



LA AVENIDA DEL BARRANCO DE ARÁS Y LOS RIESGOS HIDROLÓGICOS EN EL PIRINEO CENTRAL ESPAÑOL

J. M. García-Ruiz (1), S. White (2), C. Martí-Bono (1), B. Valero
(1), M.P. Errea (1) y A. Gómez Villar (3)

(1) Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Campus de Aula Dei, Zaragoza

(2) Institute of Water Resources, Cranfield University, Silsoe

(3) Depto de Geografía, Universidad de León.

Resumen. Se estudian las características de la avenida catastrófica ocurrida en el barranco de Arás en agosto de 1996. La precipitación total estimada en el sector de máxima intensidad alcanzó valores superiores a 200 mm en una hora, con rápida disminución hacia los márgenes de la tormenta. Los cálculos sobre el caudal varían mucho de unos autores a otros, con valores próximos o superiores a $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante la punta de la avenida. Los materiales arrastrados, procedentes de la destrucción de casi 40 presas de retención de sedimentos, fueron al menos 68.000 m^3 . La gran carga sedimentaria fue responsable del cambio de trazado del cauce en el cono de deyección.

Palabras clave: Lluvia extrema, avenida, cono de deyección, presas de retención de sedimento, Pirineo Central.

Abstract. The characteristics of the August 1996 catastrophic flood in the Arás ravine are studied. Total precipitation was estimated in values higher than 200 mm in one hour, with fast diminution toward the borders of the rainstorm. The discharge has been calculated around $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ during the peakflow. The sediment load, mainly coming from the destruction of almost 40 check-dams, was at least 68.000 m^3 . The big sediment load was the responsible for changes in the channel of the alluvial fan.

Key words: Extreme rainfall, flood, alluvial fan, check-dams, Central Pyrenees.

Introducción

Los eventos pluviométricos e hidrológicos extremos presentan una frecuencia muy baja, pero sus efectos locales y regionales son de gran magnitud, con avenidas capaces de transformar la morfología del cauce (erosión lineal y lateral, reubicación de barras sedimentarias) y de destruir infraestructuras, con pérdida frecuente de vidas humanas y de propiedades. Su ocurrencia es posible en cualquier ambiente climático, aunque la zona mediterránea y, en particular, las áreas de montaña son especialmente sensibles a sus consecuencias.

Uno de los eventos más espectaculares de las últimas décadas tuvo lugar en la tarde del 7 de agosto de 1996 junto a la localidad de Biescas (Pirineo aragonés), sobre la cuenca del barranco de Arás, afluente del río Gallego por la margen derecha. Durante algo más de una hora se desencadenó una gran tormenta que dio lugar de forma inmediata a un fuerte aumento de caudal con el

consiguiente transporte masivo de sedimento. Esta avenida afectó directamente a un camping localizado en el cono de deyección del barranco, provocando la muerte de 87 personas y el corte momentáneo de la carretera general a Francia. En este trabajo se resumen las características más destacadas de la tormenta, de la avenida y del transporte de sedimento y se sitúa a esta catástrofe en un contexto temporal más amplio.

1. LA CUENCA DEL BARRANCO DE ARÁS

La cuenca de Arás ocupa 18.8 km², alcanzando su punto más alto en el pico Peña de Aso, a 2189 m s.n.m., y el más bajo, en el extremo distal de su cono de deyección, a 940 m. En ella se distinguen 3 subcuencas, la de Aso, con 10,4 km², la de Betés, con 4,2 km², y la de La Selva, con 3,1 km². Los tres barrancos se unen muy cerca de la localidad de Yosa (Fig. 1).

