

## Mapas geomorfológicos, ¿por qué?

por Jean L. F. TRICART (1)

Profesor, Director del Centre de Géographie Appliquée.  
(La 95 au CNRS) Université Louis-Pasteur, Strasbourg, Francia.

Una de las innovaciones científicas introducidas por el Profesor L. Solé Sabaris durante su carrera universitaria, ha sido la cartografía geomorfológica. Varias tesinas preparadas bajo su dirección, entre las cuales destaca la de F. Gallart y tesis de doctorado, como las de D. Serrat y de J. Calvet son frutos de esta iniciativa y demuestran su interés científico. El Profesor L. Solé Sabaris ha organizado también, desde el año 1972, seminarios anuales de adiestramiento en la cartografía geomorfológica, con trabajos de campo en varias partes de Catalunya, conferencias e intercambios de ideas permanentes, entre los 15-20 participantes que en ellos se reunían cada vez. Estos seminarios han dado como resultado el conocimiento de esta metodología científica por un grupo de investigadores catalanes de las facultades de Geología y de Geografía e Historia. Despertaron también el interés en la cartografía geomorfológica de otros científicos de España, entre los cuales es preciso destacar especialmente el grupo del Departamento de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza, dirigido por el Profesor S. Mensua; inicialmente este grupo participó en las actividades desempeñadas bajo la dirección del Profesor L. Solé Sabaris y luego pasó a organizar trabajos propios en Aragón, en los que se cartografió la depresión del Ebro (tesis de doctorado de la Profesora M. J. Ibáñez, trabajó de gran interés).

Debemos preguntarnos si esas tentativas son tan sólo la expresión de una moda, una pura imitación de lo que se hace en el extranjero, o si se justifican por su valor propio.

La cartografía geomorfológica se ha desarrollado tarde. Las primeras tentativas de envergadura se realizaron poco después de la segunda Guerra Mundial, con la decisión de la Academia de Ciencias de Polonia de establecer un mapa de todo el país a escala 1/50.000 (\*); pocos años más tarde siguió el levantamiento del mapa geomorfológico del delta del río Senegal (1953-1956) y luego otras investigaciones realizadas en Suiza y Bélgica, siguiendo posteriormente trabajos en los Países Bajos, Italia, Alemania, Hungría, Rumania, Checoslovaquia, etc... De 1956 a 1968 funcionó una Subcomisión de Cartografía Geomorfológica dentro de la Comisión

(1) Es para mí un grato deber agradecer al amigo J. Calvet su cabal revisión del manuscrito en castellano.

de Geomorfología Aplicada de la Unión Geográfica Internacional. Esta Subcomisión, cuyo presidente fue el Profesor M. Klimaszewski de Cracovia (Polonia), fue el cuadro apropiado para intercambios de ideas, discusiones metodológicas, comparaciones de resultados, etc... gracias al apoyo constante de la UNESCO y de la U.G.I. Actualmente, la cartografía geomorfológica es un campo de investigación esencialmente europeo. Han sido científicos europeos los que han formado unos pocos investigadores de otros continentes que han colaborado con ellos en el levantamiento de mapas geomorfológicos en el Canadá, América del Sur y Africa. La superioridad de la ciencia europea en este campo de la investigación es muy clara... Por eso en los Estados Unidos se ignora completamente esa metodología.

El interés de la cartografía geomorfológica se ha comprobado en dos campos principales: el de la metodología y el de las aplicaciones.

### INTERÉS METODOLÓGICO DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

Es paradójico constatar el increíble retraso de la adopción de los métodos cartográficos en el campo de la geomorfología. Ese retraso es una particularidad de la historia de esta disciplina, particularidad que la aleja de las demás ciencias de la Tierra y de la Naturaleza. En efecto, todas las otras ciencias de esta rama del conocimiento han dedicado desde que se diferenciaron, al circunscribirse al estudio de un tema específico, muchos esfuerzos para establecer mapas. La cartografía ha sido desde el inicio, un instrumento metodológico de primera importancia para ellas. El levantamiento de mapas ha permitido que se reúna una información básica que ha desempeñado un papel primordial en la elaboración de los conocimientos. Ello ha obligado a esclarecer los conceptos, a

