

LAS AVENIDAS TORRENCIALES EN CAUCES EFIMEROS: RAMBLAS Y ABANICOS ALUVIALES

Torrential floods in ephemeral streams: wadies and alluvial fans

M. Guillermina Garzón Heydt (*), José A. Ortega Becerril (*) y Júlio Garrote Revilla (**)

RESUMEN

Los sistemas torrenciales se caracterizan por corrientes efímeras pero súbitas, que alcanzan rápidamente su caudal punta e incorporan abundante carga sólida que depositan también de forma brusca al desvanecerse la crecida. Se manifiestan desde formas métricas de ladera o cabecera (cárcavas y barrancos) hasta kilométricas, como ramblas y grandes abanicos aluviales. Pero su morfología y dinámica son equiparables: cuenca de recepción muy activa, corto canal de transferencia y zona de producción, generalmente abanico. Estas tres zonas se repiten a diferentes escalas dentro de la misma línea de drenaje, generando depósitos sobre los que el cauce se vuelve a encajar o que abandona migrando a zonas más deprimidas. Esta dinámica esporádica y cambiante, su capacidad erosiva, así como los altos caudales líquidos y sólidos, confieren a estos sistemas una gran peligrosidad.

ABSTRACT

The torrential stream dynamics is characterized by ephemeral but sudden streamflows (flashfloods) that quickly reach their peak flow, entraining abundant load that also deposits abruptly when the flood vanishes. They offer wide range morphologies, from metric forms (gullies) on headwaters and slopes, to kilometric ones like ramblas (arroyos) and large alluvial fans. But their morphology and dynamics are similar: very active reception basin, short transference channel and widespread production area, commonly an alluvial fan. These three zones may be recurring at different scales within the same drainage line, generating deposits on which the channel either entrenches or abandons, migrating towards more depressed areas. This erratic and changing dynamics, the erosive capacity, as well as the high load and discharge, confer to these systems a great hazard.

Palabras clave: Torrentes, ramblas, abanicos aluviales, avenidas súbitas, peligrosidad

Keywords: Gullies, arroyos, alluvial fans, flash-floods, hazards.

INTRODUCCIÓN

Las avenidas torrenciales o súbitas (*flash-floods*) son las más catastróficas de la Península y, con diferencia, el evento natural que más víctimas ocasiona (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002). Suponen el caso opuesto a las crecidas lentas y, hasta cierto punto, controlables de los ríos que tienen una llanura de inundación bien consolidada y en los que el agua va rebosando su cauce mansamente dejando fluir sobre la vega un agua solo con materiales en suspensión. Las avenidas torrenciales, por el contrario, se caracterizan por su rápida ocurrencia, la violencia de sus aguas y sus arrastres de sedimentos gruesos.

Cuando se modelizan hidráulicamente las inundaciones fluviales se trabaja generalmente con cauces estables y bien definidos, que periódicamente desbordan su cauce ordinario inundando su cauce extraordinario o llanura de inundación. Una llanura de inundación representa una unidad morfológica que los propios ríos construyen para su autorregula-

ción en los periodos de crecida y con un diseño hidráulicamente adaptado a estos momentos de flujos altos. Pero en el caso de avenidas torrenciales no existe una llanura de inundación bien establecida, los cauces son capaces de movilizar tal cantidad de agua y, sobre todo, de carga en un corto periodo de tiempo que ellos mismos no se pueden encauzar y reorganizar; se producen, así, desbordamientos extensos y violentos, acompañados de erosiones y depósitos bruscos, en una dinámica difícil de preveer y controlar.

Los eventos torrenciales abarcan un enorme rango de formas de drenaje que van desde una pequeña cárcava que aparece espontáneamente en una ladera, a un gigantesco abanico aluvial del orden de decenas de kilómetros (Fig. 1). La dinámica de todos ellos, sin embargo, resulta equivalente. Un súbito aumento de caudal, una proporción de carga sólida muy alta y, por tanto, un exceso de sedimentos que es necesario depositar bruscamente. Todo ello define sus cualidades determinantes que son su alta peligrosidad y carácter destructivo.

(*) Geodinámica, UCM. Avda. Jose A. Novais, 2, 28040, Madrid. minigar@geo.ucm.es, jaortega@geo.ucm.es

(**) Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Pº Bajo Virgen del Puerto. 28011 Madrid. julio.garrote@cedex.es

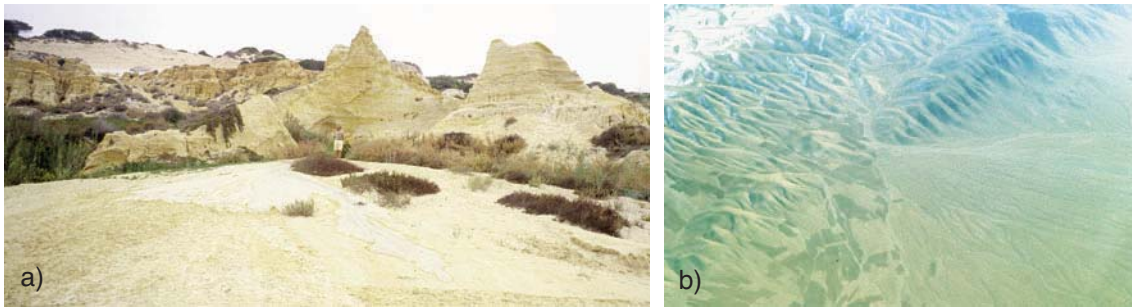


Fig. 1.- (a) Abanico formado por encajamiento de un barranco en un acantilado playero durante un solo evento tormentoso. (b) Grandes abanicos coalescentes sobre un piedemonte árido y sus cauces móviles tipo rambla.

El sistema torrencial es más propio de cauces esporádicos y efímeros, que no tienen un cauce fluvial suficientemente evolucionado y canalizado, por la falta de un caudal permanente. Por eso, en este caso no se habla tanto de sistemas fluviales con un canal bien establecido, si no que la poca organización del cauce y alta proporción de caudal sólido fuerzan el depósito espasmódico de la carga gruesa y de ahí que una vez se ha producido el depósito el cauce se mueva hacia otro sitio. Estas características favorecen la discontinuidad del sistema no solo en el tiempo si no, también y lo que es muy importante, en el espacio por lo que los procesos pueden individualizarse por tramos, que a su vez son migratorios.

Es importante, además, tener en cuenta, que cuando se considera un sistema torrencial, no se puede olvidar ninguno de sus componentes, esto es: una cuenca de recepción con alta disponibilidad de aportes, previamente preparados para su transporte o susceptibles de erosión momentánea; un cauce de transferencia relativamente corto, que acelera la trasmisión del flujo; un cambio brusco, de confinamiento o pendiente, capaz de provocar la dispersión y depósito rápido de la carga. Este modelo, si bien se refiere al conjunto de la cuenca, se repite sucesivamente por tramos a lo largo de una línea de drenaje, pues en un sistema fluvial cada tramo tiene su propia independencia y capacidad de autoajuste.

Los eventos torrenciales aparecen en entornos naturales muy variados, pero para su estudio podemos disociarlos en dos grandes sistemas: los de flujo relativamente canalizado, como ramblas y rieras, y los de flujo disperso, como abanicos aluviales y conos de derrubios. Estos dos grupos no son excluyentes, puesto que dentro de un abanico aluvial aparecen tramos canalizados en ramblas y, a su vez, las propias ramblas pueden estar intercaladas por tramos que funcionan, localmente, más bien como abanicos.

Los cauces efímeros sujetos a dinámica torrencial deben ser analizados, por tanto, de forma diferente a como se hace tradicionalmente con los ríos de regiones húmedas. Su dinámica es más asociable a la de los ríos de regiones áridas que abarcan, además, casi la mitad de la superficie terrestre con un 20% de su población, y de ahí su importancia y el creciente interés por su estudio (Bull y Kirkby, 2002).

LOS PROCESOS EN CABECERA Y CANAL DE TRANSFERENCIA

La dinámica torrencial representa el primer estadio de encajamiento y jerarquización de la red de drenaje. Constituye un mecanismo de erosión remontante y retroceso en cabecera y es además la principal forma en que se producen sedimentos por acción erosiva.