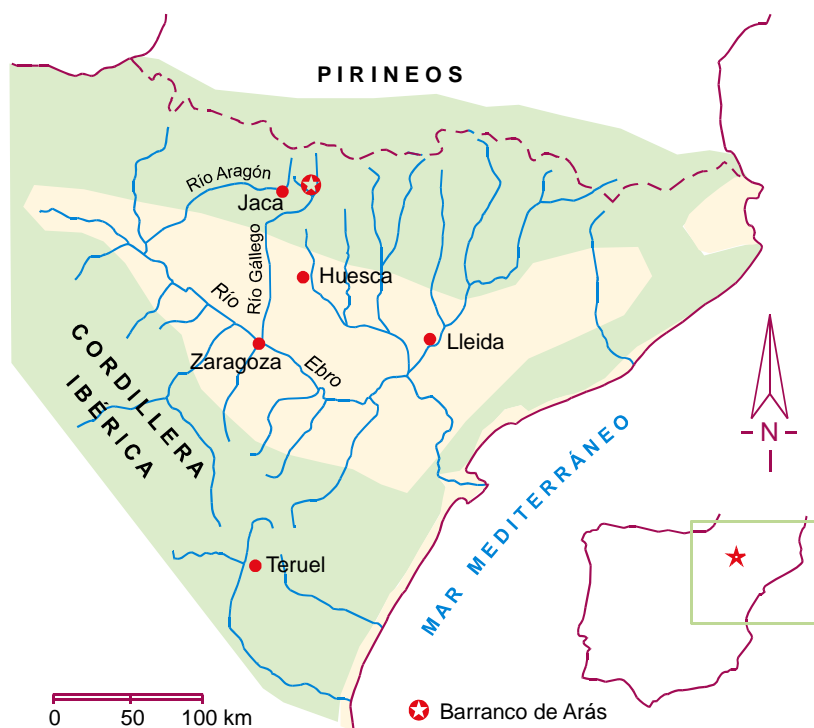


Fig.1. Área de estudio.

El sustrato rocoso está compuesto por estratos delgados de areniscas y margas alternantes en facies flysch, intensamente plegadas y fracturadas. El relieve se caracteriza por divisorias amplias y alomadas, restos de antiguos niveles de erosión (Serrano, 1998), y laderas regularizadas, con pendientes entre 40 y 60%.

Desde un punto de vista geomorfológico (Fig. 2) lo más destacado es la presencia de dos grandes cordones morrénicos laterales depositados por el glaciar del valle del Gállego durante la última glaciación. Estos cordones son responsables de la formación de lagos yuxtaglaciares en Aso,

Betés y Yosa, actualmente rellenos de sedimentos glaciolacustres y glaciotorrenciales (Martí Bono & García Ruiz, 1995; Serrano, 1998). La erosión glaciaria en el valle principal hizo que los tributarios, entre ellos el valle de Arás, hayan quedado colgados entre 300 y 400 m sobre el fondo por el que discurre el río Gállego. En consecuencia, el barranco de Arás debe salvar un desnivel de 400 m en 2 km en su curso inferior en el que atraviesa los cordones morrénicos, fácilmente erosionables y susceptibles de generar movimientos en masa con gran aporte súbito de materiales hacia el barranco. Por ello, este último forma un cono de deyección (con una superficie de 52,4 ha) al alcanzar la llanura aluvial del Gállego.

