

UTILIZACION DE LAS CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LOS CAUCES FLUVIALES COMO METODO DE ESTUDIO DE LA DINAMICA DE CUENCAS MONTAÑOSAS QUE NO DISPONEN DE REGISTROS LIMNIMETRICOS

Nuria Clotet i Perarnau*
Frances Gallart i Gallego*

RESUMEN

Exponemos un método de estudio de la dinámica de grandes cuencas montañosas, que no disponen de datos hidrológicos, basado en los caracteres cualitativos y semicuantitativos de los cauces fluviales y algunos aspectos geomorfológicos de las cuencas elementales.

Los datos utilizados proceden únicamente de observaciones de campo sin precisar de costosas instalaciones, y con su tratamiento estadístico se obtiene una buena información sobre las condiciones hídricas de los distintos cauces y su grado de actividad, permitiéndonos establecer una tipología relativa de las cuencas elementales como suministradoras de caudales sólidos.

SUMMARY

In order to study the flood and sediment pattern of the high Llobregat basin (a mountainous catchment of about 500 Km² with only two staff gauges) we have used a method which consists of an inventory of the geomorphic and geometric characteristics of the stream channels.

358 points in the drainage net have been selected to report observations on the sediment grain size, lithology, mobility; on some other geomorphic aspects like bed stability, presence of gullies or mass-movements, etc.; and we have also measured the hydraulic parameters of the minor bed and the trash lines laid by the last flood.

* Institut Jaume Almera, C.S.I.C. Apartat 30.120. 08028 Barcelona.

Such data have been analysed to obtain a stream channel classification of the stability and sediment transportation (8 standards), a qualitative classification of the basins, and an ordinal or semiquantitative classification of the degree of activity of each basin. The latter has been subordinated to the qualitative one because we have evidenced a dependence between them.

The method partly described in the paper is a relatively cheap tool useful to obtain a general pattern of the basin, and especially to aid the choice of some representative catchments to be instrumented.

Una de las características esenciales de las cuencas montañosas mediterráneas es la gran diversidad del medio en que se emplazan, y su funcionamiento global depende de una serie de factores, como la variedad litológica del área, las diferentes coberturas vegetales y su grado de conservación, las variaciones topográficas, la actividad geomorfológica actual que condiciona la presencia o no de sectores degradados, los cuales de existir suministran la mayor parte de los caudales sólidos que transportan los torrentes y las intervenciones antrópicas que algunas veces con acciones incorrectas provocan el inicio de ciertos procesos degradantes del medio o empeoran las condiciones físicas ya existentes. La pluralidad de factores interdependientes del medio físico de los cuales dependerá directamente el funcionamiento de la cuenca, implica una gran diversidad de los cauces en sectores de montaña y que el aspecto que presentan los torrentes sea muy dispar.

Otro carácter común a la mayoría de nuestras cuencas montañosas es, desgraciadamente, la falta de una buena red hidrométrica y meteorológica, que proporciona los datos imprescindibles al pretender estudiar las relaciones existentes entre aspectos hidrológicos y geomorfológicos de una cuenca.

El método que hemos utilizado en una cuenca pirenaica de 500 km² intenta suplir al máximo las deficiencias creadas por esta falta de datos cuantitativos (Clotet, N., 1984).

Partiendo de la hipótesis de trabajo de que existe una relación estadística entre la frecuencia de un caudal determinado y la configuración del lecho por el que circula (Tricart, 1960) y que el aspecto de la red hidrográfica de una cuenca representa la síntesis de su evolución geomorfológica, los trabajos de campo a realizar tendrán como objetivo básico recoger la máxima información sobre los diversos aspectos de la red fluvial de la cuenca.

Esta información constituirá un depósito de datos, que tratados estadísticamente nos permitirá establecer relaciones entre los caracteres de los lechos, así como correlacionar estos caracteres con otros factores cualitativos y cuantitativos de la cuenca estudiada.

Para la recogida de información en el campo, es conveniente la utilización de algún cuestionario adaptado a las condiciones del medio, que aparte

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LOS CAUCES

de facilitarnos la recogida de datos nos uniformice las observaciones a efectuar.

El test en cuestión debe contener como mínimo los siguientes apartados:

a) Datos de tipo cuantitativo:

- Parámetros geométricos del lecho menor.
- Morfometría del cauce correspondiente a la última crecida observable.
- Caudal puntual en el momento de la observación.
- Calidad del agua, es decir, concentración de materiales en suspensión transportados puntualmente.

