad moderada en las mismas zonas en que se habían registrado las primeras.
3. Las intensas precipitaciones registradas fueron el resultado del efecto ascendente impuesto sobre las corrientes de advección de aire cálido y húmedo del Sur por las cadenas montañosas litoral y prelitoral de Cataluña.
4. Las lluvias registradas en las zonas meridionales de la cordillera prelitoral y, en particular en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona, tuvieron un carácter excepcional al alcanzarse en el curso de los días 6 y 7 de noviembre una precipitación total de 200 a 300 mm, próxima a la mitad de la precipitación media anual característica de estas zonas.
5. La escasa intensidad y la posición tan meridional de la depresión atmosférica causante de las lluvias registradas los días 6 y 7 de noviembre contribuyeron a que el fenómeno de condensación se produjera predominantemente en las estribaciones montañosas del litoral catalán, siendo muy reducidas las precipitaciones recogidas en las laderas de los Pirineos.
6. Las inundaciones registradas en noviembre de 1983 difieren esencialmente de las ocurridas en noviembre de 1982. Mientras estas últimas se produjeron por desbordamiento y escapes de las aguas del Río Llobregat, que este había recogido en la parte alta de su cuenca, las inundaciones registradas en noviembre de 1983 fueron producidas por las aguas de escorrentía generadas en la cuenca baja de los Ríos Llobregat y Besós, cuando estas desagaban por sus cauces naturales.
7. Las inundaciones afectaron a 15 municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona, registrándose un total de 45 zonas inundadas. El número de zonas afectadas por municipio osciló entre 1 y 5.

8. De las 45 inundaciones registradas, 32 de ellas afectaron a zonas urbanas, mientras que 11 tuvieron lugar en zonas rurales, generalmente dedicadas a usos agrícolas. Esto pone de manifiesto los considerables daños y perjuicios materiales que se ocasionaron y la situación tan inadecuada en que se encuentran los sistemas de drenaje urbanos de la Corporación Metropolitana de Barcelona.
9. Un 71% de las inundaciones registradas fueron producidas por las aguas de escorrentía provenientes de las rieras que drenan las cuencas de los Ríos Llobregat y Besós. Los tramos urbanos del cauce de numerosas rieras constituyen los aspectos críticos más importantes del sistema de drenaje de la Corporación Metropolitana de Barcelona.
10. La insuficiente capacidad hidráulica del cauce de la riera fué una de las causas determinantes del 86% de las inundaciones registradas. Entre las causas últimas de esta situación hay que resaltar la reducción de sección existente en los puntos de intersección de los cauces de las rieras con las vías de comunicación: carreteras y ferrocarril.
11. 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, efectuada con una absoluta desconsideración de las exigencias hidráulicas de la riera. A esto viene a añadirse que, en la práctica totalidad de los casos, no se realiza ningún tipo de limpieza y mantenimiento de la obra de desagüe que mitigue los defectos de diseño.
12. La acumulación de residuos y basuras de todo tipo en el cauce de las rieras, así como de vegetación y arrastres y depósitos naturales, fué una causa determinante del 25% de las inundaciones registradas. Los cauces de numerosas rieras se encuentran en un estado deplorable, al servir de punto de vertido de todo tipo de residuos, tanto generados en las zonas contiguas como provenientes de zonas urbanas.
13. La utilización del cauce natural de la riera como vía urbana, camino rural o incluso zona edificable, propició la inundación de las zonas colindantes en un 45% de los casos registrados.
14. La práctica de utilizar el cauce natural de la riera como vía de comunicación, tanto en zonas urbanas como para facilitar el acceso a las zonas agrícolas colindantes, refleja una absoluta desconsideración de los principios elementales de hidrología e impide que la calidad de las actuaciones urbanísticas, en particular, alcancen un nivel mínimo satisfactorio.