(\*) El primer mapa geomorfológico conocido fue publicado por S. Passarge, a escala 1/25.000, al inicio de la primera Guerra Mundial, en una revista alemana de poca difusión y permaneció completamente desconocido hasta su «descubrimiento» por los miembros polacos de la Subcomisión de Cartografía Geomorfológica. Antes de la década de los 50, se realizaron varias tentativas en la Unión Soviética, pero han permanecido secretas, como todos los mapas detallados; su influencia internacional ha sido tan nula como la del mapa de S. Passarge.

establecer clasificaciones taxonómicas, a definir criterios de identificación de los objetos estudiados. Además ha proporcionado un instrumento de control de estos criterios y de las clasificaciones taxonómicas, y ha demostrado, por fin, su utilidad para establecer la repartición espacial de los objetos estudiados e investigar sus leyes.

La historia de la geología se confunde con la de la cartografía geológica. En tiempos de Sir John Lyell, su fundador, ya se levantaban mapas geológicos en Inglaterra. Pocos años después de la publicación de la primera traducción francesa de la obra maestra de Lyell, de Beaumont emprendía la preparación de un mapa geológico de Francia. Los mapas de suelos aparecieron también en el mismo momento en que la edafología intentaba definirse como disciplina. Esos mapas reflejan directamente los tuteos metodológicos de la joven ciencia del suelo. Por ejemplo, Rissler, en Francia, había inventado una «geología agrícola» que caracterizaba el suelo únicamente a partir del substrato geológico... Dokuchaev fundó la edafología moderna tomando en cuenta la dependencia de los suelos frente a la vegetación y considerando al suelo como un elemento del «paisaje», caracterizado principal y esencialmente por el tipo de formación vegetal.

No existe nada semejante en la historia de la geomorfología. Ello, en realidad, es una consecuencia de la influencia considerable de W. M. Davis. Este profeta, muy autoritario, estaba iluminado por una especie de fe interna que no toleraba la crítica o la duda. Su obra se caracteriza por una reacción contra la geología que, en su tiempo, ya había llegado a la madurez metodológica. Por eso, él llamó a su famoso ciclo de erosión «ciclo geográfico» como si la geografía debería limitarse a apreciar la profundidad de los valles! Lyell había fundado la geología sobre el principio del actualismo, o sea, insistiendo sobre la necesidad de partir de los hechos observados en el presente para explicar el pasado y reconstruir la situación reinante en un momento de la historia geológica a partir de sus huellas. Davis, al contrario, hacía una apología del uso de la imaginación! La geomorfología debía basarse en la imaginación. No se observaba, método obsoleto que había cegado a los geólogos; se usaba un esquema simplista, el del «ciclo geográfico», a partir del cual se deducían las características del relieve, uniformizado por la «erosión normal»! El pensamiento de Davis estaba enraizado en la escolástica medieval. En estas condiciones, no se necesitaban levantamientos, al contrario. Ellos habrían sido una negación de la filosofía revelada por el profeta. Los mapas habrían merecido ser quemados en un auto de fe. El éxito logrado por las afirmaciones simplicistas de Davis paralizó el desarrollo metodológico de la geomorfología durante medio siglo. En efecto, pocos años antes de las primeras publicaciones de Davis (1890), en Francia, un topógrafo, el General de la Noe, y un joven geólogo, de Margerie, habían descubierto un camino seguro y alagador. Habían dedicado un libro muy bien ilustrado, al estudio del relieve del Jura, en el cual se estudian las relaciones entre las formas y las estructuras geológicas. Esta obra introdujo en el vocabulario científico, términos como «combe», «mont», «val», etc... tomados del vocabulario vernáculo, pero definidos rigurosamente. Varios de ellos se usan en español. Desgraciadamente todo fue paralizado por la rápida conversión del joven de Margerie al Davinismo... Fue tan sólo a finales de la década de los 30 cuando Cholley, en sus cursos de la Sorbona y en unas escasas publicaciones, enseñó nuevas ideas, centrando la atención en los procesos, su

combinación en «sistemas de erosión» (mejor llamados sistemas morfogénicos) y su dependencia del clima. A partir de las enseñanzas de este eminente maestro se ha desarrollado la geomorfología francesa moderna.