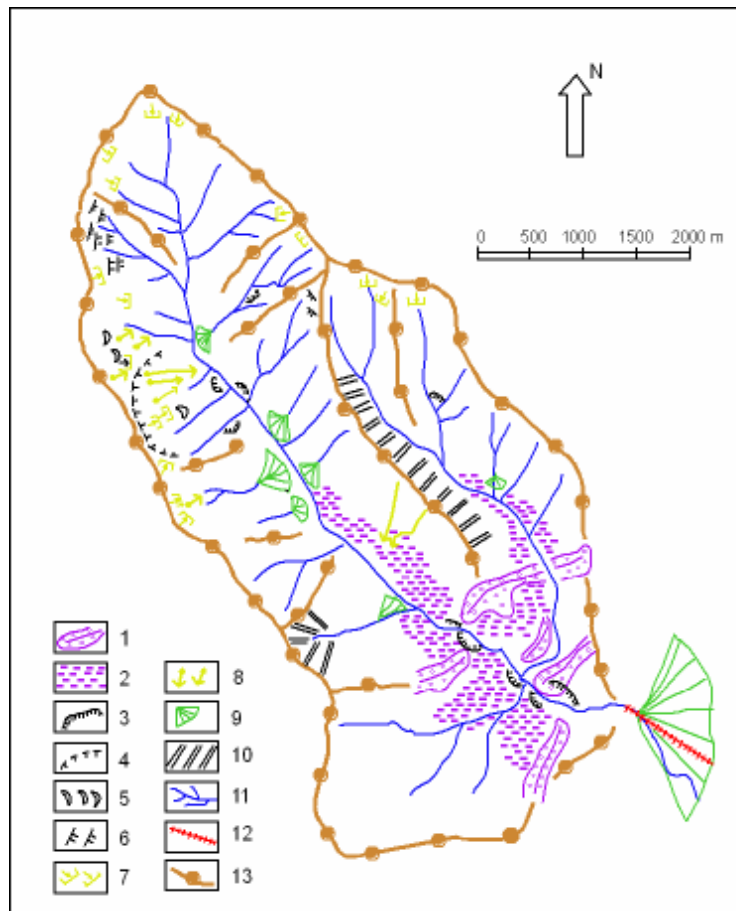


Fig. 2. Esquema geomorfológico de la cuenca del barranco de Arás. 1: Cordones morrénicos laterales. 2: Depósitos glaciolacustres. 3: Cicatrices de movimientos en masa. 4: Cicatriz supuesta de movimiento en masa. 5: Lóbulos de soliflucción. 6: Terracillas. 7: Deslizamientos planares. 8: Flujos de derrubios. 9: Conos de deyección. 10: Vertientes regularizadas. 11: Red fluvial. 12: Canal artificial. 13: Divisorias de aguas

La precipitación media anual supera los 1100 mm en toda la cuenca de Arás, con tendencia a caer sobre todo durante la estación fría (noviembre-abril). Sin embargo, el verano no llega a ser seco, con frecuentes lluvias frontales a principios de julio y tormentas en julio y agosto. La

temperatura media anual es de 10,3°C en Biescas, a 880 m, y de 8,8°C en Aso de Sobremonte, a 1260 m.

La mayor parte de la cuenca se encuentra muy bien protegida por la vegetación. Por encima de 1600-1700 m se localizan los pastos subalpinos, que sustituyen a pinares deforestados durante la Alta Edad Media (Montserrat, 1992). Por debajo de ese umbral las laderas están cubiertas por bosques densos de *Pinus sylvestris*, con *Fagus sylvatica* en áreas cóncavas de la umbría y *Quercus* gr. *faginea* en las partes bajas de las solanas. Los rellanos glaciolacustres están ocupados por prados de siega y de diente.

Una cuestión de gran relevancia para entender algunos aspectos de la catástrofe se refiere a las obras de corrección a que había sido sometido el barranco desde principios del siglo XX. El barranco de Arás había mostrado una notable actividad torrencial, con avenidas muy frecuentes e intensas, transporte de bloques, cambios recurrentes en el trazado del cauce sobre el cono de deyección, cortes en la carretera y alguna víctima. De ahí que se procediera a la corrección del torrente y del cono y a un programa de reforestación en las laderas. En el cono de deyección se construyó un canal artificial y escalonado (con capacidad para entre 100 y 120 m³ s⁻¹), trazado rectilíneamente desde el ápice a la base y abandonando el cauce que había funcionado en décadas precedentes por el margen lateral derecho del cono. Este canal artificial se prolonga hacia aguas arriba por medio de un breve tramo canalizado y una sucesión de casi 40 presas de retención de sedimentos, de hasta 11 m de altura y 40 m de anchura. La reducción drástica de sedimentos hacia el cono de deyección contribuyó a dar la impresión de que éste se había estabilizado, favoreciendo la recolonización por la vegetación. En 1987 se instaló un camping entre el canal artificial y el anterior cauce natural, sobre el sector del cono que unas pocas décadas antes se había mostrado muy activo.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA TORMENTA