15. La insuficiencia hidráulica del alcantarillado, así como del posible sistema de impulsión complementario, fueron causas determinantes del 16% de las inundaciones registradas. Aunque el número de casos incluidos en este grupo fué notablemente inferior a los señalados anteriormente, su importancia absoluta fué considerablemente superior a ellos, al incluir las inundaciones registradas en la Plaza Ildefonso Cerdá de Barcelona y en el casco urbano de El Prat de Llobregat.
16. La obstrucción de las rejillas de desagüe fué una causa determinante del 7% de las inundaciones registradas. La acumulación de arrastres naturales, y de residuos y basuras de todo tipo, hizo que estos dispositivos de protección perdieran rápidamente su capacidad de desagüe. Esta situación fué similar a la producida durante las inundaciones de noviembre de 1982, cuando los sistemas de clapetas quedaron bloqueados y abiertos por los residuos acumulados, propiciando la salida del agua del Río Llobregat.
17. El ascenso del nivel freático contribuyó a la inundación de sótanos y garajes en dos zonas urbanas de L'Hospitalet de Llobregat.
18. El programa de medidas propuesto para asegurar la evacuación de las aguas de escorrentía de la Corporación Metropolitana de Barcelona, y así evitar la repetición de las inundaciones registradas en noviembre de 1983, asciende a 4 516 millones de pesetas, distribuidas en un total de 50 actuaciones.
19. El presupuesto tan elevado de determinadas actuaciones, que llegan a sobrepasar los 1000 millones de pesetas, hace necesaria la realización de un detallado estudio de alternativas que permita definir la solución más adecuada desde los puntos de vista técnico y económico.
20. El grupo de actuaciones más numeroso, y con un presupuesto conjunto superior, es el referido al restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras, con un presupuesto medio de construcción de 34 millones de pesetas cada una, aunque con un amplio margen de variación: de 0,2 a 130 millones de pesetas.
21. El grupo de actuaciones dirigidas a remodelar o construir los puentes necesarios para salvar el cauce de tres rieras tiene un presupuesto medio de construcción de 55 millones de pesetas cada una.
22. Las actuaciones relativas al aumento de capacidad del sistema de alcantarillado y de los dispositivos de desagüe tienen costes unitarios aproximados de 7 y 2 millones de pesetas, respectivamente.

23. Los presupuestos de actuaciones de carácter singular, como la remodelación de la red de drenaje de El Prat de Llobregat o la mejora de la sección de la Riera Blanca a su paso bajo la Plaza Ildefonso Cerdá de Barcelona, requieren necesariamente un estudio técnico y económico detallado, que escapa a los objetivos del presente estudio.
24. Los planes de limpieza y mantenimiento sistemático de los cauces y dispositivos de desagüe de las rieras tienen un presupuesto aproximado de 0,5 millones de pesetas anuales cada uno. A pesar de la dificultad de estimar correctamente estos valores, no cabe duda que este sería el tipo de actuación con una relación de beneficio a coste más favorable en lo que se refiere al control y prevención de las inundaciones en la Corporación Metropolitana de Barcelona.

RECOMENDACIONES

Del análisis realizado sobre las causas determinantes de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, es posible establecer un programa de medidas correctoras que incluya, por orden prioritario, las siguientes actuaciones básicas:

1. La elaboración e implantación de un programa sistemático de limpieza y mantenimiento, tanto de los cauces de las rieras como de los dispositivos de eliminación de arrastres y de desagüe de las aguas de escorrentía, que asegure una correcta circulación de las aguas y un correcto funcionamiento de los dispositivos de desagüe en todo momento.
2. La implantación y observancia de una normativa que incluya la prohibición de realizar vertidos de residuos sólidos y basuras en los cauces públicos, y la adopción de criterios urbanísticos apropiados y acordes con los principios de hidrología urbana.
3. El restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras, mediante la eliminación de las limitaciones impuestas por las obras de intersección con vías de comunicación, así como la dotación de márgenes y pendientes adecuadas a las rieras, y la limpieza y mantenimiento de sus cauces.
4. La provisión de cauces adecuados y suficientes en los tramos de riera urbanizados, mediante la construcción tanto de nuevos cauces o conducciones alternativas como de dispositivos de desagüe adecuados para evacuar las aguas de escorrentía.
5. La 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.
6. La remodelación y ampliación de los tramos de alcantarillado conflictivos y de los correspondientes dispositivos de desagüe, a fin de dotarles de una capacidad hidráulica suficiente.
7. La evaluación de la influencia que la construcción de los túneles de los Ferrocarriles de la Generalidad puede tener en la elevación del nivel freático de las zonas próximas en el municipio de L'Hospitalet de Llobregat.