Surge en primer lugar, el problema de la nomenclatura y sobre el qué se entiende por formas de características torrenciales. Bajo el término de aparato de dinámica torrencial se recogen modelos y tamaños muy diferentes (Fig. 2) desde formas de alta montaña (garganta, torrentera), formas semiá-

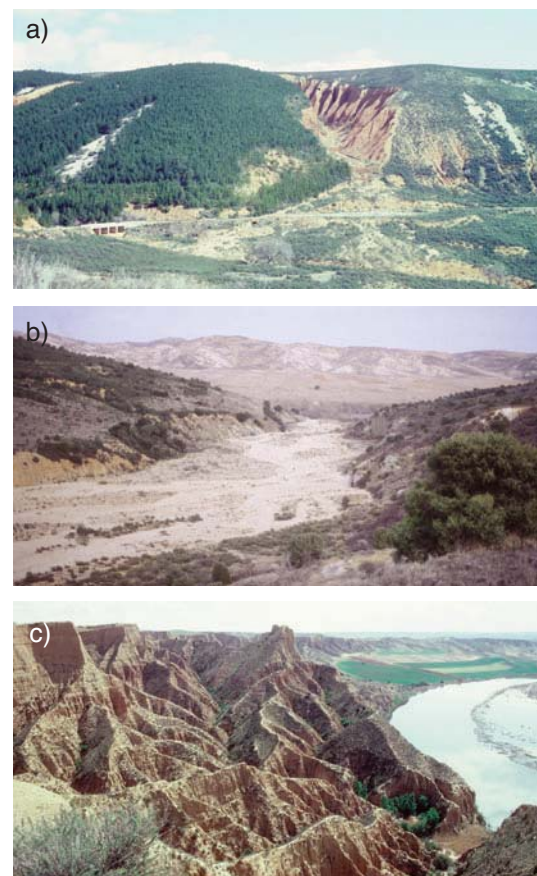


Fig. 2.- Diferentes entornos de ocurrencia de sistemas torrenciales: (a) Barranco de ladera, (b) Rambla de fondo de valle y (c) acarcavamientos extensivos.

ridas (barranco, cárcava, rambla, quebrada) hasta incluso cauces áridos (*uadis o wadis*) o los cañones tropicales, muchos de cuyos nombres ya aluden a la incisión. Constituyen, además, cursos de agua variados por su posición y topografía, como cauces de fondo de valle (canales encajados de fondo plano tipo rambla), de vertiente (cursos de ladera o cabecera), formas extensivas (tipo cárcavas o *badlands*), pero también formas de depósito como los conos de deyección o los abanicos aluviales. Pero, ¿cuales son las características generales y la dinámica que engloba estos tipos tan dispersos? Sus características pueden sintetizarse en que se trata de cursos de agua de flujo esporádico y avenidas intermitentes y bruscas, con cauces que presentan escarpes de cabecera abruptos y con erosión activa. Dado su alto poder erosivo, generalmente el cauce va encajado entre paredes abruptas, presentando pendientes longitudinales irregulares, a veces muy fuertes, pero intercaladas con tramos suaves y sin encajamiento.

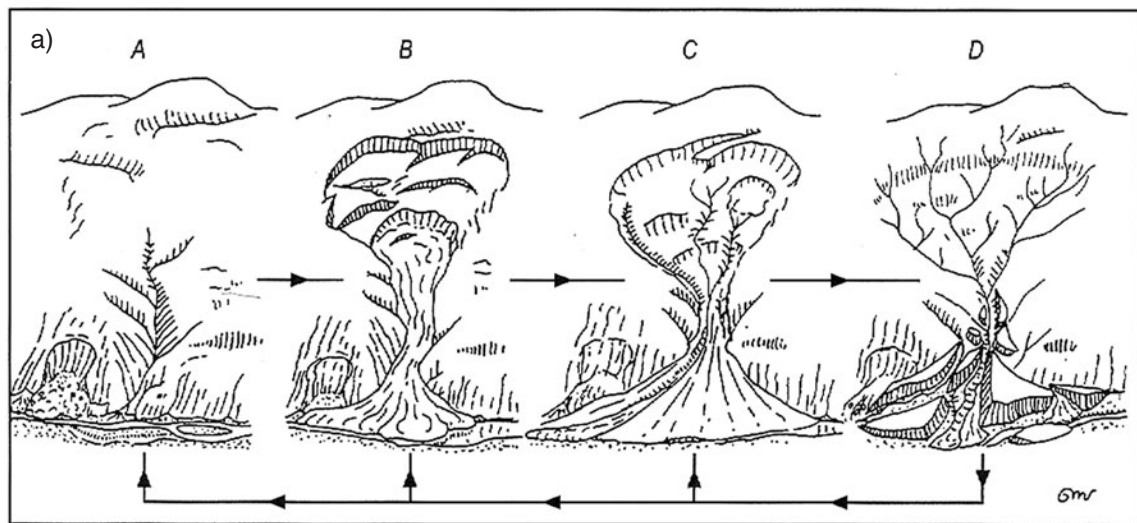
Los cauces de dinámica torrencial ofrecen diferencias con los ríos en su perfil, su relación anchura-profundidad y su patrón de drenaje, y constituyen estadios juveniles o inmaduros de estos. Esto implica que van a tender a evolucionar hasta alcanzar condiciones más estables, por lo que seguirán incidiendo en cabecera y propiciando un incremento en la anchura y en la pendiente media. Son, por tanto, formas en evolución activa en búsqueda de su equilibrio y autoajuste y consecuentemente con una dinámica muy difícil de frenar. Sus mecanismos genéticos son el resultado de dos procesos fundamentales: la competencia para el transporte de derrubios del canal y los movimientos de masa de las laderas y cabeceras con retroceso de escarpes.

El transporte de derrubios es un mecanismo fundamental, pues la erosión en las laderas por fuerzas tractivas durante el corto tiempo que dura la crecida es relativamente de poca importancia. Además, para mantener la erosión hace falta que el material de la base sea evacuado. De hecho, la cantidad de sedimentos en suspensión es muy alta inmediatamente después de la crecida, y luego decrece rápidamente, lo que indica que las fuerzas tractivas no son tan importantes como son los aportes de las laderas. La evacuación de los depósitos ocurre de manera esporádica, y varía de acuerdo con la disponibilidad previa de derrubios del canal.

Los movimientos gravitacionales en las laderas juegan un papel básico. Están condicionados por el agua almacenada en las orillas después de una avenida y la escorrentía hipodérmica y freática que favorece la pérdida de cohesión de las márgenes. Estos procesos se desencadenan en el momento que empiezan a bajar las aguas en el cauce después de la crecida, y las orillas pierden su soporte. Las corrientes de lodo y de derrubios que forman parte consustancial de la dinámica torrencial, están en su mayor parte ocasionadas por deslizamientos de las laderas (Fig. 3).

El importante retroceso en cabecera y en las laderas, está en muchos casos, favorecido por el proceso de erosión subsuperficial o tubificación (*sufusión o piping*). Consiste en un mecanismo de

Fig. 3.- (a) Etapas en la formación de un abanico a partir de un movimiento gravitacional en masa de ladera (Sorriso- Valvo, 1988 recogido en Gutiérrez, 2008) y (b) ejemplo del funcionamiento de una ladera tras un momento de avenidas en la cuenca.



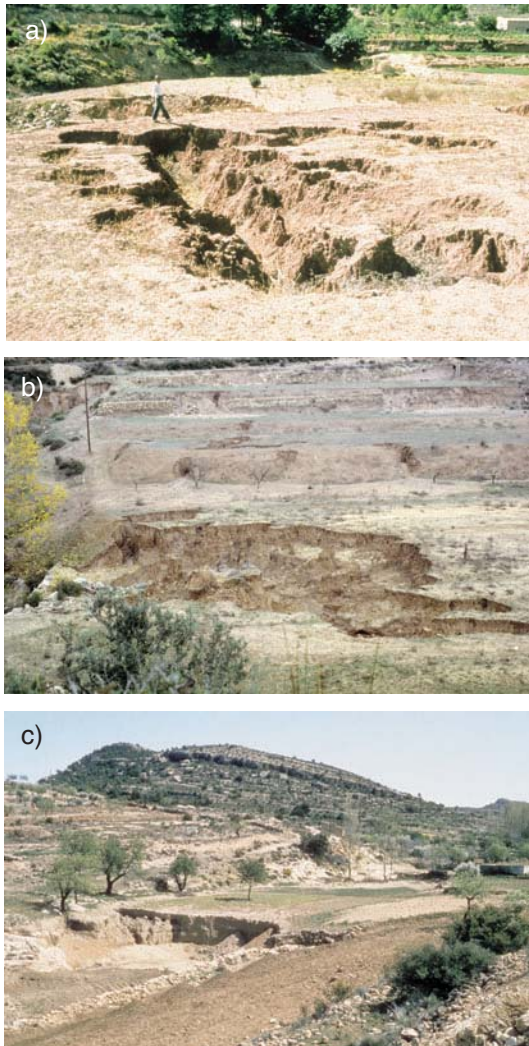


Fig. 4.- (a) Cárcava originada por colapso tras un proceso de sufusión y (b) su evolución posterior donde se observan las oquedades de salida de tubificaciónes en los escarpes y abanicos a su pie. (c) Erosión remontante con encajamiento dentro del propio cauce de una rambla, en parte favorecidos por procesos de sufusión.

