El Mapa Geomorfológico. Una cartografía geológica peculiar y útil

O Mapa Geomorfológico. Uma cartografia geológica peculiar e útil

The Geomorphological Map. A geological mapping peculiar and useful

Ángel Martín-Serrano García
Instituto Geológico y Minero de España
Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid, España
a.martinserrano@igme.es

Palabras Clave: Geomorfología, Cartografía temática, Revisión histórica, Uso
Palavras Chave: Geomorfologia, Cartografia temática, Revisão histórica, Uso
Key Words: Geomorphology, Thematic cartography, Historical review, Use

Resumen

El mapa geomorfológico es una cartografía temática de orden geológico que muestra las formas del terreno, su distribución y las relaciones entre sí. Se realiza una revisión histórica de su desarrollo, desde su aparición a principios del siglo XX hasta el momento actual, incidiendo en el papel catalizador y unificador de la Unión Geográfica Internacional (IGU) y en su implantación y crecimiento a nivel institucional en los distintos países. También se analiza su contenido y los distintos formatos o tipos de mapas geomorfológicos más utilizados.

Especial atención se tiene con el desarrollo de esta cartografía en España y el papel del IGME en él, destacando su diseño de mapa sistemático a escala 1:50.000 y sus derivados, elaborado y editado junto al geológico a la misma escala.

Por último, a pesar de su complejidad se subraya la utilidad de este mapa pues constituye una exhaustiva base de datos del terreno sobre el que nos movemos con aplicaciones tanto académicas como profesionales.

Resumo

O mapa geomorfológico é uma cartografia temática de ordem geológica que mostra las formas do terreno, a sua distribuição e relações entre si. Realiza-se uma revisão histórica do seu desenvolvimento, desde a sua aparição em princípios do século XX, até ao momento atual, incidindo no papel catalisador e unificador da União Geográfica Internacional (IGU), na sua implantação e crescimento a nível institucional, nos distintos países. Também se analisa o seu conteúdo, bem como os distintos formatos ou tipos de mapas geomorfológicos mais utilizados.

É dada especial atenção ao desenvolvimento desta cartografia em Espanha e ao papel do IGME nesse processo, destacando-se o seu desenho de mapa sistemático à escala 1:50.000 e seus derivados, elaborado e editado conjuntamente com o geológico à mesma escala.

Por último, apesar da sua complexidade, sublinha-se a utilidade deste mapa, pois constitui uma base exaustiva de dados do terreno sobre o qual nos movemos, com aplicações tanto académicas como profissionais.

Abstract

The geomorphological map is a thematic map of geological order that shows the forms of the terrain, their distribution and the relations between them. A historical review of its development, from its appearance at the beginning of the twentieth century up to the present moment, focusing on the catalytic and unifying role of the International Geographical Union (IGU) and its implementation and growth at the institutional level in the different countries. It also analyzes its content and the different formats or types of geomorphological maps most used.

Special attention is given to the development of this cartography in Spain and the role of the IGME in it, highlighting its systematic map design at scale 1: 50,000 and its derivatives, elaborated and edited along with the geological to the same scale.

Finally, in spite of its complexity, the usefulness of this map is emphasized as it constitutes an exhaustive database of the terrain on which we move with both academic and professional applications.

I. Introducción

La Geomorfología es la ciencia de las formas de la superficie de la tierra y los procesos de creación y remodelación de ellas. Es una ciencia que incorpora parte de muchas disciplinas científicas, muchas de la Geología, tales como de la geofísica, sedimentología, geoquímica, etc., en menor grado de la hidrología, climatología, edafología, biología e, incluso, de la ingeniería. A todas les une en su efecto común en nuestro medio ambiente.

Visto por un geólogo, esta explicación de la superficie terrestre también podría ser llamada geología de la superficie o geología superficial; y es que lo que se intenta comprender es un paisaje físico cuya explicación pasa ineludiblemente por su geología, ya que esta condiciona tanto estática, o lo que es lo mismo, por la estructura y distribución de las rocas que soportan el paisaje, como dinámicamente, es decir por los procesos geológicos que ocurren sobre esa estructura anterior y lo siguen haciendo en tiempo actual.