Este tipo de datos tendrán que ser tomados repetidas veces puesto que no son parámetros estables.

b) Datos de tipo cualitativo:

Estos parámetros son, en principio, estables y no tendremos que repetir las observaciones a no ser que se produzca una crecida extraordinaria capaz de variar estos caracteres.

Los aspectos a considerar son:

- La localización geomorfológica del cauce.
- La granulometría y litología de los materiales detríticos, que nos indicarán la contribución de cada cuenca en materiales sólidos, nos informarán sobre los sectores más suministradores de cada cuenca, sobre la importancia relativa entre sólidos en suspensión y carga de fondo, y finalmente también nos proporcionará información sobre algunos procesos de vertiente como por ejemplo la presencia de movimientos en masa.
- El grado de movilidad de los aluviones y su abundancia relativa nos indicarán la tonencialidad de cada cuenca. La movilidad de los aluviones queda reflejada en las marcas de impacto que pueden presentar las gravas, en la existencia o no de vegetales en el lecho, en la presencia de precipitaciones carbonatadas que pueden ser desde pequeñas manchas sobre los aluviones hasta la construcción de verdaderas tobas travertínicas.
- Aquellos caracteres descriptivos referidos a la cuenca elemental como conjunto, como pueden ser la existencia de sectores con cárcavas, la presencia de deslizamientos en las vertientes, e incluso aquellas actividades humanas, agrícolas o industriales que modifican el régimen hídrico o de sedimentos de la cuenca.

La localización de los puntos cuestionados debe responder a tres criterios fundamentales. El primero es la accesibilidad de los puntos de observación que deben fijarse pensando sobre todo en los momentos de crecida. El

segundo es que las localidades elegidas deben ser tramos del lecho con estabilidad máxima, es decir cauces calibrados a poder ser sin irregularidades pronunciadas. Finalmente es preciso cubrir los torrentes secundarios como mínimo con un punto de observación por torrente y tener un número máximo de puntos inventariados en la red principal.

Los cuestionarios realizados repetidamente en los puntos de observación nos proporcionan datos referentes a la actividad de cada cuenca elemental. Esta información es esencialmente de tipo cualitativa y semicuantitativa y por tanto difícilmente comparable de una cuenca a otra y aunque permite clasificar los cauces y las cuencas en diferentes categorías, presenta dos importantes inconvenientes:

a) Los datos cualitativos de una cuenca determinada no son independientes de la superficie de la cuenca drenada por lo cual las cuencas de gran superficie han quedado siempre encuadradas en un mismo grupo que representa el de las cuencas medianamente activas con un cierto equilibrio entre los aportes por suspensión, saltación y arrastre.

b) A partir de los datos cualitativos obtenidos no es posible el establecimiento directo de los valores absolutos de los caudales sólidos y líquidos que aportan cada una de las cuencas.

Para obviar estos inconvenientes hemos establecido una clasificación ordinal de la actividad de las cuencas elementales. Partiendo de la idea de TRICART (1960) sobre las relaciones entre los parámetros geométricos de los cauces y la magnitud de los caudales que los ocupan, ideas que han sido también desarrolladas por las escuelas geomorfológicas americana y polaca, utilizamos los caudales calculados con la fórmula de Manning correspondientes al lecho menor y al de la última crecida observable. Estos caudales calculados aunque no correspondan a caudales líquidos reales en el caso del lecho menor, y solamente al caudal punta en el caso de las crecidas, son valores más relacionables con otros parámetros de las cuencas que no las medidas de anchura (LEOPOLD/MADDOCK, 1953) o sección de los canales (GREGORY/PARK, 1976), puesto que estos parámetros son mucho menos representativos de la eficacia de los cauces. Una vez calculados con la fórmula de Manning los caudales correspondientes a los lechos menores, hemos establecido la ecuación de regresión de los caudales obtenidos en función de las superficies drenadas, con el fin de hallar las diferencias normalizadas entre los caudales calculados y los previstos en la regresión. Antes de utilizar estas diferencias normalizadas para la clasificación ordinal de las cuencas realizamos una serie de comprobaciones de la validez del método, en una subcuenca piloto, como veremos brevemente a continuación.