erosión en que el sedimento es removido y transportado por el agua llegando a generar conductos subterráneos tubulares (Fig. 4). Estos conductos pueden colapsar dando origen a cárcavas; aparentemente ocasionadas por incisión vertical, cuando en realidad son el resultado de un flujo acuoso subsuperficial con arrastre de partículas. Este proceso tiene lugar cuando la escorrentía superficial se infiltra en el suelo hasta alcanzar un nivel menos permeable, a partir del cual puede fluir lateralmente y las partículas más finas se van lavando, concentrándose todo el flujo en un tubo que reaparece en el lateral del barranco. Precisan, por consiguiente, un fuerte gradiente hidráulico, como el ocasionado por una orilla o escarpe que provoca un efecto de sifonamiento. Suele asociarse a sue-

los que en seco apenas infiltran agua pero saturados pierden su cohesión influenciados por la floculación de arcillas con alto porcentaje de sodio intercambiable.

Para prevenir los efectos aguas abajo, es importante identificar una serie de factores que ofrezcan indicios de actividad reciente tanto en cabecera como en el canal de transferencia y que serán capaces de desencadenar eventos de gran aporte de carga que afecte a la rambla o abanico en el tramo final. Estos son, por ejemplo, los grandes movimientos en masa que sirven de fuente a las coladas de derrubios o la presencia de materiales susceptibles de licuefacción que formen flujos de barro. Los indicadores geomorfológicos de actividad deben valorarse por tanto a lo largo de toda la cuenca y en la cabecera y en el cauce de transferencia deberá tenerse en cuenta la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa, analizando la existencia de cicatrices de desprendimientos o descalces y socavación en las laderas. A su vez, el propio cauce puede encajarse localmente en su propio lecho y desatar con ello una importante acción remontante, que representa el peligro de desatar una erosión acelerada por rejuvenecimiento de toda la cuenca aguas arriba y el consiguiente aporte de sedimentos aguas abajo.

LAS RAMBLAS

Con el término *rambla* se denomina sobre todo en el Levante Español a cauces fluviales habitualmente secos pero sujetos a flujos esporádicos y violentos. Proviene de una voz árabe que sería equivalente a *arenal*, transferida muchas veces a la toponimia española (el río Guadarrama o *-de las arenas-* o la celebre puerta Bibarambla *-puerta del arenal-* de Granada). Pero el vocablo se ha generalizado, también, a un aspecto dinámico *arramblar* que, utilizado para un curso de agua, implica dejar el suelo cubierto de arena durante las avenidas. El verbo encierra, así mismo, la idea de arrastrarlo todo, llevándose con violencia y no únicamente arenas si no, también, gravas y grandes bloques, y además encajándose y erosionando. Otro termino equivalente en Cataluña sería el de *riera* (Martín Vide, 2005).

En la literatura anglosajona podría asimilarse a lo que se denominan *ríos efimeros*, pero asociándolos a una dinámica de tipo torrencial (*gully*). Frecuentemente, sin embargo, se ha utilizado una terminología regionalista, como la de los cauces o *uadis* del desierto (equivalente al prefijo Guad- de nuestros ríos). Curiosamente en EEUU utilizan el termino *arroyo* para este tipo de cauces y lo que, aparentemente, parece una perverción del termino se trata, probablemente, de una transformación de la propia forma fluvial que de ser un pequeño cauce vegetado, cuando los nombraron los exploradores españoles, ha evolucionado encajándose, posiblemente por causas climáticas, y ensanchándose, generando con ello una dinámica torrencial.

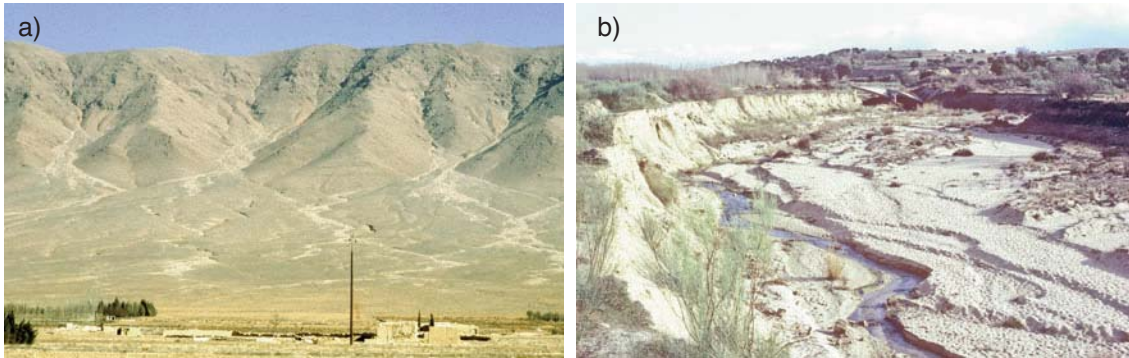


Fig.5.- (a) Abanico árido con su patrón de uadis o ramblas divagantes y (b) rambla en proceso de encajamiento con removilización de depósitos y barras "braided".

Por su patrón en planta, las ramblas serían más asociables a ríos de tipo entrelazado o *braided* (Fig. 5 a y b). Esta morfología viene determinada por el carácter granular y heterométrico de su carga. Para poder transportar esta carga gruesa a lo largo de su curso el río desarrolla un cauce ancho y somero donde resultan más eficientes las fuerzas de cizalla para el transporte de la carga de fondo. Si tiene exceso de carga el río deposita su carga en el lecho formando barras. Es un mecanismo que genera el propio río como forma de disipar su energía y refrenarse, obligando a que la corriente de agua adquiera una cierta sinuosidad en torno a sus propias barras. Sería un proceso equivalente al de los ríos que meandrizan para reducir y amortiguar su pendiente.

Este proceso de *braiding* está limitado por la capacidad de transporte, es decir, cuando hay un exceso de carga respecto al caudal disponible y ésta no puede transportarse, se deposita bruscamente. Por otra parte, cuando el cauce pierde su confinamiento y con ello sus aportes, su flujo superficial desaparece, dispersándose o infiltrándose. En condiciones semiáridas estos ríos se hacen efímeros y muchas veces el flujo sigue circulando por el subálveo del propio cauce, como lo demuestra la vegetación de ribera que se desarrolla sobre él, con profundas raíces para capturar el agua. Por eso en la actualidad se están realizando numerosos estudios para valorar la capacidad de recarga de las ramblas y su posibilidad de aprovechamiento.

Para poder transportar la alta carga sólida, el cauce precisa un aumento de pendiente, por eso son formas características también de zonas de tectónica activa. En condiciones de estabilidad, el aumento de pendiente ocurre por exceso de agradación en una zona, respecto a las limítrofes. La diferencia de cotas excesiva entre dos puntos a lo largo de una línea de drenaje acaba provocando un encajamiento brusco del cauce, y se desata con ello en periodo de erosión remontante y producción de sedimentos que conlleva una larga etapa de inestabilidad. Este es uno de los mecanismos básicos de evolución de los abanicos aluviales, como se vera en el apartado siguiente.

Con ello volvemos a comprobar que, en muchos casos, resulta difícil separar la dinámica en una rambla de la de un abanico, pues podría decirse que constituyen un continuum dentro del sistema de dre-

naje, representando momentos diferentes de evolución en el tiempo. Podría decirse que una rambla, al ser una corriente encauzada, será dominante en tramos de valle confinado, como zonas de cabecera y del canal de transferencia. Al llegar al tramo bajo del sistema, la zona de depósito, los cauces tipo rambla tendrán un comportamiento discontinuo en el tiempo y en el espacio y de ahí su carácter errático móvil.

LOS ABANICOS ALUVIALES

Los abanicos aluviales o conos de derrubios, más pequeños y de mayor pendiente, son una morfología particular dentro de las formas que se pueden encontrar en un sistema fluvial.