Durante la primera mitad del presente siglo, Davis no consiguió imponer su influencia en Alemania. Los geógrafos alemanes estaban, en su mayor parte, bien formados en ciencias naturales. Por ejemplo, Passarge se había graduado como médico antes de convertirse en un naturalista de amplia visión. Él y sus colegas como Pighthoffen, A. Penck, Bruckner eran grandes viajeros y sabían observar. No es por casualidad que el primer mapa geomorfológico fue elaborado por Passarge en el inicio del presente siglo, pero las circunstancias históricas lo han privado por completo de su papel demostrativo. Es así, por una equivocación metodológica grave, que la geomorfología destaca del grupo de ciencias afines, por el descuido con que ha tratado los levantamientos cartográficos. Ello ha traído, como consecuencia, un retraso considerable de la disciplina y su incapacidad de resolver ciertos problemas, incluidos en su campo específico, que han sido planteados por otras ciencias y por varias necesidades prácticas. De ahí el interés demostrado por la UNESCO hacia la cartografía geomorfológica.

Como en las otras ciencias de la Tierra, la cartografía desempeña, en geomorfología, un papel irremplazable para establecer los hechos, para reunir la información, y pone también en evidencia la disposición espacial de los objetos estudiados. Desde este punto de vista el mapa geomorfológico es la base necesaria de todo esfuerzo de cuantificación en el estudio del relieve. En efecto, el mapa representa los procesos morfogénicos y el material en el cual actúan. A partir de ello, puede realizarse un análisis estadístico de la repartición de estos procesos en función de varios parámetros, tales como la orientación, las clases altitudinales, los tipos de materiales, etc... El mapa es como un censo, no debe dejar escapar ningún objeto. Permite evaluar también, la proporción del territorio de un área determinada recubierto por tal o tal tipo de formaciones superficiales, o afectado por tal o tal otro tipo de procesos, como abarrancamiento, movimientos en masa, acciones eólicas, etc...

El levantamiento del mapa requiere que se establezca una leyenda, la cual a su vez, presupone la elaboración de una clasificación taxonómica. Esta comporta una jerarquía de los objetos que entran en ella. Además la leyenda debe basarse en criterios de identificación para que sea posible aplicarla a los objetos observados en el campo. Todo esto es fruto de un esfuerzo metodológico que no se había hecho en geomorfología antes de que fuera necesario para el levantamiento de los mapas geomorfológicos. La leyenda establecida para el levantamiento del mapa geomorfológico detallado de Francia (1/25.000 y 1/50.000) es la primera tentativa de esta naturaleza realizada colectivamente en Francia. Con la experiencia adquirida de su uso en levantamientos realizados por centenas de personas, se prepara actualmente una nueva edición mejorada de aquella leyenda. Dado que esta leyenda fue diseñada de tipo «abierto», no ofrece ninguna dificultad la introducción de nuevos signos para satisfacer las exigencias.

El levantamiento y la elaboración de los mapas geomorfológicos es un ejercicio que requiere mucho rigor intelectual. La elaboración de estos mapas es una forma de tratamiento de la información. Puede diseñarse para almacenar la información en un banco de datos, aspecto que se está estudiando actualmente.

En efecto, el mapa geomorfológico suministra una infor-

mación abundante sobre el medio ambiente, exactamente como los mapas de suelos, de vegetación, como los mapas geológicos, etc... Todos ellos llegan, actualmente a un nivel comparable de precisión y exactitud. Son, por lo tanto, «compatibles» en el sentido informático de la palabra. Pueden, así mismo, entrarse los datos que contienen en un banco informatizado que permite extraer tipos de información definidos respectivos a áreas determinadas. Esa posibilidad ofrece un interés práctico evidente para el ordenamiento del territorio, y es, también, de sumo interés científico para establecer correlaciones estadísticas entre diversos aspectos del medio ambiente, estudiados por disciplinas especializadas que generalmente se ignoran mutuamente.

