

LAS INUNDACIONES DEL 10 DE JUNIO DEL 2000 EN CATALUÑA

María del Carmen Llasat, Joan de Batlle, Tomeu Rigo y Mariano Barriendos

Resumen:

En el presente artículo se analiza las inundaciones que se registraron en Cataluña el día 10 de junio del 2000 a la luz de sus características pluviométricas y meteorológicas y en el contexto de las inundaciones históricas registradas en la cuenca del bajo Llobregat desde el siglo XIV, con especial referencia a las registradas en este siglo. La situación meteorológica se caracterizó por la llegada de un frente frío asociado a una depresión fría en altura que dio lugar a nevadas, fuertes vientos y lluvias en diversas zonas de España, así como por la existencia de un potente anticiclón sobre centro Europa que dificultó el avance de la perturbación. En relación con las lluvias en Cataluña cabe señalar la presencia de una baja en superficie en el mar Catalano-Balear, que favoreció la existencia y disparo de la inestabilidad en bajos niveles. En algunos puntos de Cataluña se llegaron a totalizar más de 200 mm en menos de 12 horas, con cantidades horarias que superaron los 100 mm, a consecuencia principalmente de la estacionariedad del sistema convectivo que dio lugar a las lluvias.

Palabras clave: inundaciones, avenidas, análisis pluviométrico, análisis meteorológico, series históricas, Llobregat, Cataluña

INTRODUCCIÓN

Durante la madrugada del día 10 de junio del 2000 se produjo una tromba de agua sobre Cataluña que causó graves daños en las comarcas del Bages, Anoia, Baix Llobregat y Baix Penedés (Figura 1), tanto por la lluvia y las inundaciones, como por los deslizamientos de ladera y la caída de piedras. Como consecuencia del episodio murieron 5 personas: una anciana atrapada en su vivienda, dos jóvenes que atravesaban el puente de la N-II cuando éste se desplomó y dos guardias civiles que intentaban rescatar el cuerpo de uno de los jóvenes fallecidos. Los daños materiales más destacables fueron la destrucción parcial de las infraestructuras del recinto del Monasterio de Montserrat así como de algunas vías de acceso a la montaña; la destrucción total del puente más reciente de la autovía N-II sobre la riera de la Magarola a la altura de Esparraguera; y los graves daños producidos en el barrio de la Farinera en Sant Vicenç de Castellet, así como en

las poblaciones de Monistrol de Montserrat, Esparraguera y Collbató, en las comarcas del Baix Llobregat y Anoia. Concretamente el río Llobregat experimentó una crecida de más de 4,5 m sobre el puente de la antigua carretera N-II, amén de los súbitos aumentos de caudal experimentados en las rieras de Marganell y de la Magarola (afluentes del Llobregat) que recogieron gran parte de la lluvia que cayó sobre Montserrat y su entorno (Sempere-Torres et al, 2000). En el Baix Penedés el municipio más afectado fue el del Vendrell a consecuencia del desbordamiento de la riera del Lluch y la consecutiva ola de agua y barro que se extendió por plazas y calles de la población, provocando destrozos totales o parciales en la zona comercial. A esto hay que añadir desbordamientos de otras rieras de la cuenca del Llobregat, así como en el Maresme y el Garraf, con destrucción total de puentes y fragmentos de carretera, inundaciones de bajos en numerosas poblaciones, cortes en los suministros eléctricos, telefónicos y de agua potable, así como pérdi-

Grupo de Análisis de Situaciones Meteorológicas Adversas (GAMA). Departamento de Astronomía y Meteorología. Universidad de Barcelona. Avda. Diagonal 647. 08028 Barcelona

Tel: 93 402 11 24 Fax: 93 402 11 33 e-mail: carmell@am.ub.es / trigo@am.ub.es

da parcial de vías de transporte. Una semana después los daños materiales se estimaban en más de 11.000 millones de pesetas, y los alcaldes de las zonas más afectadas habían solicitado ya la declaración de zona catastrófica.

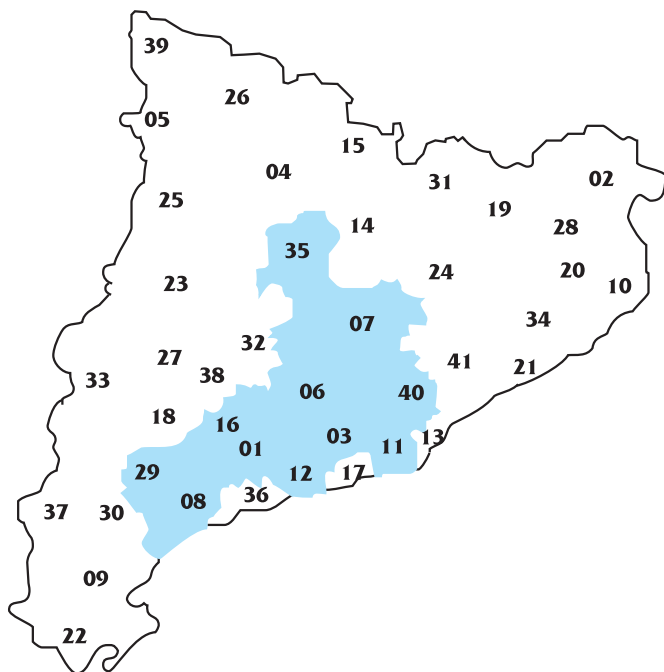


Figura 1. Mapa de Cataluña en el que se muestran las comarcas más afectadas por las lluvias del 10 de junio del 2000:
 01-Alt Camp, 03- Alt Penedés, 06-Anoia, 07-Bages, 08-Baix Camp, 11- Baix Llobregat, 12-Baix Penedés, 16-Conca de Barberá, 29-Priorat, 35-Solsonés, 40-Vallés Occidental.

Entre las muchas actuaciones que se llevaron a término hay que destacar la activación del plan INUNCAT en el nivel 1, el desalojamiento de 200 vecinos del barrio de la Farinera (San Vicente de Castellet), la evacuación de unas 300 personas que pernoctaban en Montserrat, mediante helicópteros de bomberos de la Generalitat de Catalunya (operación Noria), o la activación de los planes básicos de emergencia de los municipios más afectados, como fue el caso de El Vendrell y Martorell. En Barcelona, los bomberos de la ciudad y los servicios municipales de Parques y jardines realizaron unas 130 salidas durante el día 10 para paliar las consecuencias del temporal.

El episodio ciertamente fue espectacular y, como se discutirá más adelante, puede clasificarse como un episodio de inundaciones catastróficas. El rasgo hidrometeorológico más contundente fue la gran intensidad de precipitación sostenida, con cantidades acumuladas horarias por encima de los 100 mm y máximos en 12 horas de más de 200 mm. Sin

embargo, no es el primer caso que se haya registrado en este siglo, ni por lo que respecta a intensidades de lluvia ni por lo que respecta a caudales, ni tampoco por lo que respecta a comarcas afectadas. Basta recordar los episodios del 25 de septiembre de 1962, 20-23 de septiembre de 1971, 6-8 de noviembre de 1982 y 2-5 de octubre de 1987 (Llasat, 1987, 1990, 1991; Ramis et al, 1994). La mayor peculiaridad estriba, eso sí, en la época del año en que se ha producido. En Cataluña, los episodios de alta intensidad, muy convectivos, se suelen producir en verano y principios de otoño (Llasat y Puigcerver, 1997; Llasat, 1999), caracterizándose por su brevedad y dando lugar a avenidas súbitas en los torrentes pirenaicos o en las rieras costeras, principalmente en el Maresme. Las inundaciones catastróficas, con más de 200 mm en 24 horas, se producen en otoño, y sólo excepcionalmente se han registrado en este siglo dos o tres casos en invierno (como el de enero de 1996), que además han producido menos daños al tratarse de situaciones poco convectivas y más duraderas, lo que ha permitido una mejor gestión de las avenidas.

El objetivo de este estudio responde, pues, a la necesidad de contextualizar en el marco de las inundaciones históricas y en el marco climático, el episodio de inundaciones del 10 de junio del 2000. Para ello se procede en primer lugar al análisis de la evolución pluviométrica del mismo, tanto desde un punto de vista espacial como temporal, y de su efecto sobre los caudales de los principales ríos y rieras afectados. En segundo lugar, se realiza una explicación meteorológica de las causas del evento desde un punto de vista sinóptico y termodinámico. El estudio se finaliza, antes de pasar a la síntesis y conclusiones, con la comparación con otros casos de inundaciones históricas y documentales, que hayan afectado a la cuenca del Llobregat.