Un abanico aluvial consiste en un depósito sedimentario con una expansión radial en planta, desarrollado a partir de un punto de rotura de pendiente en la base de una ladera o de un frente montañoso. La expansión se produce por la pérdida del confinamiento lateral de un valle que se abre hacia una zona más amplia como la llanura aluvial de un valle principal, un piedemonte o una llanura costera. Su morfología se corresponde con la de un segmento de cono, con una forma marcadamente convexa hacia arriba, formado por depósitos muy variados resultantes tanto de flujos acuosos como de coladas de derrubios transportadas por corrientes de alta densidad (Fig. 6 a) .

La morfología de abanico es debida al desplazamiento lateral de cauces barriendo toda una zona, cambiando el área de depósito de los sedimentos transportados por el propio río. A lo largo del tiempo estos cauces cambian su posición dentro del abanico, buscando zonas de menor elevación a partir de aquellas en las que el canal ha depositado sus sedimentos más recientemente.

El cauce fluvial, también, puede presentarse ramificado en una serie de cauces distribuidores, que no vuelven a unirse aguas abajo dentro del abanico. Los procesos que definen la forma de abanico son, por tanto, la dispersión de agua y de sedimentos a través de cauces distribuidores y el desplazamiento sucesivo de las diferentes zonas de actividad (lóbulos de depósito). Por ello, a lo largo del tiempo, hay que distinguir que una cosa es el ápice topográfico

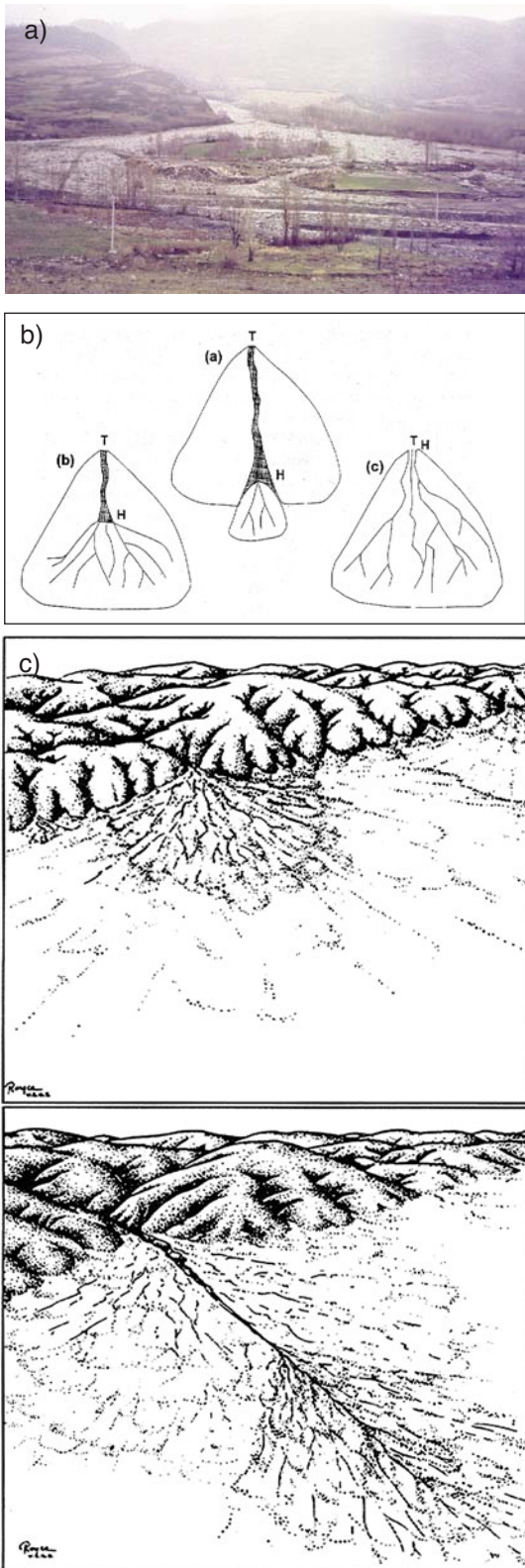


Fig. 6.- (a) Movilidad de las zonas de depósito a lo largo del abanico en el Pirineo, poco después de su funcionamiento. (b) Diferenciación entre el ápice topográfico (T) y el hidrológico (H) dentro de un abanico (Schumm, 2005). (c) Cambio de posición por avulsión y encajamiento del lóbulo activo del abanico (Bull, 1977).

del abanico (T), a partir del cual el cauce discurre encajado en los depósitos, y otra el ápice hidrológico (H) que es a partir de donde se produce la expansión del flujo (Fig. 6 b, Schumm, 2005). Dependiendo de la posición relativa de ambos ápices es como puede determinarse la zona sujeta a inundación.

El carácter de intermitencia en el tiempo y en el espacio

Uno de los aspectos fundamentales para entender el funcionamiento de un abanico, es el hecho de que las formas del relieve no evolucionan progresivamente en el tiempo, sino en episodios determinados por largos períodos de estabilidad seguidos de bruscas etapas de inestabilidad que es cuando se producen los ajustes morfológicos. Cuando durante el desarrollo de un abanico aluvial, la cabecera del abanico alcanza por depósito una pendiente topográfica que sobrepasa un determinado umbral de gradiente, el cauce tenderá a cambiar de posición, desplazando su cauce a zonas más deprimidas (por un proceso de avulsión) o encajándose sobre sus propios sedimentos y comenzando a formar un nuevo lóbulo en otro sitio (Schumm, 1977). Este hecho representa un evento catastrófico, pero es un suceso esperable y predecible dentro de la evolución natural. Para que esto ocurra, no se precisa ningún cambio extrínseco en la cuenca, aunque sí posiblemente una crecida importante que actúe como factor detonador del proceso (Fig. 6c) (Bull, 1977). Podemos, por tanto, esperar que esto se produzca a partir de unas condiciones geomorfológicas determinadas, aunque es más difícil determinar el “cuando” ocurrirá ese evento tormentoso desestabilizador.

Los abanicos aluviales tienen sus propios controles geomórficos intrínsecos, por los que el encajamiento se produce solo por la propia evolución de recrecimiento de su forma. Pero un encajamiento y cambio de posición del cauce dentro del abanico puede estar también determinado por controles extrínsecos como el clima, la tectónica y los usos del suelo, aunque estas respuestas y sus efectos suelen ser más lentas. En la actualidad hay que tener en cuenta además las alteraciones inducidas por obras o actuaciones humanas, que sí suelen ser más inmediatas y peligrosas.

Identificación y cartografía de abanicos

Los límites externos del abanico (distales, de frente o pie del abanico) se identifican fácilmente por los cambios de morfología y de pendiente, observables a partir del análisis de la convexidad de las curvas de nivel de un mapa topográfico detallado o de fotografías aéreas. Es importante observar las diferencias en el tamaño y composición de los sedimentos asociados al abanico y del terreno marginal al mismo. En zonas áridas, el límite externo de los abanicos puede caracterizarse por el incremento de vegetación, debido a que en esta zona el nivel freático se encuentra más superficial que en las zonas internas del abanico.

Los límites de los abanicos pueden presentar características diferentes de acuerdo con los tipos de ambiente sedimentario en que nos encontremos, los cuales pueden ser:

- Llanuras aluviales o cauces fluviales que continúan el transporte de los sedimentos aguas abajo. P.ej. abanicos laterales de los valles Pirenaicos (Gómez Villar, 1996).
- Llanuras de piedemonte de pendientes más suaves que las mostradas por el abanico aluvial. P.ej. abanicos de depresiones continentales, como La Mancha.
- Lagos o lagunas temporales en la desembocadura de los cauces que drenan el abanico (“*playa lakes*”) y característicos de zonas áridas. P.ej. abanicos del corredor del Guadalentín (Silva *et al.*, 1996).
- Llanuras costeras formadas por sedimentos ligados a la dinámica litoral como marismas, estuarios, albuferas, playas, etc. P.ej. abanicos de la Plana de Castellón y Valencia (Elízaga y Lendinez, 1985) (Ruiz Pérez, 1998). Un caso especial son los llamados abanico-delta, en que el límite externo del abanico llega a depositarse en el mar o un lago de grandes dimensiones. P.ej. abanicos del Adra y Albuñol (Romero *et al.*, 1989).

En muchos casos, cuando se trata de frentes montañosos o escarpes extensos, se presentan en paralelo abanicos múltiples o anastomosados, en los que existe un solapamiento lateral entre los depósitos individuales de cada uno de ellos. La delimitación de los límites laterales de cada abanico individual es compleja pues puede producirse una interdentación sucesiva entre los acarreo de abanicos adyacentes, que a veces solo pueden distinguirse cuando las áreas fuente de los abanicos son de distinta composición litológica.