Así mismo, la cartografía es el principal método del cual dispone la geomorfología para reintegrarse en las ciencias de la Tierra y de la Naturaleza. Es lógico que un geólogo de visión tan amplia y de cultura tan extensa como nuestro amigo el Profesor L. Solé Sabaris haya realizado con éxito un esfuerzo para introducir y desarrollar la cartografía geomorfológica en su país. Todos sus colegas le están agradecidos por ello.

## INTERÉS PRÁCTICO DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

Por ser un poderoso adelanto metodológico de la disciplina, la cartografía geomorfológica es también un instrumento capaz de satisfacer muchas demandas prácticas. Ya hemos indicado como coopera en un mejor conocimiento de nuestro medio ambiente. Vamos a examinar ahora, rápidamente, otras aplicaciones más específicas. Generalmente éstas se apoyan en los mapas geomorfológicos elaborados con fines científicos, pero requieren la preparación de mapas especiales. En ellos, las clases de información que no son útiles para la finalidad escogida se eliminan, para una mayor claridad y simplificación. Al contrario, las informaciones que coinciden con el objeto del estudio se desarrollan más y se establecen con mayor precisión, eventualmente bajo la forma de subdivisiones o de una cuantificación. Además, esta información es objeto de una evaluación orientada en función de los requerimientos de los técnicos a los cuales se destina el mapa. Así mismo, se hace posible la «comunicación» entre el investigador especializado y el técnico, que tiene otra formación y otros intereses. Por todo lo dicho queda bien claro que el mapa geomorfológico «básico» es necesario para plantear los problemas y establecer los anteproyectos de ordenamiento o de equipamiento del territorio. Vamos a dar, ahora, algunos ejemplos del uso de los mapas geomorfológicos en varios campos que ofrecen un interés particular para la Península Ibérica, dadas las características geomorfológicas de ésta.

### *Implantación de equipamientos*

Los equipamientos, tales como carreteras, canales, ferrocarriles, urbanizaciones, fábricas, grandes depósitos, deben integrarse en el cuadro natural a fin de no ser dañados por los fenómenos naturales y para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos ofrecidos por el medio. Vamos a tomar como ejemplo los aportes que la geomorfología ofrece al ingeniero encargado de abrir una carretera.

Una vez tomada la decisión, los estudios preliminares consisten en escoger el trazado exacto en el interior de una

faja de varios kilómetros de ancho. Durante esta etapa se toman en consideración varios criterios, como la topografía, que obliga a excavar trincheras y a edificar terraplenes para lograr una pendiente determinada de la calzada. También, el paso de los ríos, que requiere puentes más o menos largos y honerosos es otro factor de decisión. Todo ello se resuelve a partir de levantamientos topográficos. Pero, la geomorfología debe también ser tomada en consideración. En efecto, la superficie de la Tierra no es un mundo muerto. Sus aspectos cambian permanentemente, a veces lo bastante rápidamente como para que se pueda notar; frecuentemente de manera lenta, insidiosa, difícil de evidenciar. Todos estos cambios son el resultado de la actuación de los procesos morfogénicos. El mapa geomorfológico define su naturaleza y su ubicación. Al igual que el mapa topográfico, éste puede servir como punto de partida para estudios más detallados.

A este nivel preliminar, los elementos que se deben considerar son los siguientes:

- la morfodinámica, o sea los procesos morfogénicos, que son siempre un factor limitante contra el cual deben realizarse obras de protección, como las cunetas que desvían de las trincheras las aguas de escorrentía. En las áreas inestables, donde existe un riesgo de movimientos de remoción en masa, no se pueden excavar trincheras o edificar terraplenes sin peligro de desencadenar estos movimientos. No existen, por el momento, métodos eficientes para estabilizar una vertiente afectada por la remoción en masa. Las áreas donde actúan acciones eólicas plantean también problemas. La construcción de los puentes no es simplemente un problema geométrico; el costo de la obra es función, en gran parte, de las condiciones de cimentación (espesor del material aluvial que se debe atravesar, existencia de fallas en el lecho, por debajo de los aluviones) y de la dinámica del río que puede socavar los pilares del puente y retrabajar sus aluviones.

Se debe extraer del mapa geomorfológico las informaciones relativas a la dinámica, a los procesos actuales y recientes susceptibles de reactivación. Ellos son factores limitantes para la libertad de escoger de los ingenieros. Generalmente, en esta etapa, es necesario completar el mapa geomorfológico con una evaluación de riesgos, principalmente para los fenómenos de remoción en masa.