EVOLUCIÓN PLUVIOMÉTRICA

El episodio de lluvias intensas afectó sobre todo a las Cuencas Internas de Cataluña (C.I.C), por lo que el análisis detallado de su evolución pluviométrica se ha realizado exclusivamente para estas cuencas hidrológicas. Con tal fin se han utilizado los datos de lluvia 5-minutales recogidos por las estaciones automáticas del Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H) de las C.I.C. Se trata en total de 125 estaciones pluviométricas automáticas repartidas por un área de 16.000 Km², como muestra la Figura 2. El sistema de medida está constituido por un balancín con una capacidad

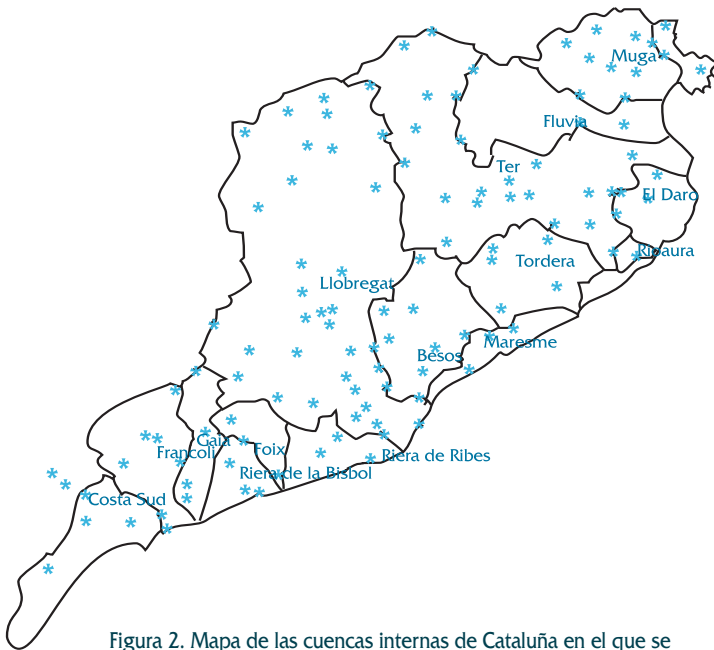


Figura 2. Mapa de las cuencas internas de Cataluña en el que se muestra la localización de los 125 pluviómetros automáticos del SAIH, así como las diferentes subcuencas.

por contenedor de 0.1 mm. La información pluviométrica, que es enviada por radio, se acumula en intervalos de 5 minutos, lo que permite un análisis detallado de la evolución temporal de la intensidad de lluvia.

La Figura 3 muestra la distribución de lluvia acumulada en las C.I.C. en todo el episodio, desde las 21:30 UTC, del día 9 hasta las 21:30 UTC del día 10 de junio. Como se puede observar, las máximas cantidades se recogieron en la cuenca del Llo-

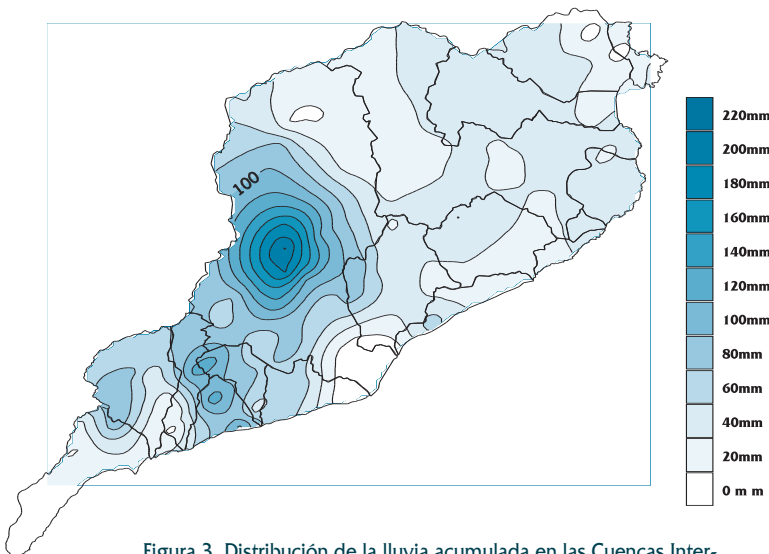


Figura 3. Distribución de la lluvia acumulada en las Cuencas Internas de Cataluña entre las 21:30 UTC del día 9 y las 21:30 UTC del día 10 de junio del 2000.

bregat, y concretamente en la comarca del Bages, con 224 mm en Rajadell (Figura 4), 202 mm en Sant Salvador de Guardiola y 183 mm en Suria. En la cuenca del Besòs se recogieron 96 mm en Sant Llorenç de Savall (Vallès Occidental), en tanto que en las cuencas tarraconenses del Françolí y de la Riera de la Bisbal se recogieron 101 mm en Mont-Ral (Alt Camp) y 134 mm en la Bisbal del Penedès (Baix Penedès). También se superaron los 100 mm en las cuencas del Gaià y Foix, con 127 mm en Aiguamurcia (Alt Camp) y 123 mm en Pontons (Alt Penedès), respectivamente. Aunque también llovió en las cuencas más septentrionales, la máxima totalizada en ellas correspondió a la cuenca del Ter, con 62 mm en Taradell (Osona). Cabe decir que el día 10 se superaron los 50 mm en todas las sub-cuencas pertenecientes a las C.I.C.

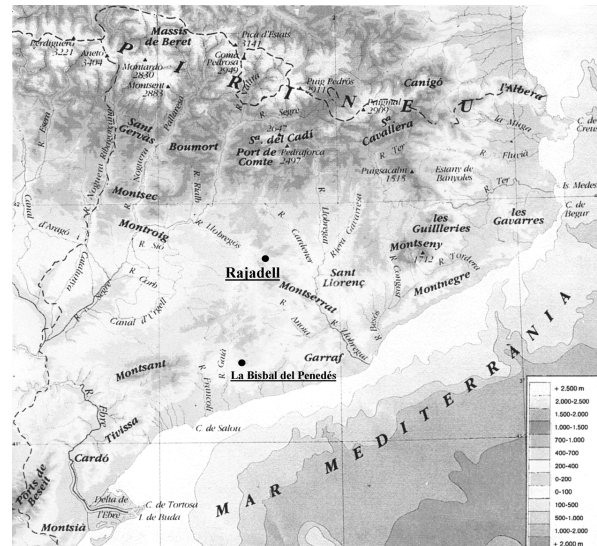


Figura 4. Mapa de Cataluña en el que se indican las principales cadenas montañosas y ríos.

Para comprender mejor la evolución del episodio se ha construido la Figura 5, en la que se muestra la distribución de la lluvia para intervalos semi-horarios, desde las 21:00 UTC del día 9 hasta las 9:00 UTC del día 10 de junio. La lluvia se distribuyó esencialmente según un eje orientado en sentido SE-NW, cuya traslación fue muy lenta, por lo que los principales núcleos se mantuvieron estacionarios durante varias horas sobre las mismas zonas. Las primeras lluvias en las C.I.C. se registraron el día 9 hacia las 21:30 UTC (23:30 hora local), afectando principalmente las comarcas del Tarragonés y Baix Camp. Entre las 22:00 y la 23:30 UTC las lluvias se mantuvieron sobre las comarcas del Baix y Alt Camp, Alt Penedès y Conca de Barberà, y empezaron a penetrar en la comarca del Anoia. Durante esas primeras horas y hasta las

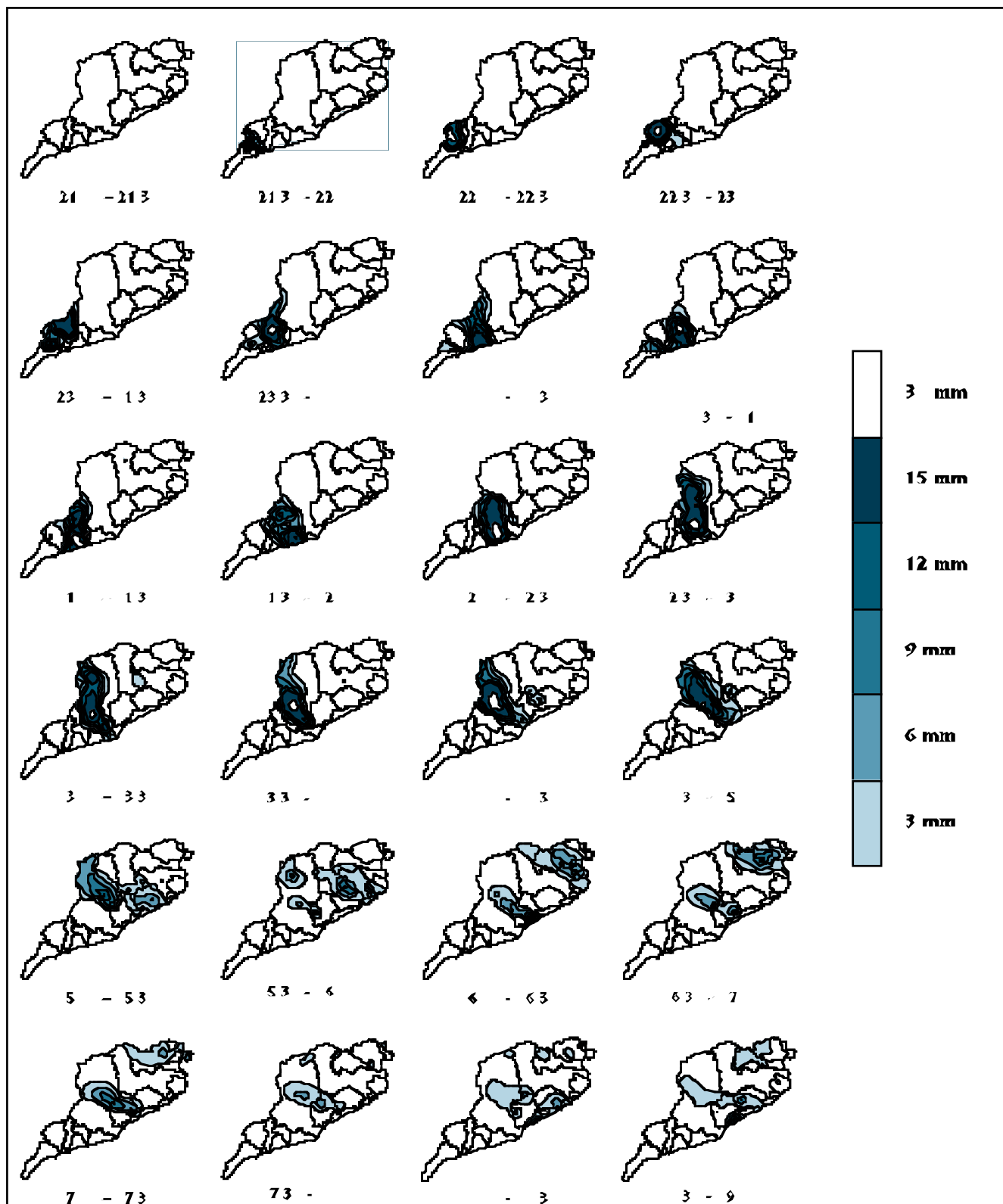


Figura 5. Evolución de la lluvia acumulada semi-horaria, a lo largo de las Cuencas Internas de Cataluña, entre las 21:00 UTC del día 9 y las 9:00 UTC del día 10 de junio del 2000.