A veces los abanicos adyacentes son muy similares, procedentes de múltiples barrancos a lo largo de todo el frente montañoso y se unen lateralmente formando un conjunto continuo de abanicos coalescentes, difícil de individualizar y con una pendiente uniforme. En el Oeste de EEUU se ha mantenido para esta forma el nombre de la toponimia original definida por los exploradores españoles y se denominan *bajadas*. En el Sureste Español, por el contrario, estas rampas de piedemonte se describen morfológicamente mediante el galicismo de *glacis* de acumulación.

Tipos de procesos de inundación en los abanicos

Las inundaciones en un abanico aluvial se caracterizan por su migración y desplazamiento del área de la inundación y aunque estas inundaciones suelen ocurrir en la zona activa del abanico, pueden producirse cambios en el patrón de desplazamiento y que la inundación afecte a zonas no previstas con anterioridad. En este escenario de movilidad, es necesaria la delimitación de la zona de migración activa del cauce a lo largo de un periodo histórico y en la actualidad. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que el abanico es la totalidad de la forma, no solo el lóbulo activo en la actualidad, para prever

posibles cambios futuros en la localización del canal (Committee on Alluvial Fan Flooding, 1996).

El abanico está compuesto por una acumulación de sedimentos, poco o nada consolidados, transportados bien por ríos o bien por flujos de derrubios, y determinar el agente de transporte es importante para obtener una buena caracterización del abanico y de su posible funcionamiento futuro. Las características de estos sedimentos están determinadas por las diferentes tipologías de flujos de avenida dentro del abanico y pueden discriminarse diferentes zonas en el mismo donde van a tener lugar procesos de inundación diferenciados, que a su vez condicionan el grado de peligrosidad. Pueden distinguirse las inundaciones de *cauces estables*, *por arroyada en manto* y *por flujos de derrubios*.

Los *depósitos canalizados* se producen en cauces más o menos estables, que suelen concentrarse en la parte apical o proximal del abanico y en zonas activas producidas por un encajamiento previo de estos cauces. Las inundaciones, en estos casos, tienen más semejanza a las que se producen en los ríos, pero teniendo en cuenta que en los abanicos aluviales los fenómenos de avulsión del canal son muy frecuentes y los cauces no permanecen mucho tiempo en el mismo sitio.

Los desbordamientos por *arroyada en manto* suelen ocurrir cuando se pierde el encajamiento de los cauces y no existe una morfología de canal diferenciable que recoja y conduzca las aguas de forma encauzada. La zona de ocurrencia principal de estos procesos es la parte distal del abanico, con bajas pendientes y cursos de agua que prácticamente han perdido su morfología, pero también pueden darse en abanicos de tamaño reducido en los que no llegan a formarse cauces bien definidos.

Las *corrientes o flujos de derrubios* están producidas por flujos viscosos con mayor o menor carga relativa de elementos groseros y lodos.

La diferenciación de las zonas en las que se produce cada tipo de crecida ha de llevarse a cabo a partir del estudio de la morfología del depósito, su relieve superficial y cortes en los sedimentos recientes del abanico, para determinar las diferencias que existen entre los sedimentos procedentes de avenidas de derrubios y los de inundaciones de carácter fluvial con mayor componente acuosa, que es importante para definir el carácter de los riesgos derivados.

Zonificación de la peligrosidad

La estimación de la inundabilidad del abanico suele realizarse meramente mediante estudios hidráulicos, sin embargo, estos estudios no debieran efectuarse igual que en el caso de las inundaciones fluviales principalmente por tres aspectos: los desbordamientos responden a flujos tridimensionales, la alta carga de sedimentos condiciona respuestas diferentes a las del agua limpia y es frecuente la ocurrencia de avulsiones. Por tanto, cuando se realiza una cartografía de zonificación de peligrosidad o riesgos en abanicos no son aplicables los criterios de periodo de retorno de zonas sujetas a desbordamientos flu-

viales, aunque tampoco existe una clasificación sintética de peligrosidad en abanicos generalizable.

Cada abanico tiene sus propias condiciones de estabilidad y la posibilidad de migración de sus cauces funcionales es un proceso importante que hay que tener en cuenta. La delimitación del cauce y la zonación de peligrosidad se deberán basar en características morfológicas delimitadas a partir de fotografías aéreas previas, de la información de avenidas históricas y de la evolución esperable según criterios morfológicos.

Un posible criterio es que la peligrosidad se distribuye radialmente desde el ápice activo del abanico, que es la zona de mayor acumulación a partir de la que se abrirá el nuevo curso (Fig. 7a y b) (Santos y Marquínez, 2004). El criterio de que la peligrosidad es igual para los puntos equidistantes del ápice del abanico podría ser aplicable en abanicos semiáridos de gran magnitud dominados por procesos de avenidas en manto, pero no parece tan apropiado para abanicos más húmedos o conos de montaña (Fig. 7c).

La zonificación debe establecerse, además, teniendo en cuenta la susceptibilidad de ocurrencia de los procesos de avulsión y de flujos de derrubios. En el caso de abanicos dominados por coladas de derrubios, su zona de máxima actividad suele estar localizada en áreas proximales y de mayor pendiente, y son más inestables y difíciles de predecir, cambiando fácilmente de posición. En el caso de los abanicos de escaso relieve, generalmente dominados por cauces acuosos, estos pueden modificar su curso rápidamente a lo largo de una extensa zona que debe ser tomada en cuenta. Una vez que se ha producido el cambio del curso hacia una zona topográficamente más deprimida, este cauce se hace estable durante un cierto tiempo, de días a cientos de años, hasta que la sobre-elevación de esta zona por agradación propicie un nuevo cambio hacia una zona más baja.

EL CASO DE LA RAMBLA DE NOGALTE

Una amplia rambla, habitualmente seca, protagonizó uno de los sucesos más catastróficos de los últimos 50 años. Las fuertes lluvias otoñales de 1973 indujeron graves riadas en todo el Sureste peninsular. Los daños fueron especialmente graves en la localidad de Puerto Lumbreras (Murcia) donde la rambla de Nogalte destruyó parcialmente el pueblo ocasionando más de 50 fallecidos. Las razones inmediatas fueron la alta ocupación de las márgenes de la rambla y la dificultad de evacuación del agua por un puente cegado por la gran cantidad de carga sólida arrastrada. Las causas últimas derivan de la alta peligrosidad de este tipo de ramblas dado el condicionamiento meteorológico y las características geomorfológicas del sistema. Entre ellas cabe destacar aspectos como son la alta erosionabilidad de los materiales de la cuenca y el escaso encajamiento, de los cauces fluviales que desaganan la depresión del Guadalentín.

La cuenca de cabecera de la rambla está formada fundamentalmente por filitas con cuarcitas y

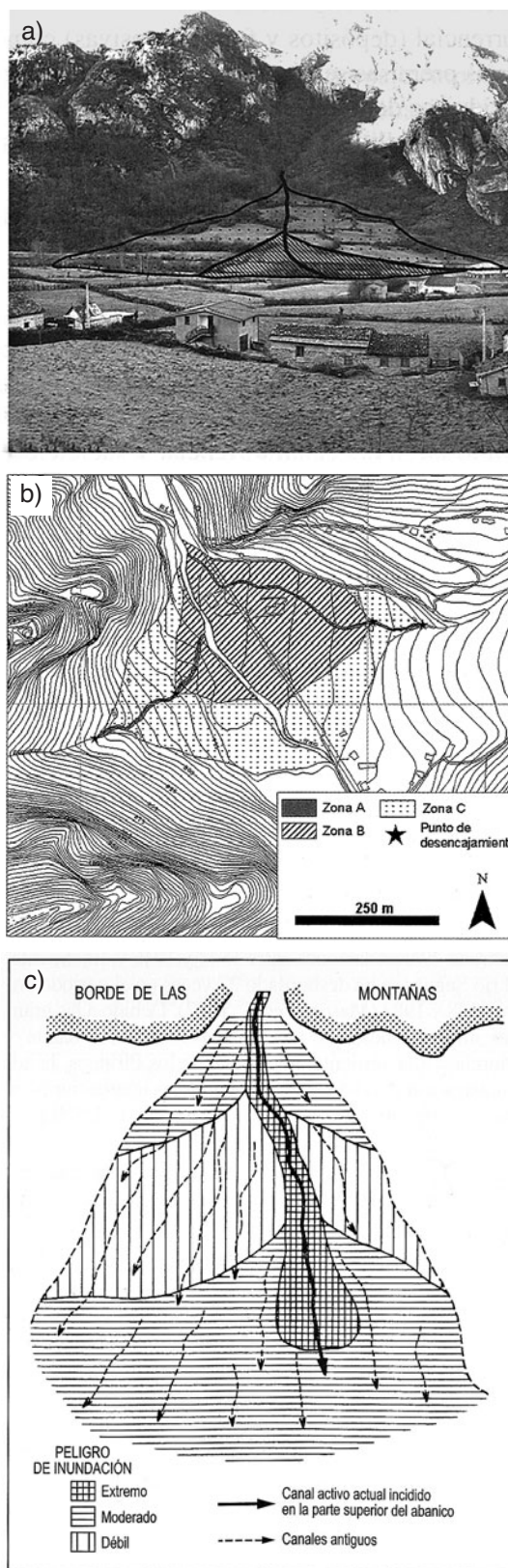


Fig. 7.- (a y b) Aplicación de criterios de mayor actividad del lóbulo principal de un abanico a partir de evidencias geomorfológicas (Santos y Marquínez, 2004) y (c) modelo de zonificación con incremento de la peligrosidad desde su ápice (Kesseli y Beaty, 1971, recogido en Gutiérrez, 2008).