- los recursos de materias primas para la construcción de la carretera, especialmente las formaciones superficiales, cuya extracción es más fácil y cuyo estudio forma parte de la geomorfología. Por ejemplo, debe indicarse aproximadamente la extensión de las formaciones superficiales que pueden ser usadas para la construcción de terraplenes. Para esto, se toman muestras representativas de las diversas formaciones superficiales y se determinan, para cada una, los parámetros convencionales de los ingenieros, procediendo después a delimitar la extensión en el terreno. De manera similar se procede para las gravas y gravillas que pueden ser utilizadas para el revestimiento del firme o para la preparación del asfalto. Por otro lado, el transporte es una parte muy importante del costo de estos materiales y en ciertos casos un elemento de decisión. En todos los casos este tipo de información sirve para la evaluación del costo de la carretera.

El trabajo realizado se apoya siempre en el mapa geomorfológico básico, lo que lo hace mucho más rápido y más barato. Intercambios de ideas frecuentes y profundizados son necesarios entre los ingenieros y los geomorfolólogos para que el trabajo de éstos pueda ser lo más adecuado posible.

Cuando los ingenieros, tomando en consideración todos

los elementos del problema, han escogido un trazado preciso, una segunda etapa consiste en la preparación de los proyectos. Estos son verdaderos planos de la obra, elaborados con detalle, a gran escala. En ellos debe incorporarse un excelente conocimiento de la geomorfología de la faja de terreno donde se va a ubicar la carretera. Las reservas de materiales que se pretende utilizar deben ser conocidas con precisión. Para eso, se hacen perforaciones. La localización de estos sondeos debe ser definida a partir de los conocimientos geomorfológicos regionales, adquiridos a partir del levantamiento del mapa geomorfológico. Estos mismos conocimientos permiten la interpretación de las perforaciones y la interpolación de los datos obtenidos por ellas. Un buen geomorfólogo obtiene resultados correctos con una densidad de sondeos relativamente baja. Eso significa ahorrar tiempo y dinero.

Otro trabajo del geomorfólogo es determinar el tipo de intervenciones que son susceptibles de asegurar la estabilidad de la obra y su protección frente a los procesos morfogénicos. Por ejemplo, encauzar los torrentes cerca de los puentes para impedir o limitar sus divagaciones y, así mismo, proteger la carretera contra la socavación. En cada caso, se trata de un trabajo de equipo a realizar entre el ingeniero de caminos que dispone de los recursos de la tecnología y el geomorfólogo que aporta su conocimiento de la naturaleza. Naturalmente, es bueno que el geomorfólogo conozca unos rudimentos de ingeniería para que el diálogo sea más fácil y así mismo también es deseable que el ingeniero tenga algunos conocimientos de geomorfología. Esa cooperación debería mantenerse posteriormente para la conservación de la carretera. En efecto, para ello se requieren también conocimientos geomorfológicos...

Los problemas son exactamente de la misma naturaleza cuando se trata de la implantación de un canal o de un ferrocarril. Lo importante es lograr un conocimiento suficientemente adecuado de la geomorfología para saber usar cabalmente los recursos naturales y para evitar que los procesos morfogénicos impidan la construcción de la obra o hagan su mantenimiento muy difícil o incluso, problemático.

### *Conservación de tierras y aguas*

Los procesos morfogénicos, cuando son bastante intensos, impiden la formación de los suelos o destruyen los suelos que ya existen. Los recursos biológicos se encuentran en peligro. Los rendimientos de los cultivos bajan y paulatinamente se hace imposible el cultivo de la tierra. La roca desnuda aflora, como en muchos paisajes de cárcavas frecuentes en España. Mientras los procesos morfogénicos destruyen la tierra, acaban también con los recursos de agua. En efecto, es el horizonte superior, húmico, de los suelos, el que desempeña el mayor papel en el régimen hídrico. Una vez destruido, el suelo se impermeabiliza rápidamente por el impacto de las gotas de lluvia. Incluso sin que el suelo esté saturado de agua, se escurre el agua. El resultado es un régimen torrencial, con crecidas violentas cada vez que llueve y periodos de estiaje pronunciado, sin escurrimiento, durante las sequías. El agua ya no es un recurso puesto que falta cuando se la necesita, sino un peligro por los daños que provoca durante estas crecidas violentas.