00:00 UTC (2:00 de la mañana hora local) la cuenca más afectada fue la del Francolí, produciendo algunos daños. El sistema se trasladó hacia el NE, de tal forma que entre las 23:00 UTC y la 1:30 UTC, las cuencas más afectadas fueron las de la Riera de la Bisbal, el Gaià y Foix, incidiendo sobre todo en las comarcas del Alt, Baix Camp, Alt y Baix Penedès. Hacia la 1:30 UTC las lluvias ya afectan a la comarca del Garraf. Las primeras lluvias en la cuenca del Llobregat afectaron la comarca de l'Anoia hacia las 00:00 UTC, alcanzaron los valores máximos entre las 2:00 y las 5:00 UTC, extendiéndose luego a lo largo de todo el día 10, habiendo afectado a las comarcas del Bages, Anoia, Solsonés y Baix Llobregat. Las lluvias afectaron también considerablemente el río Cardener, amén de las rieras de las vertientes norte y sur de Montserrat.

La traslación del sistema convectivo se puede observar indirectamente en la Figura 6, que corresponde a una salida directa de la base de datos S.A.I.H. sita en la Agencia Catalana de l'Aigua. La figura muestra los máximos de intensidad y las horas en que se registraron en las tres cuencas más afectadas: Francolí (Mont-Ral), Riera de la Bisbal (La Bisbal del Penedés) y Llobregat (Sant Salvador de Guardiola). Como se puede observar, en todas ellas se superaron las intensidades 5-minutales de 60 mm/h, correspondiendo el máximo a la estación más próxima a Montserrat, con 76 mm/h. Obsérvese también la diferencia de 3 horas entre un pico y otro, lo que, unido a la evolución semihoraria de las isoyetas, permite estimar la velocidad de traslación del sistema, entre las 23:00 y las 5:00 UTC en unos 10 km/h. Para tener una mejor imagen de la exten-

sión y simultaneidad del sistema convectivo, se ha preparado la Figura 6, elaborada en función de las intensidades 5-minutales de lluvia de los pluviómetros S.A.I.H. situados en la falda de Montserrat. Piera es la estación situada más al Sur y también la más próxima a la riera de la Magarola, de ahí que el máximo sea anterior al de las otras estaciones, y más próximo en el tiempo a la hora en que testigos presenciales sitúan las máximas lluvias en Montserrat. Obsérvese la evolución paralela en todo momento de la intensidad de lluvia de las restantes estaciones, lo que indica que la lluvia debe proceder en todas ellas del mismo sistema convectivo.

Aunque en este artículo no se entrará en el análisis hidrológico del episodio, merece la pena destacar que las lluvias producidas en la cuenca del Francolí entre las 21:30 UTC del día 9 y las 3:00 UTC del día 10, produjeron un aumento de nivel a su paso por Tarragona de más de 2 m hacia las 12:00 UTC del día 10. En el caso del Llobregat, el incremento más elevado del que hay constancia (la estación de aforos de Martorell fue arrastrada por la avenida) se registró en Castellbell i el Vilar, hacia las 9:00 UTC del día 10, con unos 4,5 m y un caudal punta de unos 1100 m³/s. Cabe decir que los ascensos en los niveles de los ríos afectados fueron muy bruscos, con una respuesta que en el Francolí a su paso por Montblanc llegó a ser inferior a 1 hora.

ANÁLISIS METEOROLÓGICO

El análisis meteorológico se centrará en los principales aspectos sinópticos y termodinámicos.

Evolución termodinámica

La estructura termodinámica de la atmósfera se ha analizado utilizando básicamente los radiosondeos de Palma de Mallorca, Madrid, Gibraltar y Murcia. También se ha consultado el radiosondeo de Barcelona, que viene lanzándose con regularidad desde hace 2 años. Dado que el episodio tuvo lugar dentro de la zona cálida y con una fuerte componente del Sur, se considera que el radiosondeo de Palma es un útil identificativo de la masa de aire que en bajos niveles afectaría después a Cataluña (Llasat, 1987; Llasat, 1990), teniendo presente el posible incremento de su humedad a su paso por el Mar Mediterráneo (o el contrario en el caso de que se produjera precipitación sobre éste). Aún así, y teniendo en cuenta la importancia del avance del frente frío por el oeste, se ha considerado oportuno analizar el radiosondeo de Madrid. Finalmente, los

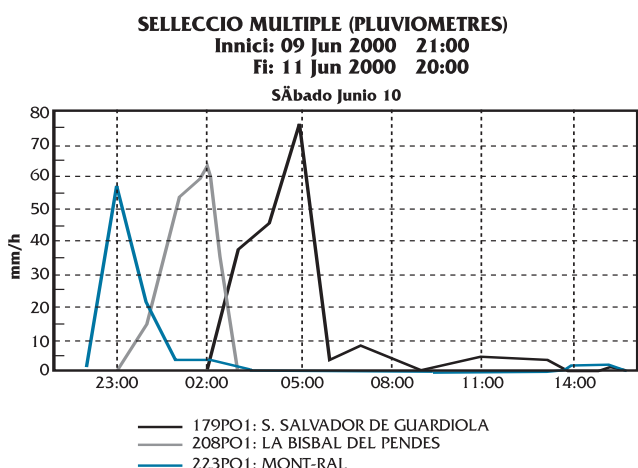


Figura 6. Presentación de los datos pluviométricos del S.A.I.H. que muestra el movimiento de traslación de los picos de intensidad en las cuencas más afectadas: Francolí (Mont-Ral), Riera de la Bisbal (La Bisbal del Penedés) y Llobregat (Sant Salvador de Guardiola). La hora está indicada en el UTC.

radiosondeos de Gibraltar y Murcia se han incluido para comprender mejor la evolución y focalización de las lluvias.

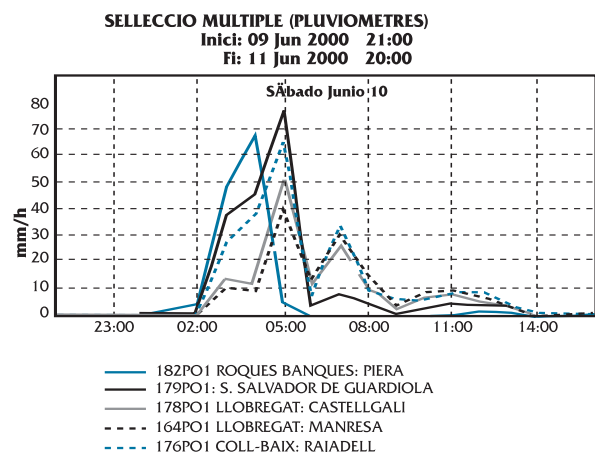


Figura 7. Presentación de los datos pluviométricos del S.A.I.H. que muestra la evolución de la intensidad media horaria en los pluviómetros más próximos a Montserrat. Obsérvese el máximo próximo a 80 mm. en 1 hora. La hora está indicada en UTC.

El día 9 a las 12:00 UTC se observa una importante inestabilidad potencial en Palma de Mallorca, tal como muestran la mayor parte de índices de inestabilidad (Llasat et al, 1996; Tudurí y Ramis, 1997) y los valores de la energía convectiva disponible (CAPE), que alcanzan los 1866 J/kg. Hay que pensar que valores de la CAPE por encima de 1500 J/kg apuntan a un riesgo notable de que se produzca una situación de tiempo severo o de fuertes lluvias. Asimismo se observa una elevada concentración de vapor de agua en los niveles bajos, equivalente a una masa de agua precipitable de 13 kg/m², entre superficie y 850 hPa (unos 1500 m), consecuencia de la situación anticiclónica registrada los días previos, acompañada de un fuerte calentamiento y evaporación en bajos niveles. El día 10 a las 00:00 UTC (Figura 7b) el radiosondeo de Palma de Mallorca muestra una mayor probabilidad de desarrollo de la convección así como de tormentas, en tanto ha aumentado el contenido en humedad registrándose una masa de agua precipitable en los primeros 1500 m, de unos 17 kg/m² y una CAPE de 1637 J/kg. A las 12:00 UTC del mismo día la inestabilidad ha disminuído considerablemente, así como la masa de agua precipitable. Merece la pena destacar la capa de aire seco que se registra durante el día 9 y la madrugada del 10, entre 850 y 600 hPa, característica de situaciones de tiempo severo asociadas a fuertes vientos (Doswell et al., 1996), fenómeno que también se registró en las zonas costeras de Cataluña y que corrobora el radiosondeo de

Barcelona. Doce horas después la CAPE ya había descendido a 440 J/Kg, lo que ciertamente coincide con la finalización del episodio más lluvioso. El hecho de que las lluvias más intensas se produjeran en zonas montañosas muestra el importante papel que jugó el relieve en el desarrollo de la convección, con ascensos forzados comprendidos entre los 500 y los 1500 m (Riosalido, 1998).