El Pirineo Central y parte de la Depresión del Ebro se vieron afectados el día 7 de agosto de 1996 por lluvias intensas de carácter tormentoso, algunas de las cuales alcanzaron gran intensidad. La causa fue la penetración de una masa de aire muy cálida y húmeda desde el Mediterráneo, junto con la llegada de masas de aire frío en altitud, lo que provocó una situación de marcada inestabilidad. En el caso de la tormenta que cayó cerca de Biescas hay que añadir que el núcleo más activo, de reducida extensión espacial, se mantuvo fijo durante 1 hora, lo que convirtió a la tormenta en un evento extremo por su inusual intensidad en el mismo sitio.

La precipitación registrada en Biescas fue de 160 mm. No hay ninguna medición directa dentro de la cuenca de Arás. Los datos de precipitación se han deducido de manera indirecta mediante el método racional, que incluye la estimación del caudal máximo instantáneo en el barranco de Arás y del coeficiente de escorrentía. García Ruiz et al. (1996) y White et al. (1997) deducen una máxima actividad de la tormenta en la subcuenca de Betés, donde la precipitación total debió estar entre 200 y 250 mm, con unos 8 minutos en los que la intensidad pudo llegar a 500 mm hora⁻¹. En la subcuenca de Aso, en cambio, la precipitación total estimada fue de 60 mm, indicando un gradiente muy alto de la intensidad de la precipitación en una distancia muy corta. Una estimación del Instituto Nacional de Meteorología (1998) mediante imágenes radar proporcionó valores muy similares.

La lluvia, que afectó a todo el sector pirenaico más próximo, mostró una clara disminución desde Biescas y el barranco de Arás hacia posiciones más periféricas: Así, hacia el norte las cifras

registradas pasaron a 51 mm en Lanuza, 46 mm en Sallent y 39 mm en La Sarra. Hacia el oeste, Castiello de Jaca registró 48 mm, Esposa, 25 mm y Hecho, 8 mm



Fot. 1. Bloques morrénicos transportados durante la avenida y efectos sobre la vegetación del cauce. Al fondo, la morrena lateral del valle del Gállego.

3. LA INTENSIDAD DE LA AVENIDA

La Fig. 3 muestra los caudales estimados en diferentes puntos de los barrancos de Aso y Betés a partir de la altura alcanzada por la avenida y mediante la aplicación de la fórmula de Manning para el cálculo de la velocidad. Dadas las características de la avenida y las turbulencias que originaría la gran irregularidad del perfil longitudinal, las cifras que incluye la Fig. 3 son sólo indicativas, como lo prueba la disparidad de resultados obtenidos por diferentes autores.

El barranco de Aso, hasta su confluencia con el barranco de Betés, experimentó una fuerte crecida, que, no obstante, puede considerarse normal, pues ocupó estrictamente el canal en su estado de *bankfull*, lo que sería indicativo de una crecida previsible para un periodo de retorno entre 1 y 2 años. A la altura de Yosa, antes de la incorporación de los barrancos de Betés y de La Selva, el caudal punta debió alcanzar un valor entre 100 y $130 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, provocando la ruptura del puente de Yosa. Todo indica que la avenida fue de muy superior intensidad en la subcuenca de Betés, con origen especialmente concentrado en un sector muy pequeño. Así, aguas arriba de la localidad de Betés es caudal estimado ascendió a $80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para una superficie de cuenca de $2,24 \text{ km}^2$. Aguas abajo de Betés el caudal correspondiente al pico de crecida ascendió a $250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($3,56 \text{ km}^2$ de cuenca, lo que representa un caudal específico de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Esto quiere decir que un pequeño sector de la cuenca, con un total de $1,32 \text{ km}^2$, y especialmente dos barrancos incorporados

por la izquierda aportaron unos $170 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, confirmando la extrema violencia de la tormenta y de la escorrentía superficial. En la desembocadura, este barranco alcanzó un caudal punta estimado de $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