conglomerados permotriásicos muy impermeables. Además, la pobre cobertura vegetal y la intensa roturación en cultivos (Fig. 8a), junto con la precipitación antecedente con alta saturación de los suelos de la cuenca, propiciaron unas condiciones extremas de incisión de regueros y cárcavas, acompañadas de procesos de *piping* que provocaron corrientes de alta viscosidad y flujos. En estas cuencas semiáridas se considera que en los barrancos se pueden llegar a producir retrocesos volumétricos de hasta 4 m³/año. De hecho, uno de los principales agravantes de la crecida fue la elevada carga sólida aportada suponiendo el material arrastrado por las aguas casi el 40% de un total que sumaba alrededor de 2000 m³/s (López Bermúdez y Gutiérrez, 1983; Navarro Hervás, 1985, Pernia, *et al.*, 1987).

El otro aspecto a considerar es la ubicación de la población de Puerto Lumbreras en el tránsito de la rambla de una morfología de cauce confinado entre laderas escarpadas a un canal no confinado, representando una zona de dispersión del flujo que se constituye en un abanico aluvial. A partir de ese punto, apenas existe distinción entre el canal y la zona de desbordamiento, debido al súbito depósito de los materiales arrastrados, no existiendo apenas continuidad superficial del cauce aguas abajo.

La zona de cambio entre la morfología de rambla y abanico viene marcada por la falla Lorca- Alhama que conforma la depresión transversal del río Guadalentín. Este punto define morfológicamente el ápice de un abanico donde la avenida se dispersa y en fun-

ción de su magnitud el caudal termina por infiltrarse más o menos cerca de la zona donde acaba el confinamiento del valle y se abre en depósitos de abanico (Conesa *et al.*, 1996). Constituye el típico ejemplo de cauce de dispersión del flujo (tipo *flood out*) en que el cauce discurre sobreelevado en el eje central de abanico y que se redistribuye radialmente al salir de la zona de encajonamiento del valle (Fig. 9).

El caso del abanico del Nogalte es un ejemplo típico del funcionamiento de sistemas tipo rambla-abanico, característicos de los cursos de agua del Levante español, y que en este caso concreto, se agrava por las condiciones geomorfológicas del corredor del río Guadalentín. El abanico del Nogalte corresponde a la zona de divisoria entre la vertiente Norte (hacia el río Segura) y la Sur lo que contribuye a la indefinición del drenaje de la zona. La evolución de la depresión y su sistema de drenaje actual es compleja y no solo estaría condicionada por la actividad geológica reciente, sino también por modificaciones antrópicas por medio de drenajes artificiales.

Según la evolución geológico-histórica expuesta por Silva *et al.* (1996) esta depresión, drenada originariamente durante el Terciario hacia el NE, desarrolló durante el Pleistoceno una cuenca endorreica dominada por sistemas de abanicos y sistemas lagunares distales. Su apertura de nuevo hacia el Mediterráneo, por el Segura, se hace a través de dos de las grandes arterias que llegan a la depresión, las del Sangonera y del Guadalentín. La conexión con el río Segura sufrió una importante agradación de-



Fig. 8.- (a) La erosión acelerada por usos intensivos del suelo en la cuenca de la rambla de Nogalte a raíz de la avenida de 1973, que ocasionó el incremento de la carga y (b) zona distal de dispersión del flujo y desaparición de la rambla con depósito de abundantes limos.



Fig. 9.- (a) Aspecto inofensivo de la rambla de Nogalte poco después de la riada de 1973 y (b) el amplio puente de Puerto Lumbreras, que quedó cegado por la avenida, y sus efectos en las construcciones situadas en los márgenes de la rambla.

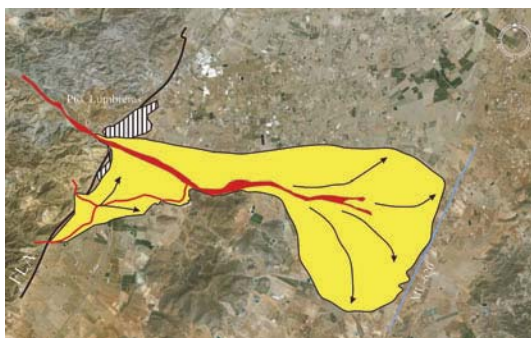


Fig. 10.- Mapa del abanico de la rambla del Nogatle (Ortega et al., 2009) señalando la falla activa de Lorca-Alhama (FLA).

sarrollándose una extensa zona endorreica en la zona de Murcia que provocaba importantes inundaciones, por lo que tuvo que ser drenada por el canal del Reguerón en 1887. A su vez, el río Guadalentín, que tendría previamente su comunicación directa al Mediterráneo por el Este (como se observa aún en cartografías de 1600), fue capturado también hacia el Norte y su comunicación con el Sangonera se favoreció por medio de canales artificiales durante sucesivas etapas (posiblemente con el desarrollo de la Huerta de Lorca durante la época árabe y tras la inundación de 1651).

La falta de capacidad de desagüe de los ríos de esta depresión puede explicarse por su reciente y en parte artificializada apertura, con lo cual la red de drenaje no está suficientemente configurada, y siguen dominando los canales distribuidores con predominio de sedimentación. Se puede hablar de un complejo sistema en que la tendencia natural es aprovechada por el hombre, por un lado, para protegerse de las inundaciones pero, por otro, para reutilizarlas en su beneficio, pues redireccionaban las *aguas turbias* de las crecidas mediante el sistema de *boqueras* hacia las zonas que les interesaba rellenar con depósitos a través de la adecuación de los canales (Morales, A. y Box, M., 1986).

El reciente mapa de peligrosidad por avenidas en la zona (Fig. 10, Ortega *et al.*, 2009) pone de manifiesto la complejidad de representación de estas zonas por la falta de continuidad del cauce que trasmite los caudales, así como de la modelización hidrológica e hidráulica de los sistemas distribuidores.

EL CASO DEL BARRANCO DE ARÁS (BIESCAS)

El 7 de Agosto 1996 una colada de lodo y de agua arrasó el Camping Las Nieves en el barranco de Arás (Biescas, Huesca) causando 86 muertes y más de un millón de euros en pérdidas, sin contar las indemnizaciones.

El barranco de Arás es un afluente perpendicular al valle glaciar del río Gállego, desarrollado sobre las turbiditas del Eoceno surpirenaico, compuestas por secuencias rítmicas de areniscas y margas intercaladas con bancos de calizas que les



Fig. 11.-El abanico del barranco de Arás después de la avenida de 1996 (a) visto desde aguas abajo con el nuevo cono de derrubios depositado justo antes de alcanzar el camping; (b) detalle del frente del cono de derrubios acumulado y (c) una de las presas de contención dentro del barranco, ya rota y vaciada de sedimentos (observar las cicatrices erosivas existentes sobre las morrenas al fondo que indican la continuidad en la actividad de los procesos).

confieren una gran inestabilidad. La morfología de la cuenca está definida por una cubeta colgada en la que se encaja el tramo bajo del barranco con fuerte pendiente. La cuenca tiene 18,8 km² y una altitud entre 2189 y 940 m, o sea, 1239 m de desnivel que propician la formación a su salida de un gran cono de 52,4 ha de extensión (García Ruiz, 1996; Martínez Goytre *et al.*, 1996).