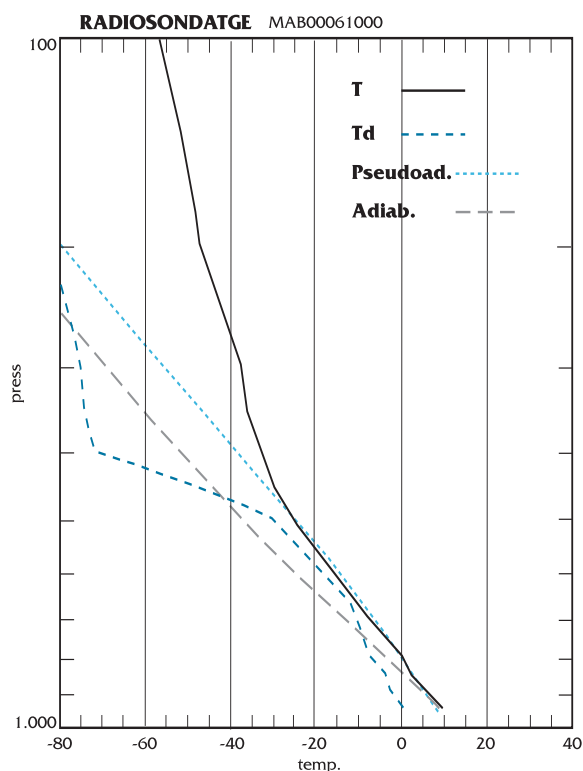


Figura 8a. Radiosondeos de Madrid.

El radiosondeo de Madrid (Figura 8a) muestra una cierta inestabilidad entre el día 9 a las 00:00 UTC y el día 10 a las 00:00 UTC, a consecuencia, principalmente, de la presencia de aire muy frío en niveles medios, y que estaría relacionada con las precipitaciones y nevadas que se registraron en el centro y norte de la Península. La CAPE alcanza el día 12 al mediodía un valor máximo de 202 J/kg, en tanto que a la misma hora el valor de la masa de agua precipitable entre superficie y 850 hPa es de unos 12 kg/m², alto con respecto al valor medio en esta región. Murcia (Figura 8d) presenta una evolución semejante a la de Palma de Mallorca pero mostrando mayor estabilidad, tanto por lo que respecta a los índices, como a la humedad y la CAPE. El radiosondeo de Gibraltar (Figura 8c) muestra una situación mucho más estable, y tan sólo merece la pena destacar los elevados valores de la masa de agua precipitable que se registraron durante el día 9, con un desfase con respecto a los de Palma de

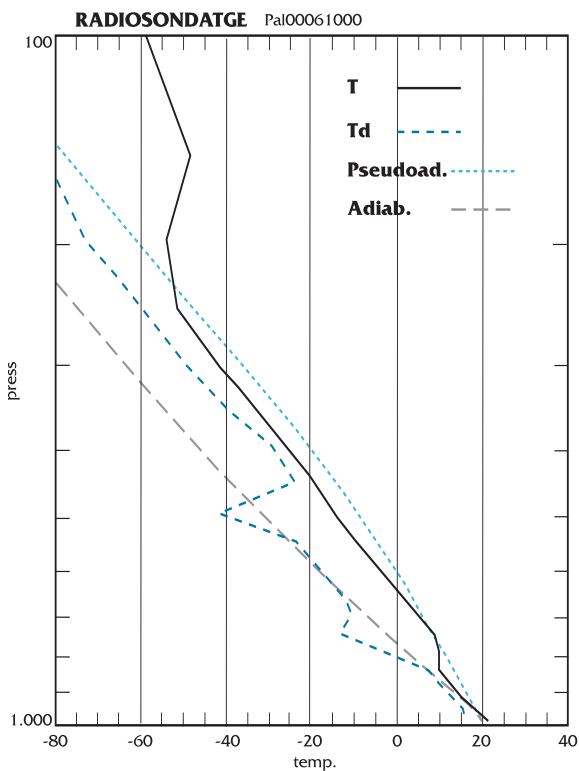


Figura 8b. Radiosondeos de Palma de Mallorca.

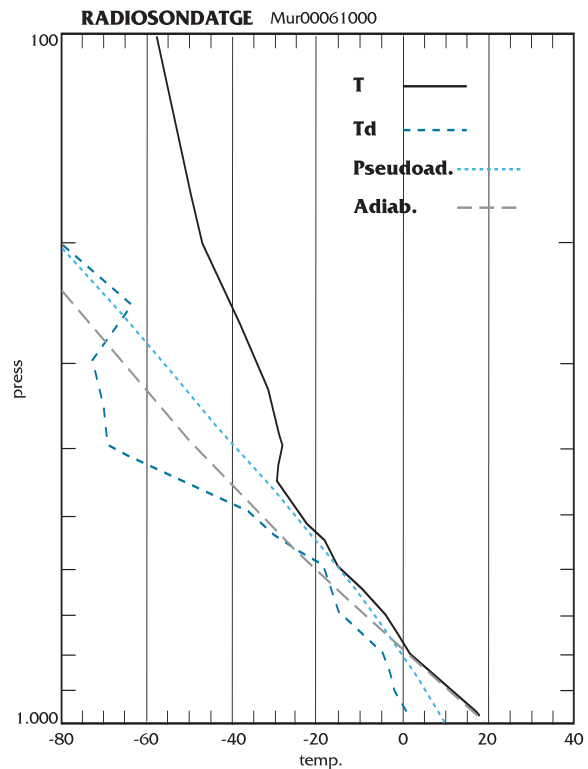


Figura 8d. Radiosondeos de Murcia.

Mallorca de unas 24 horas y que alimentaron de aire húmedo la advección que se produjo en la zona pre-frontal.

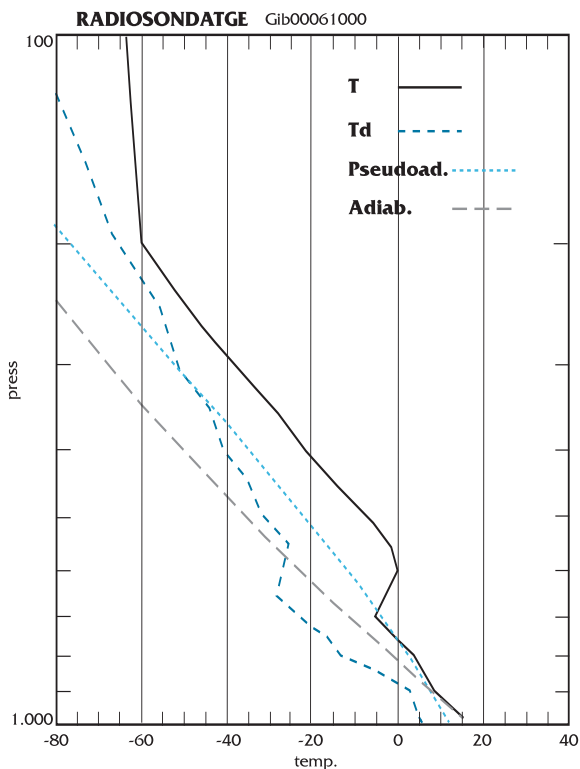


Figura 8c. Radiosondeos de Gibraltar.

El día 9 a las 12:00 UTC el viento en Barcelona era del SE en niveles bajos y del SSW en altura. A las 00:00 del día 10 ya se había producido un viraje hacia el E a todos los niveles, con una variación gradual entre un E en superficie y un S a 600 hPa. Este viraje unido a las elevadas velocidades (más de 30 kt por encima de 950 hPa) produciría una marcada cizalladura, fenómeno favorable para la producción de tormentas multicelulares (Riosalido, 1998). Doce horas después predominaban los vientos del este a todos los niveles, más flojos, marcando una clara situación de Levante que se prolongaría a lo largo de los días siguientes.

Así pues, la situación termodinámica vertical manifiesta una estructura y evolución similar a la que se registró durante episodios anteriores de inundaciones en Cataluña, principalmente los de noviembre de 1982 y septiembre de 1962 (Llasat, 1997, 1991). La comparación de la evolución del episodio utilizando los radiosondeos de Barcelona y de Palma de Mallorca, corrobora la hipótesis de que el radiosondeo de Palma puede ser considerado un buen representante de la masa de aire que llega a Cataluña, en los casos asociados a inundaciones catastróficas, pudiendo utilizarse como un buen predictor en el ámbito del “nowcasting” o predicción a corto plazo.