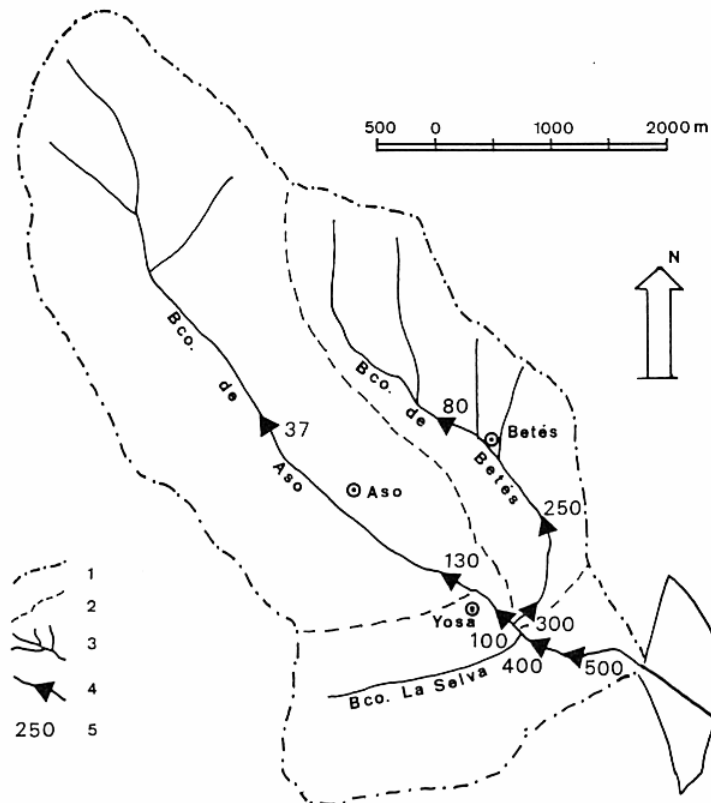


Fig. 3. Caudales estimados en diferentes puntos de la cuenca de Arás. 1: Divisoria de subcuenca. 2: Red fluvial. 3: Puntos de afloramiento. 4: Estimación del caudal en $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Aguas abajo de la incorporación del barranco de Betés el caudal punta en el barranco de Arás se calculó en $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, es decir, la suma de los dos barrancos principales. Cerca del ápice del cono de deyección se estimó un caudal de $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Sin embargo, estos caudales están claramente sobreestimados, pues incluyen un gran volumen de sedimentos que fueron transportados durante la punta de la avenida. Las estimaciones elaboradas por otros autores entran dentro de un abanico bastante amplio, entre 200 y $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Benito et al., 1998; Alcoverro et al., 1999). En todo caso, el caudal estimado está muy por encima de la capacidad del canal artificial construido en el cono de deyección.



Fot. 2. Restos de presas de retención de sedimento, destruidas por la fuerza de la avenida, y bloques morrénicos.

4. LA EROSIÓN Y EL TRANSPORTE DE SEDIMENTO

Las laderas de la cuenca no se vieron afectadas por una gran actividad geomorfológica. La intensidad de la precipitación favoreció más la escorrentía superficial que la infiltración, por lo que los movimientos en masa fueron escasos, afectando a los bordes de los bancales, donde se formaron pequeñas cicatrices de tamaño métrico. También se desencadenaron algunos deslizamientos superficiales del tipo flujos de derrubios, especialmente en la parte baja de la cuenca, sobre pendientes muy fuertes, llegando a afectar a la carretera de Francia. La mayor actividad geomorfológica tuvo lugar en los cauces, incapaces de acoger todo el volumen de agua procedente de las laderas. En la parte media y alta de la cuenca, los barrancos de Aso y Betés se ensancharon varios metros por erosión lateral, provocando alteraciones en parcelas de cultivo próximas al cauce. Antes de unirse al barranco de Aso, el de Betés causó erosión lateral y lineal, arrastrando todo el arbolado y grandes bloques de origen morrénico, propiciando la formación de un *boulder fan*.