La degradación de las tierras y la de las aguas son dos manifestaciones del mismo fenómeno morfogénico. Para impedirlo, es evidente que se deben conocer sus mecanismos.

Las características del suelo intervienen, pero solamente cuando el fenómeno no es todavía muy intenso y deja persistir algo de suelo. Pero, lo más importante es el conocimiento geomorfológico. Los mapas geomorfológicos ofrecen una primera información de alto valor gracias a la cartografía de los procesos, por ella se sabe cuales son los procesos que provocan la degradación y se puede estimar las áreas afectadas. Se conoce también el tipo de material en el cual actúan estos procesos. A partir de eso, se pueden evaluar el riesgo de verlos seguir funcionando o cambiar su actuación. Por ejemplo, cárcavas entalladas en materiales superficiales blandos que cubren rocas coherentes no se pueden encajar más cuando sus talwegs llegan a estas rocas. Ello frena y para la incisión regresiva. No es necesario, en este caso, establecer una serie de pequeños umbrales en su lecho. Al contrario, si la roca es blanda o deleznable, la incisión puede seguir durante siglos y siglos. El aprofundizamiento mantiene la inestabilidad de las vertientes y es acompañado por la incisión regresiva. El terreno perdido por el aumento de la extensión de las cárcavas crece en progresión geométrica en función del tiempo.

El diagnóstico de las manifestaciones de degradación de las tierras y de las aguas es, en su mayor parte, un trabajo de geomorfólogo, cuya fase inicial consiste en una evaluación del mapa geomorfológico.

Cuando se trata de tomar medidas para parar esta degradación, el papel del geomorfólogo sigue siendo de primera importancia. En efecto, para parar un fenómeno, se debe primero conocer exactamente su actuación, para lo cual se requiere un estudio sobre el terreno del funcionamiento de los procesos morfogénicos. Varios métodos, incluidos en la rutina, como la construcción de banquetes pueden ser peor que el mismo abarrancamiento. En efecto, los bacanales cortados en las vertientes arcillosas, provocan frecuentemente, una infiltración excesiva del agua, que hace superar el límite de liquidez, lo que desencadena movimientos en masa. Estos destruyen totalmente la vertiente y pueden amenazar sitios poblados, vías de comunicación, canales de regadío, etc... Pueden también represar aguas de un torrente. Hemos observado numerosos casos de este tipo de daños en Marruecos. Para escoger un tipo de tratamiento de conservación o de rehabilitación de las tierras, se deben conocer perfectamente los procesos morfogénicos que actúan o pueden actuar en el área como consecuencia de las propias intervenciones del hombre. Esta es la tarea del geomorfólogo.

El ejemplo de la conservación de las tierras y aguas ofrece un interés muy general. En efecto, la mayor parte de la energía disponible en los ecosistemas es susceptible de realizar un trabajo morfogenético. Ahora bien, las morfogénesis se traduce por una inestabilidad ambiental fundamentalmente contraria a la vida tanto de las plantas como de los animales; es un factor de disminución de la productividad biológica. La geomorfología es una de las disciplinas que deben tenerse en cuenta en los estudios ecológicos. Los mapas geomorfológicos son, así mismo, uno de los documentos básicos de los cuales se debe disponer para conocer nuestro medio ambiente.

La cartografía geomorfológica permite una renovación metodológica de la geomorfología, que la inquietud de la opinión pública al respecto de nuestro medio ambiente hace muy urgente. Le permite, también, prestar importantes servicios tanto a los ingenieros como a otros científicos. Es un eminente mérito del Profesor L. Solé Sabaris haber dedicado muchos esfuerzos a la introducción de este tipo de investiga-

ción durante los últimos años de su actuación como director del Departamento de Geomorfología y Tectónica de la Universidad de Barcelona. Su talento, tanto como investi-

gador como en la docencia le ha hecho lograr un éxito demostrado por la calidad de los trabajos de sus propios alumnos.