Durante el último Pleniglacial (50000 años) el valle del río Gállego fue ocupado por una lengua glaciar que depositó lateralmente sus morrenas, cerrando los valles afluentes como el de Arás (Fig.11a, Gutiérrez *et al.* 1999). Otro cordón inferior con depósitos de morrenas a menor altitud representa el retroceso del glaciar (20000 años). Ambos cordones morrénicos dieron origen a lagos laterales rellenos de depósitos fluviolacustres. Finalmente el río Gállego, tras el retroceso glaciar, volvió a ocupar el lecho de su profundo valle, por lo que el barranco de Arás tiene que vencer un gran desnivel excavando su valle actual en estos depósitos de morrenas laterales. El till morrénico está formado por una matriz muy poco cohesiva de gravas y arenas que soporta grandes bloques y llega a tener 100 m. de potencia. Por otra parte los rellenos fluviolacustres son básicamente arcillosos. Estas litologías junto con la roca turbidítica del substrato y las fuertes pendientes propician una gran inestabilidad y los movimientos en masa, que son frecuentes en todas las laderas.

El barranco ha sido tradicionalmente muy activo, generando problemas en la carretera nacional que lo corta. Por ello, en la década de 1950 se realizaron unas obras de corrección, consideradas modélicas, que consistían en un canal de desagüe escalonado en el eje central del abanico (Fig.11a) que resultó ser la zona más alta topográficamente dada la marcada convexidad del abanico. Además, se acompañó de una ingente obra de ingeniería con 22 presas de mampostería (de hasta 11 m de altura y 40 m de anchura) asentadas sobre la morrena para la retención de los sedimentos del barranco.

En las fotos aéreas de 1957 el abanico se muestra bastante activo, y con un cauce funcional lateral, no en el eje del abanico. Por el contrario, en las fotos de 1980, el abanico aparece ya colonizado por la vegetación, lo que puede justificarse por las correcciones en el cauce (estas presas se rellenaron en menos de 10 años según las estimaciones por datos dendrocronológicos) y, además, por la poca pluviosidad de ese periodo.

Durante la avenida de 1996, se produjo la rotura de la mayoría de las presas que junto con la apertura de un nuevo cauce sobre la morrena lateral, sumaría un total de 50000 m³ de sedimentos (136000 t) que rellenaron y desbordaron el encauzamiento artificial central y el flujo recuperó el cauce activo en 1957, que representaba la zona topográficamente más baja (García Ruiz, 1996). La alta carga en sedimentos de la rotura de las presas, depositó un nuevo cono de derrubios, inmediatamente a la salida del confinamiento (Fig.11b). Los depósitos del nuevo lóbulo no llegaron a la zona de ubicación del camping, en-

tre el encauzamiento y el cauce antiguo, pero sí las aguas desbordadas a alta velocidad, que ocasionaron las víctimas. Numerosos especialistas y lugareños habían expresado previamente la alta peligrosidad de ese abanico.

Los valores de caudales del 7 de agosto de 1996 estimados por diversos autores y diferentes métodos oscilan entre 400 y 600 m³/s (García Ruiz, 1996; Benito *et al.*, 1998 y Alcoverro *et al.*, 1999). El caudal interpretado por la versión oficial, sin embargo, lo rebajaba a menos de 300 m³/s, lo cual justificaba la capacidad del encauzamiento artificial (140 m³/s), que no se vería excesivamente sobrepasada.

Aún así, lo más sorprendente del informe exculpatorio, se refiere a la estimación del período de recurrencia del evento. El análisis estadístico de caudales, llevó a atribuir a la avenida un período de retorno superior a los 5000 años, mientras que el caudal de la avenida de diseño de 500 años de período de retorno se había evaluado en 100 m³/s. Según este informe, con dicha crecida de 500 años, no se habrían roto los diques de consolidación del torrente, ni superado la capacidad del encauzamiento en el cono de deyección. En consecuencia justificaron que “*puesto que la repoblación forestal y los diques consiguieron una reducción sustancial de materiales sólidos en los cauces y el encauzamiento mantenía el flujo de líquidos y sólido en sus cajeros, se habría logrado la extinción del torrente y la desactivación de su cono de deyección mientras no ocurrieran avenidas superiores a la de diseño*”.

Cuatro años después del desastre, el caso fue archivado por la vía penal en la Audiencia de Huesca basándose en que la riada era imprevisible y el suceso se produjo por “*factores extraordinarios, que no se conocían, ni preveían y difícilmente se podían prever*”, y los damnificados obligados a pagar las costas. Las víctimas y afectados, después de abrir de nuevo diligencias por la vía civil, consiguieron finalmente ver reconocidos sus derechos de cobro de indemnizaciones, aunque diez años más tarde.

Como epílogo, cabe señalar que en los años siguientes se invirtieron millones de euros en dos nuevos encauzamientos y presas para la contención de sedimentos y agua, y tratar de recuperar los terrenos del camping. Después de 15 años nadie a reocupado la zona inundada. No existe ningún monumento ni referencia al suceso ni a las víctimas. En cambio, se han instalado unos vistosos paneles explicativos sobre la existencia de unas *peculiares* formas geológicas de erosión, las chimeneas de hadas, desarrolladas sobre las también *curiosas* morrenas glaciares. El anecdotario geológico se olvida de explicar que las llamativas *Señoritas de Aras* lo que realmente representan son impresionantes cicatrices de erosión, con una dinámica activa e imparable, y a cuyo pie se seguirán acumulando los mantos de derrubios que periódicamente arranca la dinámica natural de un torrente activo encajándose en unas laderas inestables y con fuertísima pendiente.

CONCLUSIONES

Cuando a un geólogo se le pregunta si un proceso puede o no considerarse activo, la pregunta que surge es: ¿las causas que originaron ese proceso siguen estando ahí? Si las causas continúan, el proceso, aunque frenado, latente o parcialmente enmascarado sigue siendo potencialmente activo.

Las presas de retención y la reforestación, si bien paliar a corto plazo la movilización de sedimentos, no modifican definitivamente las características del torrente, y una vez rellenas constituyen un obstáculo en el perfil longitudinal que la dinámica natural del barranco en su evolución hacia su estabilidad tratará de erosionar. Mientras las laderas sigan siendo inestables, el barranco aportando agua y el perfil longitudinal encajándose, es difícil considerar que los torrentes puedan estar extinguidos y los abanicos aluviales desactivados.

La convivencia del hombre con los procesos naturales, en el modelo economicista actual, podría reducirse a un análisis coste/beneficio. Es una cuestión de cuantos daños somos capaces de asumir a costa de obtener determinados beneficios. En el caso de desbordamientos fluviales los daños son básicamente materiales, pero la violencia de las avenidas torrenciales puede ocasionar, además, muchas víctimas humanas. En cualquier caso lo que no podemos hacer es minusvalorar los peligros e ignorar o despreciar un entorno previamente dinámico, dejándonos ensimismar por la espiral de falsa sensación de seguridad que muchas de las denominadas obras de defensa introducen en la dinámica del paisaje.

ALGUNAS PROPUESTAS SOBRE ACTIVIDADES DIDÁCTICAS

El caso de la rambla del Nogalte

La rambla del Nogalte constituye un magnífico ejemplo para trabajar el funcionamiento hidromorfológico de los sistemas Rambla - Abanico.

Los mapas topográficos y geológicos (Hoja nº 953 del M.T.N. e:1:50.000) de la zona permiten delinear la cuenca de drenaje, diferenciando la parte alta y media dominada por el encajamiento de una densa red de drenaje, condicionada por las litologías impermeables, que favorece la rápida escorrentía y la producción de fuertes caudales.

Queda a su vez perfectamente diferenciada en ambos tipos de mapas, la morfología radial del abanico con el carácter distribuidor de sus cauces (la mayoría de ellos convertidos en canales de drenaje artificiales) y los puntos de dispersión del flujo. Estos aspectos pueden cotejarse después con lo que se puede deducir a partir de las fotos aéreas, e incluso Google-Earth donde se puede apreciar la diferente coloración de los lóbulos más activos. Se puede analizar también la dificultad de delinear zonas de peligrosidad y la limitación de considerar el cambio radial de las zonas inundables.

Dentro de un contexto más regional se puede observar el drenaje del corredor del Guadalentín, la divisoria de aguas del abanico del Nogalte y la apertura de su drenaje hacia el Segura, al Norte, ayudado por canalizaciones artificiales.

Este caso, finalmente constituye un magnífico ejemplo para discutir la gestión antrópica tradicional del agua y del territorio, la convivencia del hombre con las inundaciones y su aprovechamiento, así como una evolución histórica ligada a una dinámica morfológica.