A partir de la unión de los dos barrancos el evento hidrológico tuvo un carácter catastrófico, precisamente en el momento en que la pendiente longitudinal pasa a ser de 11-12° y se precipita hacia la llanura aluvial del Gállego. La consecuencia más importante fue el desplome súbito de la mayor parte de las presas de retención de sedimento localizadas en el barranco de Arás, destruidas en parte por socavamiento de la base, en parte por la gigantesca fricción en el borde superior de cada presa y también por la presión hidrostática del agua infiltrada en los sedimentos. La mayor parte de los materiales retenidos por las presas se desplomaron en muy pocos minutos, arrastrando todo el arbolado que cubría el cauce. La resistencia de una de las presas favoreció la erosión lateral y la ampliación del cauce hacia la derecha, donde a lo largo de 150 m se ensanchó entre 15 y 20 m, con una profundidad de 11 m. Los materiales transportados estaban constituidos por una mezcla de

gravas y arenas junto a grandes bloques morrénicos, que fueron transportados como flujo hiperconcentrado (Gutiérrez Santolaya et al., 1998). Gran parte de los sedimentos desplazados formó una gran colada de piedras que se detuvo en el ápice del cono de deyección, bloqueando la salida hacia el cauce artificial, que quedó parcialmente enterrado, lo que obligó a las aguas a desviarse hacia su derecha, ocupando el sector del cono que había sido más activo hasta las obras de canalización. Una estimación del volumen de sedimento desplazado desde las presas proporciona una cifra en torno a 50.000 m³ a los que hay que añadir otros 18.000 m³ procedentes de la referida erosión lateral a expensas de los depósitos morrénicos. En total, unos 68.000 m³, es decir, entre 122.000 y 136.000 toneladas (García Ruiz et al., 1996). Estas cifras corresponden a un umbral mínimo, al que es necesario añadir otras erosiones laterales, el vaciado de sedimentos en los cauces de Aso y Betés y, en menor medida, los materiales procedentes de la erosión en laderas.



Fot. 3. Presa rota en el tramo final del barranco de Arás y resto de los sedimentos acumulados aguas arriba.

5. LA AVENIDA DEL BARRANCO DE ARÁS Y OTROS EVENTOS EXTREMOS EN EL PIRINEO CENTRAL

Lluvias de gran intensidad son posibles en el Pirineo Central español, con capacidad para generar avenidas de muy baja frecuencia (García Ruiz et al., 2000b y 2002). Al estudiar la intensidad de las precipitaciones en el Pirineo Central, Creus & Puigdefábregas (1978) comprobaron que el valle del Gállego y la cabecera del valle del Aragón podían verse afectados por intensidades muy altas. De hecho, en Biescas se registraron 140 mm en un día de agosto de 1942 y otras lluvias han superado los 100 mm en 24 horas. El 8 de diciembre de 1992 se registraron 165 mm, de manera que las lluvias muy voluminosas no son anómalas en Biescas. Conviene también tener presente que el río Gállego es, junto con el Ara, el que muestra mayor frecuencia de avenidas entre los grandes ríos pirenaicos (García Ruiz et al., 1985).