Evolución sinóptica

La situación sinóptica muestra el día 9 la entrada por el W de la Península Ibérica, de un frente frío asociado a una baja situada al norte de las Islas Británicas, en tanto que Cataluña se encuentra bajo un régimen anticiclónico que afecta a la Europa Central y Oriental, así como a gran parte del Mediterráneo. En altura se detecta la presencia de una vaguada fría (Figura 9a), cuyo eje se sitúa hacia las 12:00 UTC sobre Portugal y que favorece a 850 hPa (Figura 9b) la presencia de vientos de componente W sobre el sector Occidental de la Península Ibérica, con advección de aire frío, y de componente S sobre el sector Oriental, con una marcada advección de aire cálido. Cabe destacar a 850 hPa (Figura 9b) la existencia de una notable confluencia del viento del SE y SW sobre Cataluña. Así pues se tienen los factores básicos previos a las situaciones de lluvias fuertes en Cataluña: situación anticiclónica sobre Cataluña y el Mediterráneo con alimentación de aire muy cálido y húmedo que permitirá la generación de una fuerte inestabilidad que permanece latente hasta que algún factor, ya sea orográfico, ya sea dinámico, dispare la convección.

El día 10 a las 00:00 UTC, el frente frío se sitúa hacia el meridiano de latitud 0°, quedando pues al W de Cataluña. A lo largo de las últimas horas se ha ido formando una depresión en superficie, centrada en las Islas Baleares, que a esta hora alcanza valores inferiores a 1008 hPa. A lo largo de las últimas horas el flujo del W que dominaba sobre la mayor parte de la Península a 850 hPa ha ido virando para alcanzar a esta hora, una componente marcadamente del norte (Figura 10b), que ha adveccionado aire muy frío que se extiende hasta la troposfera alta (Figura 10a) y que será el responsable de las nevadas producidas este día. En este caso todo parece apuntar hacia la presencia de una gota de aire frío sobre la costa cantábrica en el sentido más estricto de su definición: mínimo de presión y temperatura a 500 hPa que no se detecta en superficie (Llasat, 1991). Asimismo puede desempeñar un papel activo en la producción de lluvias y nevadas sobre parte de la Península, al extenderse hasta 850 hPa. Sin embargo, no es la única responsable de las violentas lluvias que se registraron en Cataluña. En efecto, la situación sinóptica dominante en esta región, entre las 00:00 UTC y las 12:00 UTC, intervalo durante el que se registró la práctica totalidad de la lluvia, muestra la conjunción de los siguientes factores:

500 hPa (09/06/2000 00 UTC)

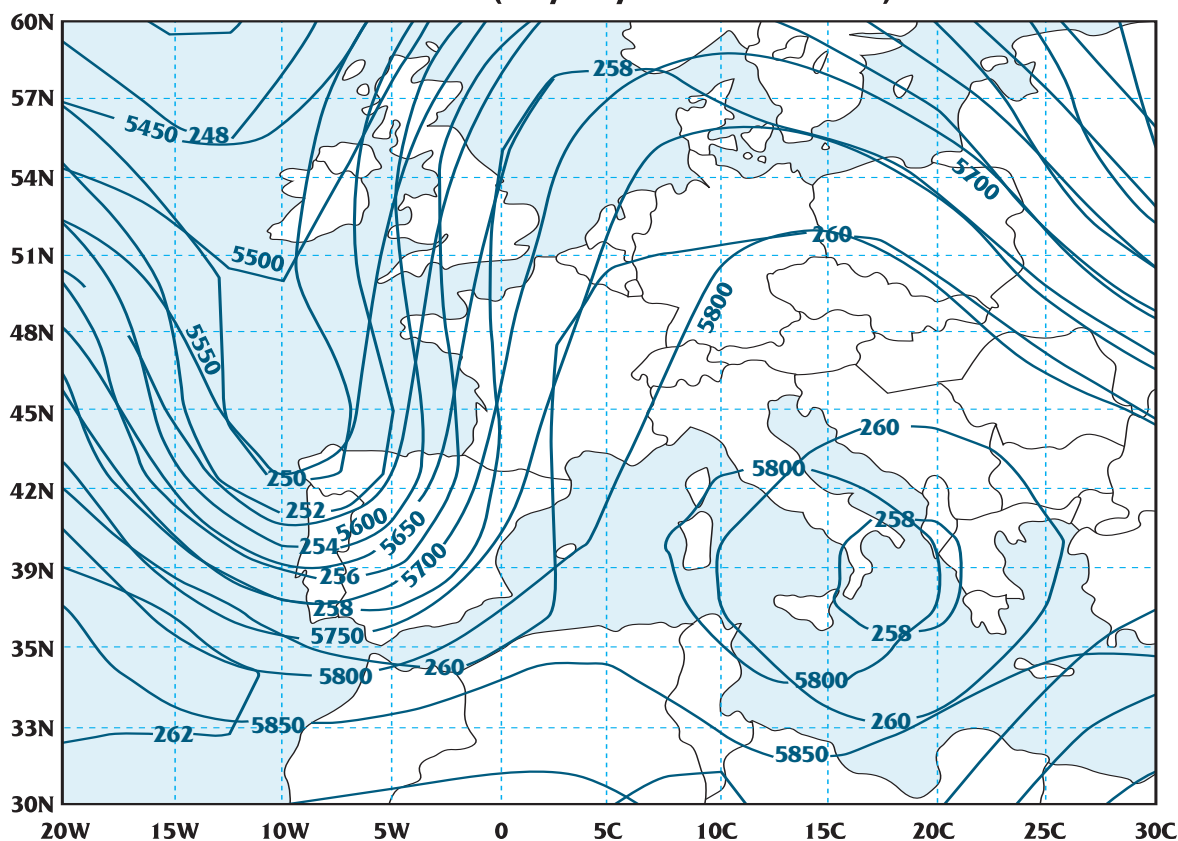


Figura 9a. Situación sinóptica del día 9 de junio del 2000 a las 00:00 UTC: 500 hPa

850 hPa (09/06/2000 00 UTC)

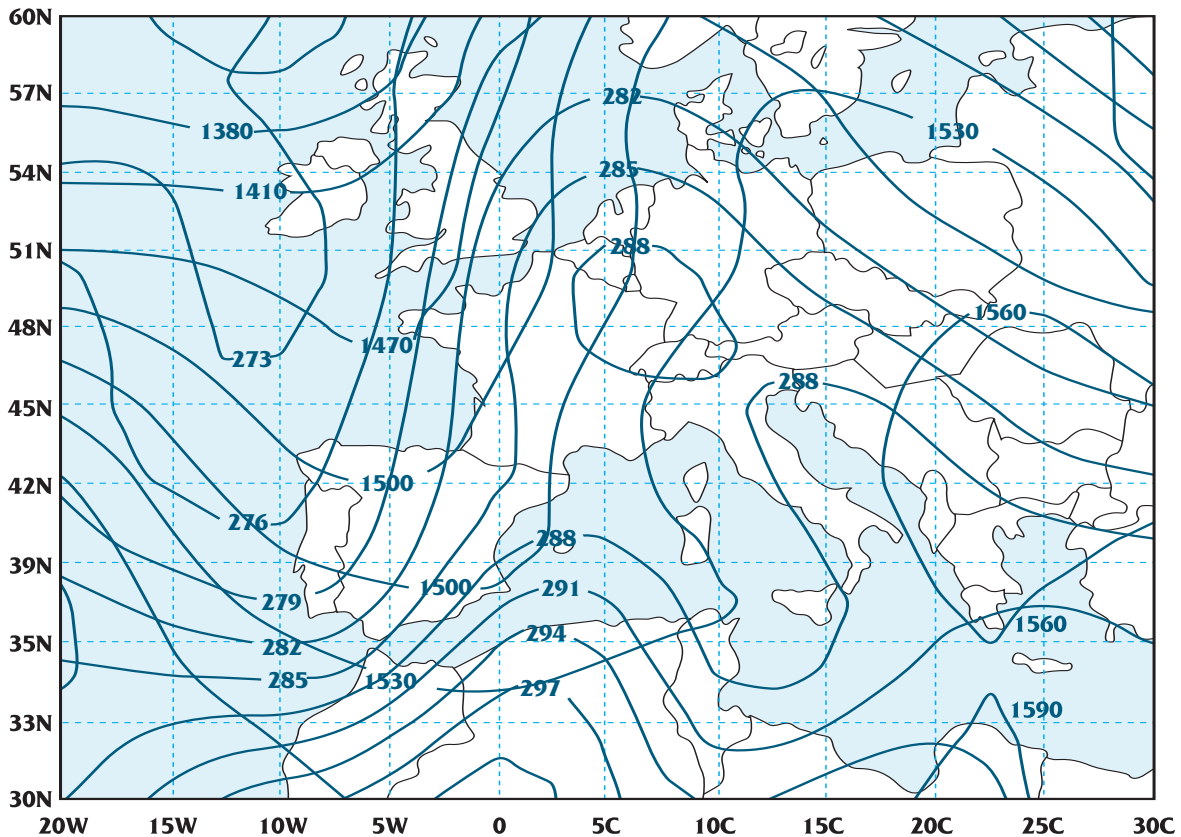


Figura 9b. Situación sinóptica del día 9 de junio del 2000 a las 00:00 UTC: 850 hPa

- Depresión mesoescalar (meso-) en superficie que se extiende desde Baleares hasta las C.I.C y que favorece la convergencia de vapor de agua en bajos niveles e interviene directamente en el disparo de la inestabilidad potencial acumulada previamente (la localización de los núcleos convectivos en la imagen de radar - Sempere Torres et al, 2000 - apunta hacia la existencia de una línea de convergencia que iría avanzando sobre Cataluña, en sentido SW-NE, con el avance lento de la depresión).