Para la comprobación de la validez del método utilizado tomamos una subcuenca piloto de 21 km² en la que además de los lechos menores, medimos también los cauces ocupados por las crecidas de verano de 1981 (dece-nal) y de 1982 así como la de noviembre de 1982 (cincuentenaria). Con esta

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LOS CAUCES

prueba pudimos demostrar que existe una relación entre las diferencias normalizadas de los caudales de los lechos menores y las características cualitativas de los cauces que tienen relación con la abundancia y/o movilidad de los aluviones. También comprobamos que las relaciones entre los caudales calculados para los lechos menores y para las crecidas muestran relaciones entre sí y con las características de las cuencas (pendientes, índice de capacidad, alturas, superficies degradadas, densidad del drenaje, etc.) que no son al azar sino que obedecen las leyes fundamentales de la hidrología.

Pudimos también demostrar que existe una relación entre la clasificación de todas las cuencas desde el punto de vista cualitativo y las diferencias normalizadas de los caudales de los lechos menores. Este resultado nos ha llevado a subordinar la clasificación cuantitativa a la cualitativa, es decir, hemos clasificado las cuencas elementales separadamente según clases cualitativas.

Los problemas principales que plantea la metodología utilizada surgen del empleo de la fórmula de Manning y sobretodo de la determinación del coeficiente de rugosidad (n). Después de los trabajos de campo en la cuenca prepirenaica estudiada por nosotros, en la que pusimos a punto la metodología que en parte ahora presentamos, vimos que la gran diversidad que existe entre las cuencas elementales montañosas hace que la influencia del coeficiente de rugosidad de Manning sea despreciable. Por esta razón tomamos n como valor constante e igual a 0,07, una vez comprobado que la variabilidad de los cauces estudiados es unas 10 veces superior a la variabilidad de la rugosidad, y que sus variaciones no modifican apreciablemente los resultados obtenidos, siendo por lo tanto innecesario introducir un valor de n que siempre adolece de subjetividad.

La determinación sobre el terreno de la pendiente del cauce, también ha sido problemática en algunas ocasiones, sobre todo en tramos del lecho con pendiente inferior al 1% como sucede en la mayoría de puntos cuestionados sobre la red principal. Con todo, dado que el valor que interviene en la fórmula de Manning para el cálculo de caudales es la raíz cuadrada de la pendiente, el error que podamos introducir con un valor de ésta poco adecuado, es mínimo.

Hay que destacar también la dificultad que representa, en algunos casos, la valoración de los parámetros hidráulicos del lecho menor, el lecho móvil y el de crecida, puesto que los límites entre ellos, en la mayoría de los torrentes secundarios, no son nítidos sino que existe una gradación entre una zona y la contigua. El criterio utilizado ha sido el de considerar como lecho menor el sector en el cual la circulación del agua y la movilidad de los aluviones dificulta el crecimiento de la vegetación no acuática. De los valores obtenidos, comparados con las mediciones de caudales efectuadas en el embalse de La Baells, se desprende que el lecho medio de toda la cuenca estudiada equivale a un caudal que es igualado o superado un 38% de las

veces, es decir, responde realmente a un caudal frecuente, pero los valores obtenidos muestran una excesiva dispersión. En efecto, el 10% de los lechos más grandes lo son unas 63 veces más que el 10% de los más pequeños, y esta diferencia tan considerable no puede aceptarse como resultado de los caudales más frecuentes. En la subcuenca piloto estudiada comprobamos que los lechos menores están bien relacionados con la crecida del verano del 81, pero están mejor relacionados con la superficie ocupada por zonas degradadas, y si añadimos el resultado ya comentado de que el tamaño de los lechos menores está relacionado con las características cualitativas que indican el grado de movilidad de los aluviones, llegamos a la conclusión de que, además de los caudales más frecuentes, las crecidas ordinarias y la circulación de los sedimentos son los responsables del modelado de los lechos menores. En consecuencia, la variable empleada para la clasificación del grado de actividad de las cuencas depende de estos tres factores, siendo admisible que sea el caudal más frecuente para las cuencas poco activas y las crecidas y movilidad de los aluviones para las más activas.

Una vez finalizados los trabajos de campo es conveniente establecer una tipología de los cauces a partir de los datos recogidos con los test. Evidentemente los caracteres que retengamos para la clasificación de los lechos depende de los objetivos que pretendamos alcanzar.

Hay que tener en cuenta que sea cual sea la tipología a que queramos llegar, es necesario establecer dos grupos de cauces bien diferenciados en cuanto a funcionamiento, las cuales podremos subdividir, posteriormente, en las unidades que creamos oportunas. TRICART (1960) define estos dos grandes conjuntos de cauces como "lechos de fondo fijo" y "lechos con fondo móvil".