En el conjunto del Pirineo aragonés, las lluvias torrenciales de noviembre de 1982 dieron valores de más de 600 mm en 24 horas en Góriz, a 2200 m. Durante esas lluvias el cono de deyección del barranco Remáscaro (afluente del Ésera) fue en gran parte removilizado por un pico de crecida de $108 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Martí Bono & Puigdefábregas, 1983), en un contexto topográfico y geomorfológico que guarda muchas similitudes con el barranco de Arás. Igualmente, el cono de deyección de La Guingueta (cuenca del río Noguera Pallaresa) fue invadido por sucesivos flujos de derrubios (Bru et al., 1984). Valores muy elevados de precipitación en 24 horas se han alcanzado en varias localidades: 517 mm en Sin, 307 mm en Urdiceto, 252 mm en Capella, 214 mm en Gistaín. Inundaciones catastróficas ligadas a fuertes tormentas estivales han sido reseñadas por Daumas (1964) en los valles del Ésera, Isábena, Noguera Ribagorzana y Arán, con acumulaciones de más de 2 m de sedimento en los fondos de valle y reactivación de antiguos conos de deyección. Existen además referencias históricas que confirman la ocurrencia de eventos hidrológicos y geomorfológicos de muy baja frecuencia y excepcional intensidad, como los responsables del enterramiento del Monasterio de San Adrián de Sasave (Martí Bono et al., 1997). Martínez Castroviejo y García Ruiz (1990) han puesto también de relieve la gran torrencialidad de algunos cauces, con acumulaciones de coladas de bloques, como por ejemplo en la cabecera del río Ijuez.

Sin embargo, la avenida del barranco de Arás presentó unas características diferentes. Fue un fenómeno muy local, con un núcleo muy activo que afectó a una superficie muy pequeña de la cuenca, pero con una intensidad que no aparece en otros registros anteriores del Pirineo Central. Lluvias de más de 200 mm en algo más de una hora, con una punta de intensidad en torno a 500 mm hora^{-1} durante unos pocos minutos representan un fenómeno muy excepcional. De todas formas, intensidades muy elevadas y de corta duración no son un fenómeno tan raro: Así, el día 6 de mayo de 1999 una lluvia de 70 mm en 10 minutos se registró en dos observatorios muy próximos del valle de Aísa (Lastiasas Altas y Casa Eugenio), lo que significa una intensidad similar a la máxima estimada para la catástrofe de Biescas, sólo que afortunadamente de menor duración. El barranco afectado, de 78 ha de superficie experimentó un pico de crecida de $27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, es decir, $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, arrastrando bloques de hasta 100 cm de eje a (García Ruiz et al., 2000a).

Esto sugiere que la ocurrencia de tormentas de muy alta intensidad aparece difícilmente en los registros de las estaciones meteorológicas, dada su reducida dimensión. De ahí las dificultades para situarlas en un contexto temporal más amplio y para calcular el periodo de retorno al que corresponden, sobre todo porque además la precipitación se desencadena en unos minutos o unas pocas horas, lo que las hace poco comparables con otras tormentas medidas en 24 horas.

En el caso del barranco de Arás, además de la intensidad de la lluvia y de la avenida, el súbito desplome de la mayor parte de las presas de retención de sedimento fue un factor añadido de peligrosidad, que incrementó la violencia de la avenida y su volumen. Este fenómeno pone de relieve que la corrección de torrentes muy activos contribuye a paliar la frecuencia e intensidad de avenidas (como así sucedió durante décadas en el barranco de Arás), pero no es un factor de seguridad acerca de la estabilización definitiva de conos de deyección cuya dinámica está muy relacionada con la fuerte pendiente del cauce y con la erosionabilidad del sustrato. En un ambiente de altísima energía, como es el caso del curso inferior del barranco de Arás y su cono de deyección, los cambios geomorfológicos son muy rápidos y, a largo plazo, difícilmente controlables frente a eventos de muy baja frecuencia.