- Acoplamiento de la depresión fría en altura y la depresión en superficie favoreciendo la profundización de la misma. Atendiendo a las condiciones termodinámicas que muestran los radiosondeos, la masa potencialmente húmeda y cálida se encuentra concentrada entre superficie y 900 hPa, con valores de CAPE superiores a 1500 J/kg, lo que unido al aire frío en altura favorece un fuerte gradiente de temperatura potencial equivalente, o dicho de otro modo, la presencia de una gran inestabilidad en bajos niveles.

- Fuerte componente orográfica en la focalización y estacionariedad de la convección.

La figura 11 muestra la imagen NOAA sobre el este peninsular, tomada a las 5:10 UTC en el canal 3 (3,7 m). Obsérvese la nitidez del borde inferior nuboso debido a la entrada de aire seco en niveles altos y medios de la atmósfera. El rápido avance del frente frío a lo largo de la mañana del día 10 provocará la finalización del episodio.

Ciertamente muchos de los rasgos sinópticos concuerdan con los que se dieron previamente y durante las graves inundaciones del 25 de septiembre de 1962 (Llasat, 1987). Durante aquel episodio, y además de la situación previa que ya se ha comentado antes común a este tipo de situaciones, cabe destacar la focalización de la inestabilidad en niveles muy bajos, el avance de un frente frío sobre la Península produciendo lluvias y granizo en muchos puntos de la misma (dada la época del año en ese caso no podía tratarse de nevadas), el avance de las lluvias en Cataluña penetrando por Tarragona y trasladándose luego hacia el noreste y la nocturnidad del episodio. En ese caso los máximos se registraron también sobre la cuenca del Llobregat (y del Besós), en el Vallés, a pocos kilómetros de los que se han registrado este año afectando principalmente al maci-

500 hPa (10/06/2000 00 UTC)

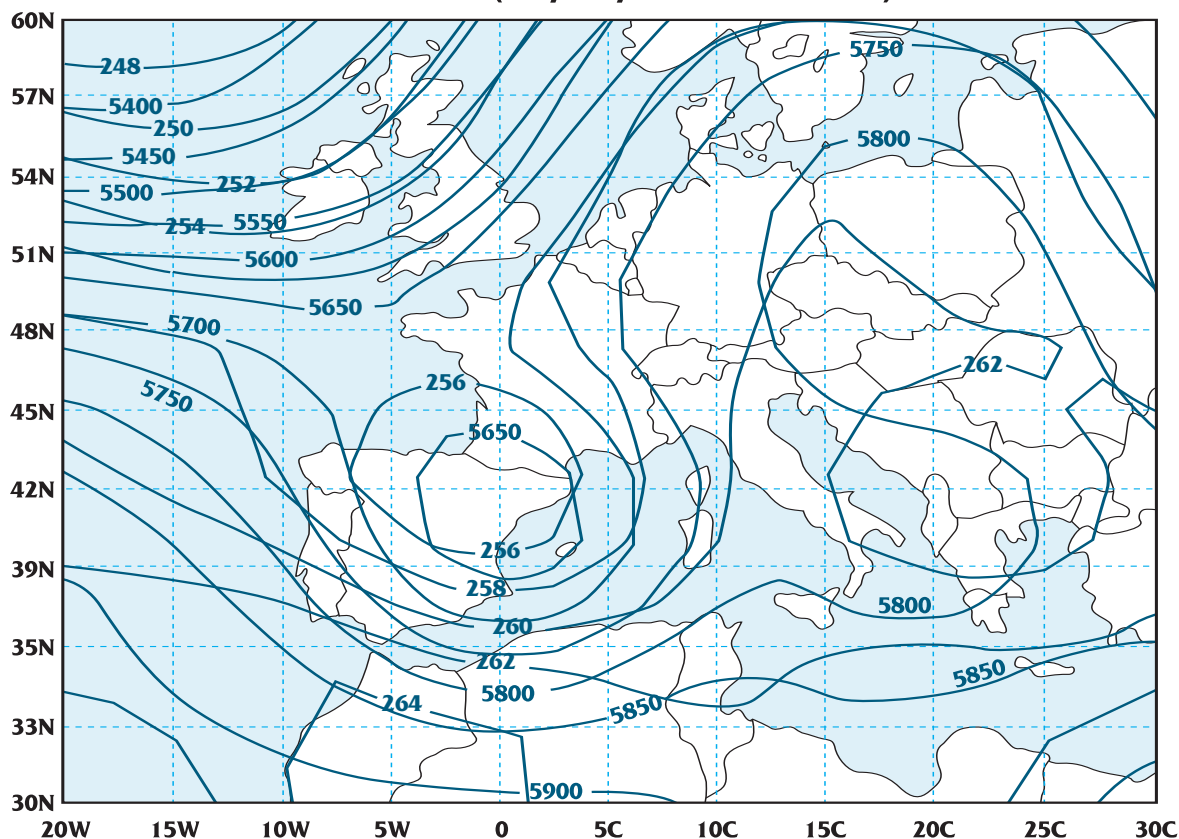


Figura 10a. Situación sinóptica del día 10 de junio del 2000 a las 00:00 UTC: 500 hPa

zo de Sant Llorenç de Munt y a las rieras que en él se originan, tal como la riera de las Arenas que fue una de las que produjo gran número de víctimas.

EL EPISODIO DE INUNDACIONES DEL 10 DE JUNIO DEL 2000 BAJO LA PERSPECTIVA DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS PREVIAS

Como ya se ha dicho a lo largo del presente artículo, en los últimos 50 años se han superado los

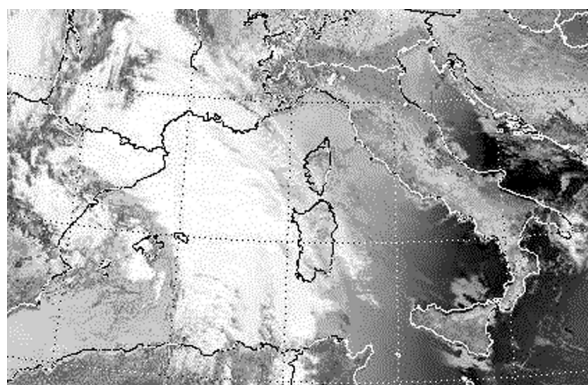


Figura 11. Imagen NOAA del día 10 de junio a las 5:10 UTC en el canal 3.

250 mm en 24 horas en diversos episodios que han afectado la cuenca del Llobregat, tales como el del 25 de septiembre de 1962, 20 a 23 de septiembre de 1971 o 6 a 9 de noviembre de 1982, tal como se explicita en la tabla 1. A éstas hay que añadir las inundaciones registradas entre el 28 de septiembre y el 5 de octubre de 1987 que también afectaron a esta cuenca, totalizándose a lo largo de todo el episodio 431 mm en el Prat de Llobregat, así como las del 12 de noviembre de 1988, durante las que se registraron 225 mm en 24 horas, en Corbera de Llobregat, produciendo cada una de ellas más de 1000 millones de pérdidas y más de una decena de víctimas mortales.

Con respecto a episodios de avenidas registrados en primavera y según la Junta de Aguas (1994) consta que el caudal punta del Llobregat a su paso por Martorell fue el día 17 de abril de 1916, de 1300 m³/s, y el día 28 de abril de 1942, de 1500 m³/s.

Los datos anteriores permiten contextualizar mejor el presente episodio y apuntan hacia una cierta frecuencia de este tipo de episodios, eso sí, principalmente en otoño. Dado que sin embargo se

850 hPa (10/06/2000 00 UTC)