Los lechos de fondo fijo son aquéllos que están mal adaptados a las exigencias hidrodinámicas de la cuenca, hecho que se traduce en un canal no calibrado. La pendiente de estos cauces es irregular y siempre es difícil diferenciar el lecho menor del mayor puesto que los márgenes son poco nítidos o inexistentes. La permanencia de materiales detríticos en estos cauces es prácticamente nula. Estos caracteres dificultan en gran manera la relación entre análisis morfométrico y caudales frecuentes. En cambio el carácter primordial de los lechos con fondo móvil es la capacidad de adaptación del cauce a los caudales eficaces más frecuentes y de aquí la posibilidad de establecer las condiciones hidrológicas en función de los parámetros hidráulicos que presentan. Los materiales detríticos más o menos abundantes en este tipo de lechos, son de hecho, los que posibilitan esta adaptación a las exigencias hidrodinámicas de las cuencas respectivas. En la mayoría de lechos de este tipo es posible diferenciar el lecho menor del mayor correspondientes a morfogénesis y competencias distintas que implican una zona con discontinuidad granulométrica entre uno y otro. Esta jerarquización entre lecho menor y mayor sólo es válida en aquellos cursos de régimen más o menos

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LOS CAUCES

regular, mientras que en los situados en sectores con fuerte pendiente o los correspondientes a pequeñas cuencas, pasamos, sin intermediario bien definido del canal ocupado por los caudales bajos habituales al lecho mayor de las crecidas.

En nuestro caso, dado que el objetivo a cubrir era conocer la torrencialidad y el aporte de sedimentos de cada cuenca hemos retenido los datos del cuestionario que mejor reflejaban estos aspectos. Los cauces del Alto Llobregat han quedado agrupados en 8 clases:

a) Lechos de fondo fijo:

- Lechos travertínicos (torrencialidad muy baja).
- Lechos rocosos.
- Lechos con aluviones fijados por precipitaciones carbonatadas.
- Lechos enlosados por bloques superiores a la competencia.

b) Lechos de fondo móvil:

- Lechos detríticos con vegetación.
- Lechos detríticos con predominio de gravas y bloques.
- Lechos detríticos con predominio de gravas y bloques recubiertos por precipitaciones de carbonato.
- Lechos detríticos con gravas y bloques con predominio de materiales finos.

Bibliografia

- CLOTET, N.; GALLART, F., 1983. Dinàmica a la conca de l'Alt Llobregat in PUIGDEFABREGAS, C. (Ed.). *Efectes geomorfològics dels aiguats de novembre de 1982*. Informes-1. Pub. del Servei Geològic de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques, pág. 48-113.
- CLOTET, N., 1984. *La dinàmica geomorfològica actual responsable del subministrament de cabals sòlids en una conca muntanyosa: La conca de La Baells (Alt Llobregat)*. Tesi doctoral, Universitat de Barcelona, 310 p. Inédito.
- DURY, G.H., 1981. Magnitude-Frequency analysis and channel morphometry. *Fluvial Geomorphology*, Ed. Morisawa, 91 - 121.
- FROEHLICH, W., 1975. Dynamika fluwialnego Kamienicy Nawojawskiej. *Prace Geograficzne* Nr 14, 122 p. Kraków.
- GREGORY, K.J. / PARK, C.C., 1976. Stream channel morphology in northwest Yorkshire. *Revue Geomorph. Dyn.* 25, 63-72.
- KASZOWSKI, L., 1970. Methods of investigation of contemporary fluvial processes applied in the Kraków centre. *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica* IV, 65-81.
- KASZOWSKI, L., 1973. Morphological activity of the mountain streams (with Biaty Potok in the Tatra Mts. as example). *Prace Geograficzne* 31, 107 p.
- LEOPOLD, L.B. / MADDOCK, T., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *U.S. Geol. Survey Prof. papers*, 252 p.
- LEOPOLD, L.B. / MILLER, J.P., 1965. Ephemeral streams hydraulics factors and their relation to the drainage net. *U.S. Geol. Survey Prof. papers*, 282-A, 37 p.
- TRICART, J., 1960. Les types de lits fluviaux. Mise au point. *L'information Géographique*, n.º 5, 210-214.

Agradecemos la colaboración recibida de J. Calvet durante el estudio de la cuenca del alto Llobregat.