Referencias

- Alcoverro, J., Corominas, J. & Gómez, M. (1999): The Barranco de Arás flood of 7 August 1996 (Biescas, Central Pyrenees, Spain). *Engin. Geol.*, 51: 237-255.
- Benito, G., Grodek, T. & Enzel, Y. (1998): The geomorphic and hydrologic impacts of the catastrophic failure of flood-control-dams during the 1996 Biescas flood (Central Pyrenees, Spain). *Z. Geomorph.*, 42: 417-437.
- Bru, J., Serrat, D. & Vilaplana, J.M. (1984): La dinámica geomorfológica de la cuenca del torrente de Jou-La Guingueta Noguera Pallaresa). *Inestabilidad de laderas en el Pirineo*, ETSI Caminos, Canales y Puertos, 1.2.1-1.2.10, Barcelona.
- Creus, J. & Puigdefábregas, J. (1978): Influencia del relieve en la distribución de las precipitaciones máximas: un ejemplo pirenaico. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 4(1): 11-24.
- Daumas, M. (1964): Les crues du 3 août dans les hautes vallées aragonaises et catalanes. *Rev. Géogr. Pyr. S.O.*, 35: 305-310.
- García Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J. & Creus, J. (1985): *Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón*. Instituto de Estudios Altoaragoneses, 224 p. Huesca.
- García Ruiz, J.M., Beguería, S. & Lorente, A. (2000a): Eventos hidrológicos de baja frecuencia en el Pirineo Central español y sus efectos geomorfológicos. *Serie Geográfica*, 9:163-176.
- García Ruiz, J.M., Arnáez, J., White, S., Lorente, A. & Beguería, S. (2000b): Uncertainty assessment in the prediction of extreme rainfall events: An example from the Central Spanish Pyrenees. *Hydrological Processes*, 14: 887-898.
- García Ruiz, J.M., Martí Bono, C., Lorente, A. & Beguería, S. (2002): Geomorphological consequences of frequent and infrequent rainfall and hydrological events in Pyrenees mountains of Spain. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 303-320.
- García Ruiz, J.M., White, S., Martí Bono, C., Valero, B., Errea, M.P. & Gómez Villar, A. (1996): *La catástrofe del barranco de Arás (Biescas, Pirineo aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Instituto Pirenaico de Ecología, 54 p. Zaragoza.
- Gutiérrez Santolaya, F., Gutiérrez Elorza, M. & Sancho, C. (1998): Geomorphological and sedimentological analysis of a catastrophic flash flood in the Arás drainage basin (Central Pyrenees, Spain). *Geomorphology*, 22: 265-284.
- Instituto Nacional de Meteorología (1998): *Estudio meteorológico de la situación del 7 de agosto de 1996 (Biescas)*. Ministerio de Medio Ambiente, 90 p. Madrid.
- Martí Bono, C. & García Ruiz, J.M. (1995): Complejos morrénicos laterales en la vertiente surpirenaica aragonesa. *3ª Reuniao do Quaternario Ibérico*, Universidade de Coimbra, 149-156, Coimbra.
- Martí Bono, C. & Puigdefábregas, J. (1983): Consecuencias geomorfológicas de las lluvias de noviembre de 1982 en las cabeceras de algunos valles pirenaicos. *Estudios Geográficos*, 170-171: 275-290.
- Martí Bono, C., Valero, B. & García Ruiz, J.M. (1997): Large, historical debris flows in the Central Spanish Pyrenees. *Physics and Chemistry of the Earth*, 22: 381-385.
- Martínez Castroviejo, R. & García Ruiz, J.M. (1990): Coladas de piedras y dinámica fluvial en ríos torrenciales del Pirineo Central: El caso del río Ijuez. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 16: 55-72.
- Montserrat, J. (1992): *Evolución glacial y postglacial del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo. Estudio palinológico*. Instituto Pirenaico de Ecología, 147 pp., Zaragoza.
- Serrano, E. (1998): *Geomorfología del Alto Gállego, Pirineo aragonés*. Institución Fernando El Católico, 501 p., Zaragoza.
- White, S., García Ruiz, J.M., Martí Bono, C., Valero, B., Errea, M.P. & Gómez Villar, A. (1997): The Biescas campsite disaster and its temporal and spatial context. *Hydrological Processes*, 11: 1797-1812.