REFERENCIAS

- 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.
- Novoa, M. (1985). "Las avenidas en Cataluña". Tecnología del Agua, año V, no. 19, 43-57.

ANEJO 1

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

Municipios de la Corporación Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983.

Municipio	Zona	Código
Barcelona	Santa Eulalia, 1er Cinturón de Ronda	101
Barcelona	Plaza Ildefonso Cerdá	102
Barcelona	Cruce de la Gran Vía de les Corts Catalanes con la calle Nuestra Señora del Puerto	103
Barcelona	Riera de Horta	104
Castelldefels	Corredera Maestra	201
Castelldefels	Zona Costera (Apeadero RENFE)	202
Cuida Badía, Cerdanyola	Zona rural	301
Gavá	Riera de les Parets	401
Gavá	Cruce carretera C-245 con Av. de Joan Carles I	402
Gavá	Calle Tarragona, a 100 m de la línea férrea Valencia- Barcelona	403
Gavá	Riera dels Canyars	404
Gavá	Riera de Sant Llorenç	405
L'Hospitalet de Llobregat	Calles Castelao y adyacentes	501
L'Hospitalet de Llobregat	Cruce de la línea férrea Valencia- Barcelona con la calle Santa Eulalia	502
L'Hospitalet de Llobregat	Apeadero de los Ferrocarriles de la Generalidad, entre la Av. Pau Casals y la calle Miguel Romeu	503
Molins de Rei	Alrededores del puente de la carretera de Caldes	601
Molins de Rei	Zonas urbanas y rural	602

Municipio	Zona	Código
Molins de Rei	Zona rural	603
Molins de Rei	Zonas urbana y rural	604
Molins de Rei	Zona rural	605
Montcada y Reixac	Confluencia de las calles Montiu, Leonor y Norte con la calle Pascual	701
Montcada i Reixac	Av. Jaume I	702
Montcada i Reixac	Av. de Catalunya	703
Montcada i Reixac	Calles Viver y Besós	704
Pallejá	Zona urbana	801
Pallejá	Estación de Ferrocarriles de la Generalidad	802
Pallejá	Zona urbana, carretera nacional N-II	803
El Papiol	Zona rural	901
El Papiol	Confluencia de la riera con la calle Brasil hasta la carretera de Caldes	902
El Prat de Llobregat	Prácticamente todo el casco urbano	1001
Sant Boi de Llobregat	Zona urbana	1101
Sant Boi de Llobregat	Zona urbana	1102
Sant Boi de Llobregat	Zona urbana	1103
Sant Cugat del Vallès	Zona residencial	1201
Sant Cugat del Vallès	Zona urbana	1202

Municipio	Zona	Código
Sant Cugat del Vallès	Zona urbana	1202
Sant Cugat del Vallès	Zona agrícola	1204
Sant Feliu de Llobregat	Polígono industrial y zona rural	1301
Sant Feliu de Llobregat	Zona urbana y zona rural	1302
Sant Feliu de Llobregat	Zona urbana	1303
Sant Feliu de Llobregat	Zona rural	1304
Sant Joan Despí	Zona urbana	1401
Sant Vicenç dels Horts	Polígono industrial	1501
Sant Vicenç dels Horts	Zona industrial	1502
Sant Vicenç dels Horts	Zona urbana	1503

ANEJO 2

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