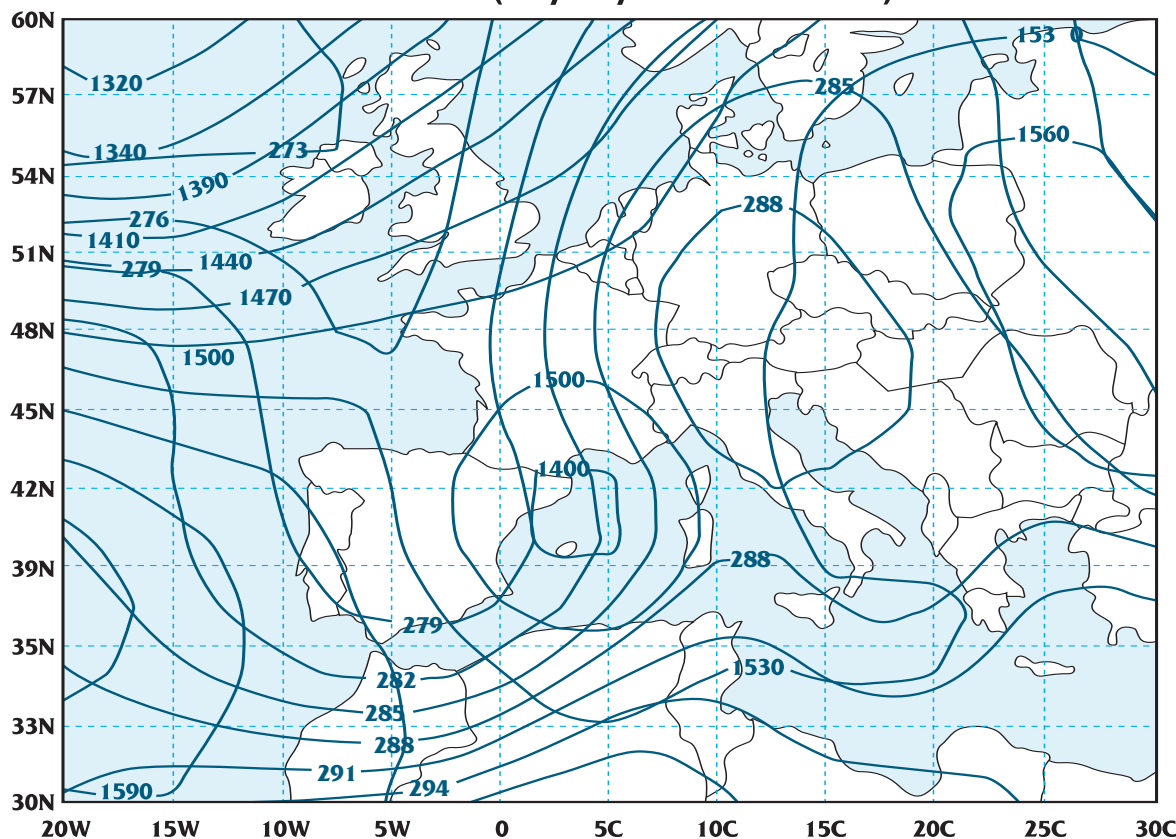


Figura 10b. Situación sinóptica del día 10 de junio del 2000 a las 00:00 UTC: 850 hPa

trata de episodios producidos en el siglo XX y a fin de poder dirimir si se trata de una frecuencia excepcional o no, se ha considerado oportuno introducir la información documental de que se dispone para inundaciones registradas con anterioridad a este siglo.

Tal como se explicó en Llasat et al (1999), la experiencia desarrollada tras el análisis de las creci-

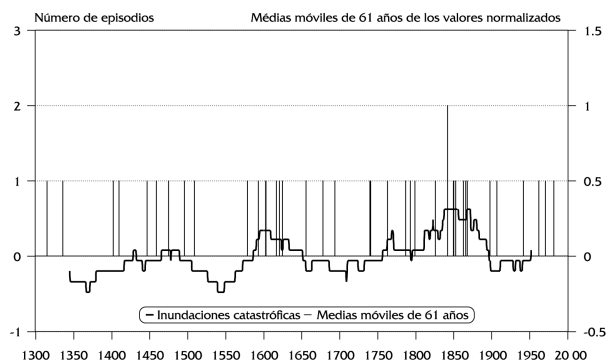


Figura 12. Inundaciones catastróficas en el Delta del río Llobregat, 1315-1982. Valores absolutos y medias móviles de 61 años de los valores normalizados (1=inundación extraordinaria; 2=inundación catastrófica):

das registradas en Cataluña desde el siglo XV, ha permitido diferenciar tres tipos de crecidas según su impacto (Barriados y Pomés, 1993), cuyas líneas básicas se definen a continuación:

a) *crecidas simples*: episodios de precipitación que ocasionan incrementos en el caudal de los cursos fluviales o riadas, pero sin llegar a ocasionar desbordamientos. Pueden ocasionar daños y pérdidas humanas si momentáneamente se desarrollan actividades dentro o cerca del cauce en el momento de la crecida, independientemente de la intensidad de ésta.

b) *inundaciones extraordinarias*: episodios de precipitación que ocasionan desbordamientos con una intensidad o duración que no producen daños en la localidad. Puede ocasionar incomodidades o molestias en la vida cotidiana de la población.

c) *inundaciones catastróficas*: episodios de precipitación que ocasionan desbordamientos con daños graves o destrucción de infraestructuras (puentes, molinos, murallas, caminos), edificios y cultivos.

Atendiendo a esta clasificación es obvio que el episodio del 10 de junio del 2000 quedaría enmarcado en las llamadas inundaciones catastróficas. Sin embargo, tal como se ha ido comentando a lo largo del artículo, otros episodios de semejante magnitud se han registrado a lo largo del tiempo. En el caso concreto del monasterio de Montserrat, sus registros documentales habrían podido permitir la reconstrucción de este tipo de episodios, pero lamentablemente durante la Guerra de la Independencia su archivo histórico desapareció con el asedio de las tropas francesas. Por este motivo, no es posible disponer de información paleoambiental sobre el macizo de Montserrat con anterioridad al periodo 1808-1810. Diferentes autores que han realizado recopilaciones de episodios meteorológicos extremos en época histórica tampoco manifiestan algún testimonio sobre inundaciones catastróficas en el Monasterio (Rico y Sinobas, 1851; Bentabol, 1900; Fontana Tarrats, 1976a; Fontana Tarrats, 1976b).

Por el contrario, sí que es posible reconstruir las inundaciones catastróficas que se han registrado en la parte baja del Llobregat (El Prat de Llobregat) desde 1315 hasta 1971. La paciente investigación historiográfica en diferentes fuentes documentales de ámbito local, permite disponer de una serie de eventos catastróficos para el tramo final del Llobregat con unas garantías óptimas de continuidad y homogeneidad de la información disponible (Codina Vila, 1966, 1971). Así se puede saber que dentro de ese período se registraron 38 inundaciones catastróficas, a las que habría que añadir las registradas en 1982, 1983, 1987 y 1988. Aunque la mayor parte de ellas se registraron durante el otoño, es posible encontrar algunos casos producidos en primavera, tales como las inundaciones del 2 de mayo de 1603, el 9 de junio de 1793 o entre el 24 y el 26 de mayo de 1853. En la Figura 11 se muestra la evolución climática de las inundaciones catastróficas en el tramo final del río Llobregat.

La frecuencia de las inundaciones del Llobregat en su tramo final, a pesar de la suavización aplicada a los valores estandarizados, muestra unos comportamientos oscilantes no regulares. En concreto, puede observarse una leve oscilación de incremento en la frecuencia de inundaciones hacia mediados del siglo XV. Otra oscilación es mucho más evidente en los dos últimos decenios del siglo XVI y los dos primeros decenios del siglo XVII. La segunda mitad del siglo XVIII presenta otro incremento moderado y, finalmente, a mediados del siglo XIX se produce una segunda prolongada e in-

tensa oscilación. Estas tres últimas oscilaciones se enmarcan dentro del episodio climático conocido como miniglaciación (Little Ice Age) en su periodo más intenso y generalizado, entre los siglos XVI y XIX, mientras que los primeros indicios de la misma se detectan en la Europa Septentrional hacia principios del siglo XIV. Sólo cabe apuntar algunas coincidencias entre estas anomalías climáticas y la ocurrencia de las inundaciones catastróficas de primavera: las tres oscilaciones importantes detectadas coinciden con importantes incrementos en la longitud de los glaciares en el glaciar Grindelwald (Pfister, 1988), lo que indica que se trata de un comportamiento climático general. Pero la anomalía climática contiene también cada uno de los 3 episodios de inundación catastrófica de primavera conocidos antes del siglo XX: mayo de 1603, junio de 1793 y mayo de 1853. En el caso de las fuertes lluvias registradas en junio del 2000 y analizadas en este artículo, no es posible concluir si forman parte de una anomalía climática generalizada, de una tendencia climática o, simplemente, de una anomalía o episodio excepcional puntual.

CONCLUSIONES

Durante las primeras horas del día 10 de junio del 2000 se registraron en Cataluña unas fuertes lluvias e inundaciones súbitas que produjeron daños valorados en más de 11.000 millones de pesetas y 5 víctimas mortales, y que afectaron principalmente a las comarcas del Bages, Anoia, el Baix Llobregat y el Baix Penedès. La lluvia se caracterizó por su alta intensidad, superando en algunos puntos los 100 mm en 1 hora, siendo la máxima cantidad acumulada de 224 mm en menos de 24 horas, según fuentes oficiales. Sin embargo, cantidades como ésta o superiores se han registrado en más de una ocasión en el último siglo en algún punto de Cataluña tal como se ha demostrado en el apartado anterior, y probablemente también, pese a no disponerse de datos cuantitativos de la lluvia diaria del episodio en cuestión, en siglos anteriores, como parece deducirse de la presencia de inundaciones catastróficas súbitas. El hecho de que el episodio se produjese en primavera es más infrecuente, ya que normalmente este tipo de episodios se producen en Cataluña a finales de verano y, principalmente, en otoño. Los datos históricos muestran que en los siglos XVII, XVIII y XIX, también se registró como mínimo una inundación catastrófica en esta estación del año. Asimismo el aumento de caudal que en este caso registró el río Llobregat en su parte baja, no fue de los más elevados del último si-

LAS INUNDACIONES DEL 10 DE JUNIO DEL 2000 EN CATALUÑA

glo. Si que lo pudo ser, sin embargo, aunque no hay constancia de ello por no existir estaciones de aforo, en algunas de las rieras que experimentaron avenidas y que normalmente se hallan secas.