Cuestiones para plantearse sobre el abanico de Arás y las causas de la catástrofe de 1996

Se puede trabajar con materiales como las fotos aéreas de la zona (foto aérea: Septiembre de 1977 (fotos: 177-B nº 11,12 y 13, e. 1:18.000) y de Septiembre de 1957 del vuelo americano (rollo 583 nº 58158, 59 y 60, escala aproximada.1:30.000) y otras fotos del cono después de la avenida del 7 de agosto de 1996. Los mapas topográfico y geológico (Hoja nº 177 del M.T.N. e:1:50.000) ofrecen también unas perspectivas importantes sobre la zona. Se dispone además de una bibliografía exhaustiva sobre el suceso.

El trabajo de partida se basaría en el análisis de los cambios recientes ocurridos en la zona y la caracterización del escenario del suceso. Para ello se realizará la comparación de la interpretación de la foto aérea de septiembre de 1977 con la foto aérea de septiembre de 1957 observando especialmente los cambios en la morfología, drenaje y en los usos del suelo, vegetación y deforestación (Garzón *et al.*, 2009).

Como guía para la interpretación y para sacar conclusiones, se proponen las siguientes cuestiones:

- ¿Qué cambios se han producido dentro del abanico, en los cauces y en la vegetación entre la foto de 1957 y la foto de 1977? y ¿cuáles pueden ser las razones para ello?
- ¿Son estos cambios suficientes para considerar el cono desactivado y el torrente extinguido, tal y como se consideró en el informe oficial?
- ¿Parece idónea la ubicación del camping a partir de su posición relativa en el abanico?
- ¿Contempla la legislación española actual la zonación de riesgos de inundación en abanicos aluviales (ver Ley de Aguas y su reglamento)? ¿Son suficientes las figuras de zonificación existentes respecto a la definición de cauce ordinario y sobre la zonificación del Dominio Público Hidráulico? ¿Cómo se considerarían dentro de la ley las ramblas y los abanicos aluviales?

Otras propuestas sobre posibles temas de trabajo

- Valora si existe en tu comarca o zona de campo conocida algún sistema torrencial o aparato tipo abanico. ¿Se aprecia en mapas, fotos aéreas o Google Earth? ¿Cómo puede identificarse y qué procesos lo caracterizan?

- Indaga si han ocurrido eventos catastróficos conocidos dentro de dicho sistema torrencial. ¿Están recogidos por fuentes orales o registrados en algún periódico o archivo local?
- ¿Cuál es la percepción de los lugareños sobre sus causas y sobre su peligrosidad?
- Observa en el campo si se pueden identificar diferentes lóbulos o zonas de mayor o menor actividad dentro del abanico. ¿Cómo son los cauces y qué tipos de depósitos producen? ¿Existen puntos de pérdida o dispersión del flujo? ¿Aporta algo la vegetación sobre las zonas de actividad?
- Valora la peligrosidad y el riesgo. ¿Pueden identificarse zonas sobreelevadas, de fuerte pendiente, donde sea previsible la ocurrencia futura de un cambio brusco de localización del cauce o avulsión? ¿Qué elementos antrópicos o infraestructuras existen en el abanico y cómo pueden afectar al desarrollo *natural* de una inundación y a ellos mismos?

BIBLIOGRAFÍA

- Alcoverro, J., Corominas, J. y Gómez, M., (1999). The Barranco de Arás flood of 7 August 1996 (Biescas, Central Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*, 51: 237-255.
- Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina, J. (2002). *Riesgos Naturales*. Ariel Ciencia, 1520 pp.
- Benito, G.; Gordeck, T. y Enzel, Y. (1998). The geomorphic and hydrologic impacts in the catastrophic failure of flood-control dams during the 1996 Biescas flood (Central Pyrenees, Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 42, 417-437.
- Bull, W.B. (1977). The alluvial fan environment. *Progress in Physical Geography*, 1, 222-270.
- Bull, L.J. y Kirkby, M. J. (2002). *Dryland Rivers. Hydrology and Geomorphology of semi-arid Channels*. J. Wiley, 388 pp.
- Committee on Alluvial Fan Flooding, (1996). *Alluvial Fan Flooding*. Water Science and Technology Board Commission on Geosciences, Environment, and Resources National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
- Conesa García, C.; Álvarez Rogel, y.; Belmonte Serrato, F.; Vivero Martínez, M^a A. y Rodríguez Tello, T. (1996). Simulación mediante S.I.G. de áreas inundables en el tramo inferior de la rambla de Nogalte (cuenca Segura). En: *Modelos y Sistemas de Información en Geografía*, Universidad del País Vasco. Vitoria. 192-202.
- Elizaga, E. y Lendinez, A., (1985). Dinámica fluvial de la plana de Levante (Provincia de Castellón y Valencia). *Geología y Prevención de daños por inundación*. Madrid.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (1990). *FAN: An Alluvial Fan Flooding Computer Program, User's Manual and Program Disk*. FEMA, Washington, D.C.
- García Ruiz, J.M. (1996). *La catástrofe del barranco de Aras (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología. 54 pp.
- Garzón Heydt, G.; Garrote Revilla, J.; Martínez Goytre, J.; Ortega Becerril, J.A. y Potenciano de las Heras, A. (2009). *Peligrosidad y riesgos morfológicos en el sistema fluvial. Cuaderno de Practicas*. REDUCA (Recursos Educativos). UCM.
- Gómez Villar, A., (1996). *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Geonorma, Logroño, 192 pp.
- Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. y Sancho, C., (1999). La avenida del 7 de agosto de 1996 en la cuenca y abanico aluvial de Arás (Valle de Tena, Pirineos centrales). Aspectos geomorfológicos y sedimentológicos. *Revista Sociedad Geológica de España*, 11: 71-85.
- Gutierrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson, Prentice Hall, 898 pp.
- López Bermúdez, F. y Gutiérrez Escudero, D. (1983). Descripción y experiencias de la avenida e inundación de octubre de 1982 en la Cuenca del Segura. *Estudios Geográficos*, 44, 87-100.
- Martín Vide, J. P., (2005). *Ingeniería de ríos*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Martínez Goytre, J.; Martínez Gil, J. y Garzón Heydt, G. (1996). La prevención de riesgos naturales. El caso de Biescas. *Tierra y Tecnología*. 14-15, 26-30.
- Morales, A. y Box, M. (1986). El aprovechamiento del agua y los suelos en un dominio semiárido: La cuenca del Barranco Blanco, Agost (Alicante). *Investigaciones Geográficas*, Anales de la Universidad de Alicante. Instituto Universitario de Geografía. 7-24.
- Navarro Hervás, F. (1985). Morfoestructura y comportamiento hídrico de la rambla de Nogalte. *Actas IX Coloquio de geografía*, T.I, Asociación de Geógrafos Españoles. Murcia
- Ortega Becerril, J.A., Garzón Heydt, M.G., García López-Davalillo, J.C. y Rodríguez Franco, A. (2009). Funcionamiento de la rambla de Nogalte (Murcia) durante avenidas. Implicaciones para la cartografía de peligrosidad por riesgo de avenidas. *Congreso Internacional sobre Desertificación ICOD*. Murcia.
- Pernia, J.M., Del Val, J., Simon, A., Boquera, J. y Artaiz, C. (1987). *Mapa predictor de riesgos de inundaciones en núcleos urbanos*. IGME. 57 pp.
- Romero Cordón, E., Duran Valsero J.J., Fernandez, J., Ruiz López J.L., (1989). Reconstrucción e interpretación Sedimentaria de la Avenida de Octubre de 1973 en la Rambla de Albuñol (Granada). *XII Congreso Español de Sedimentología*.
- Ruiz Pérez, J.M., (1998). La avulsión del río Albaida en la llanura de inundación del Júcar (Valencia). En Gómez Ortíz, A. y Salvador Franch, F. (eds), *Investigaciones recientes de la Geomorfología Española*. Barcelona, 273-282.
- Santos, R. y Marquín, J., (2004). Metodología para la zonificación del riesgo torrencial a escala regional. En Benito, G. y Díez Herrero, A. (eds), *Riesgos naturales y Antrópicos en Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología y CSIC, 37-46.
- Schumm, S.A., (1977). *The fluvial System*. John Wiley, 338 pp.
- Schumm, S.A., (2005). *River Variability and Complexity*. Cambridge University Press.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardají, T., (1996). Evolución reciente del drenaje en la Depresión del Guadalentín (Murcia). *Geogaceta* 20, 1385-1389. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 21 de enero de 2009 y aceptado definitivamente para su publicación el 10 de julio de 2009.