En cuanto a los aspectos meteorológicos cabe destacar la estacionariedad del sistema convectivo sobre el macizo de Montserrat durante unas 3 horas, lo que condujo a la acumulación de una gran cantidad de precipitación en breve tiempo, tal como muestran los datos S.A.I.H. de las C.I.C.. El susodicho sistema, que presentaba una estructura esencialmente lineal (línea de turbonada) con formación de diversos núcleos convectivos en su seno, se detectó por primera vez en el SW de Cataluña el día 9 hacia las 11 de la noche, registrando un lento movimiento de traslación en sentido NE y hallándose 24 horas después sobre Francia. Factores favorables para su desarrollo fueron, además de la propia

orografía, la advección de aire muy cálido y húmedo en bajos niveles, con presencia de una baja en superficie frente a la costa catalana, lo que favorecía el flujo del SE y la convergencia, en tanto que en altura se detectaba un embolsamiento de aire frío (factor que no siempre se registra en episodios de inundaciones en Cataluña). El análisis de la estructura termodinámica vertical de la atmósfera apunta a una focalización de la inestabilidad potencial hacia el sector noroeste del Mediterráneo Occidental. Los radiosondeos de Palma de Mallorca y Barcelona ya indicaban unas 12 horas antes del inicio de las fuertes lluvias en Cataluña, la posibilidad de tiempo severo (aunque no la estima cuantitativa del mismo). Vale la pena destacar que este es el primer caso de inundaciones en Cataluña en que se ha dispuesto tanto del radiosondeo de Palma de Mallorca como del de Barcelona; el comportamiento esencialmente paralelo de ambos corrobora la hipó-

Fecha	P máx 24 h	Estación	P máx total	Estación	I máx mm/h	Ríos desbordados	Caudal punta	Zonas afectadas
25 de sep. de 1962	250 mm	-Martorelles	250 mm	Martorelles	110 (1 h)	-Besós (Barcelona)	1870 m ₃ /s	Barcelona
				Sabadell		-Llobregat (Martorell)	1550 m ₃ /s	

Daños: 441 muertos, 374 desaparecidos, 213 heridos. Destrucción total de numerosas viviendas, puentes y otras infraestructuras hidráulicas así como parte de la red viaria y ferroviaria e industrias. Cortes de los suministros básicos de agua y electricidad. Pérdida de cosechas. Pérdidas evaluadas en 2650 millones de pesetas.

Fecha	P máx 24 h	Estación	P máx total	Estación	I máx mm/h	Ríos desbordados	Caudal punta	Zonas afectadas
20 al 23 de sep. de 1971	308 mm	-Esparraguera	400 mm	Sant Boi de Llobregat	82 (4 h)	-Llobregat (Martorell)	3080 m ₃ /s	Barcelona Girona
	275 mm	-Sta M ^a de Palautordera		Figueres		-Fluvià (Esponella)	1630 m ₃ /s	
	285 mm	-Cadaqués				-Tordera		
	158 mm	-Cardedeu				-Güell		

Daños: 9 muertos. Destrucción total de algunas viviendas, puentes e infraestructuras hidráulicas. Cortes en la red viaria y ferroviaria, así como en los suministros básicos de agua y electricidad. Graves daños en 450 industrias. Pérdida total de las cosechas del Delta de Llobregat. Pérdidas evaluadas en 7000 millones de pesetas.

Fecha	P máx 24 h	Estación	P máx total	Estación	I máx mm/h	Ríos desbordados	Caudal punta	Zonas afectadas
6 a 9 de nov. de 1982	341 mm 171 mm	-La Molina -Susqueda	556 mm	La Molina	17 (24 h)	-Ebro (Tortosa)	2000 m ₃ /s	Catalunya Aragón Andorra SE Francia
				La Molina		-Segre (Lleida)	3200 m ₃ /s	
						-Nog. Pall. (Camarasa)	1300 m ₃ /s	
						-Llobregat (Martorell)	1600 m ₃ /s	
						-Cardener (Manresa)	600 m ₃ /s	
						-Ter (Sau)	1300 m ₃ /s	

Daños: 14 muertos en Catalunya. Destrucción total de viviendas y de algunas poblaciones; destrucción de puentes y de numerosos sectores de vías de comunicación, así como de industrias. Cortes en los suministros básicos. Deslizamientos de tierra, coladas de barro (Pont de Bar destruido por una colada). Terremoto en Oliana (II-III escala Mercalli modificada). Simultáneamente hubo fuertes vientos. 45000 millones de pérdidas en Catalunya

Tabla 1. Principales características de las inundaciones catastróficas que han afectado la cuenca del Llobregat entre 1960 y 1982.

tesis que hasta ahora se había mantenido y aceptado, de considerar suficientemente representativo el radiosondeo de Palma de Mallorca para el análisis termodinámico de este tipo de situaciones, tal como se había ya hecho en los casos de 1962, 1971, 1977, 1982, 1983, 1986, 1987 (Llasat, 1987, 1991; Ramis et al, 1994; Llasat et al, 1996).

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a la Agencia Catalana de l'Aigua del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, y en especial al Sr. D. Enrique Velasco, por habernos facilitado el acceso a los datos del S.A.I.H. de las Cuencas Internas de Cataluña, así como al Servei de Meteorologia de Catalunya y al Instituto Nacional de Meteorología, por la información meteorológica facilitada.

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto europeo Systematic, Palaeoflood and Historical data for the improvement of flood Risk Estimation (SPHERE), EVG1-CT-1999-00010, así como a la del proyecto Interreg II C: Gestion et prevision d'inondations, a través del Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale (CIMA) de la Universidad de Génova.

REFERENCIAS

- Barriendos, M. y J. Pomés, (1993) L'aigua a Mataró. Inundacions i recursos hídrics (Segles XVIII-XX), Mataró, Caixa d'Estalvis Laietana, 278 pp.
- Bentabol, H. (1990) Las aguas de España y Portugal, Madrid, Vda. e Hijos de M. Tello.
- Codina Vila, J. (1966) Delta del Llobregat. La gent del fang. El Prat: 965-1965, Granollers, Montblanc.
- Codina Vila, J. (1971) Inundacions al Delta del Llobregat, R. Dalmau, Barcelona, Col. Episodis de la Història", nos. 147-148.
- Doswell, Ch. A. III, Brooks, H.E., Maddox, R.A, (1996). Flash flood forecasting: an ingredients based methodology. Wea. Forecasting, 11, 560-581.
- Fontana Tarrats, J.M. (1976 a) Historia del clima en Cataluña. Noticias antiguas, medievales y en especial de los siglos XV, XVI y XVII, Madrid, 248 pp. Obra inédita, mecanografiada.
- Fontana Tarrats, J.M. (1976 b) Historia del clima en el litoral mediterráneo: Reino de Valencia más Provincia de Murcia, Javea., Obra inédita, mecanografiada. 206 pp.
- Junta d'Aigües (1994): Recomanacions sobre mètodes d'estimació d'avingudes màximes, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Llasat, M.C., (1987) Episodios de lluvias copiosas en Cataluña: genesis, evolución y factores coadyuvantes. Publicacions de la Universitat de Barcelona, 543 pp. , 84-7528-235-0.
- Llasat, M.C., (1990) Influencia de la orografía y de la inestabilidad convectiva en la distribución espacial de lluvias extremas en Cataluña. Acta Geológica Hispánica, 25, nº3, 197-208.
- Llasat, M.C., (1991) Gota fría. Ed. Marcombo, (colec. Boixareu Universitaria), nº6, 165 pp, 84-267-0829-3.
- Llasat, M.C., Ramis, C. y Barrantes, J., (1996) The meteorology of high-intensity rainfall events over the West Mediterranean Region. Remote Sensing Reviews, 14, 51-90.
- Llasat, M.C., Puigcerver, M., (1997) Total rainfall and convective rainfall in Catalonia, Spain. International Journal of Climatology, 17, 1-13.
- Llasat, M.C., (1999) Una clasificación de los episodios pluviométricos para utilización en hidrología. Aplicación a la intensidad de lluvia de Barcelona. Revista de Ingeniería Civil, nº 112, 35-46.
- Llasat, M.C., M.Barriendos, R.Rodríguez y J. Martín-Vide, (1999) Evolución de las inundaciones en Cataluña en los últimos quinientos años. Ingeniería del Agua, 6, nº4, 353-362.
- Pfister, C., (1988) Klimageschichte der Schweiz. 1525-1860, Bern, Paul Haupt, 184pp.
- Ramis, C., Llasat, M.C., Genovés, A. y Jansà, A., (1994) The October-87 floods in Catalonia. synoptic and mesoscale mechanisms. Meteorological Applications, 1, 337-350.
- Rico y Sinobas, M., (1851) Memoria sobre las causas meteorológico-físicas que producen las constantes sequías de Murcia y Almería, señalando los medios de atenuar sus efectos, D.S. Compagni, Madrid.
- Riosalido, R., (1998). Estudio meteorológico de la situación del 7 de Agosto de 1996 (Biescas). Nota Técnica STAP nº26, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del INM, 90 pp.
- Sempere Torres, D., Corral, C., Berenguer, M., Sánchez-Diezma, R., Dolz, J. (2000). El episodio pluviométrico del 10 de junio en Cataluña. Un primer estudio hidrometeorológico. Ingeniería del Agua, 7, 2, 105-115.
- Tudurí, E., Ramis, C., (1997). The environments of significant convective events in the Western Mediterranean. American Meteorological Society, 12, 294-306.