Diversas materias, disciplinas o contenidos son los que definen cualquier forma. Es por tanto necesario que todo aquello que las compone quede organizado. La Geomorfología estructura su información, es decir los conceptos de morfología, procesos, génesis, litología y cronología. El primer concepto es la Morfología, la ciencia que estudia las formas, y se divide en morfografía y morfometría; la primera es su descripción cualitativa, la segunda, su descripción medible o cuantitativa. Por otra parte es evidente que la génesis de cualquier forma desarrollada sobre la superficie terrestre tiene su origen por la actividad de un determinado proceso geológico; éste, es el responsable de la creación de la forma, y se define mecánicamente por sí solo. Además, cada forma se esculpe o se construye sobre una determinada litología, y ésta, define la naturaleza y composición de las rocas. Y por último, la cronología que es la ciencia de tiempo y en la geomorfología se usa en el sentido de la edad geológica de creación de las formas.

Aunque la Geomorfología es un término que aparece en la ciencia en 1880, los pensamientos e ideas sobre el paisaje y los mecanismos que lo crean son, obviamente, muy viejos y las fuentes escritas sobre el tema están disponibles a partir del siglo V a.C. con Herodoto y del siglo IV a.C. con Aristóteles. Pero lo cierto es que no es hasta finales del siglo XIX cuando se recurre a la Geomorfología para comprender y documentar el paisaje.

a b c

Figura 1. La representación histórica del territorio: a, método *montículo*; b, método *hachure*; c, método de curvas de nivel.

2. Principios e Historia

Para estudiar y documentar el entorno que nos rodea se necesitan mapas. Éstos, se utilizan desde hace mucho, y desde entonces ya contenían información sobre formas de relieve, fundamentalmente para orientarse, navegar o por razones estratégicas. En los primeros mapas producidos en Babilonia, 4500 años a.C., se empleó el método *montículo* para describir el paisaje y este método junto con los símbolos que representaban la vegetación y la hidrografía se utilizaron durante miles de años. Mucho más tarde, desde finales del siglo XVIII el relieve se ha mostrado por el método *hachure,* es decir, un rayado paralelo, dispuesto en la dirección de la pendiente más pronunciada que fue estandarizada por el topógrafo austriaco Johann Lehmann en 1799. Desde el siglo XIX ya se utiliza el método de las curvas de nivel, a veces combinado con sombreado, precursor del Mdt actual.

Es cierto que muchos accidentes geográficos pueden distinguirse en los mapas topográficos e incluso interpretarse correctamente, pero casi siempre si es conocido el contexto geológico regional. Pero, incluso en ese caso favorable, nunca proporcionan información directa sobre la génesis, distribución, edad o relación con el sustrato geológico. Los mapas topográficos por si solos no explican ni reconstruyen el paisaje. Para ello se utiliza la Geomorfología y ésta utiliza su herramienta principal y al mismo tiempo su máxima y mejor expresión: el mapa geomorfológico. Éstos ya llevan utilizándose durante más de un siglo.

Las primeras investigaciones geomorfológicas se limitaron a descripciones escritas o verbales que a menudo, para apoyarlas, incluían perfiles, fotografías y dibujos. Algo más tarde vinieron los mapas, que como hoy también ocurre, se basaron en los topográficos. Las primeras descripciones del paisaje se realizan a comienzos del siglo XX (Gustavsson, 2006), pues ya en 1912, H. Gehne hizo un mapa donde describía materias tales como morfografía y estructura del sustrato. No pasaron ni

dos años cuando Passarge (1914) presenta el considerado como el primer mapa geomorfológico detallado que fue realizado a escala 1: 50.000, y publicado en la forma de Atlas. En dicho mapa se señala topografía, vegetación, gradientes de pendiente, formas de valles, estratigrafía, resistencia física y química de las rocas, petrografía y desarrollo del relieve.

Durante los años que suceden después, la década de 1920 y 1930, se hacen varios intentos y propuestas de generalización de mapas geomorfológicos pero no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando el intento de normalización cartográfica internacional es definitivo. Esta tentativa se sustancia en el XVIII Congreso de la Unión Geográfica Internacional (IGU) celebrado en Río de Janeiro en el año 1956. Allí se crea una subcomisión para desarrollar y adoptar un sistema uniforme de cartografía geomorfológica con el objetivo de proporcionar una mejor y más económica gestión de planes territoriales de carácter sistemático, porque ya entonces, se cree que el geomorfológico junto con otros mapas temáticos es muy útil en planificación local y regional.

Una década después, en los años sesenta se presenta el fruto del trabajo de la citada comisión. En el documento elaborado se definen los términos más idóneos para la realización de un mapa geomorfológico detallado. Se indican las siguientes consideraciones:

- Debe ser el resultado de un trabajo de campo
- Se recomienda una escala entre 1: 10.000 y 1: 100.000
- Tiene que dar una imagen completa del paisaje y que muestre morfografía, morfometría, génesis y edad
- La simbología, coloreada, debe ser acorde con la escala utilizada
- Se recomienda una leyenda especialmente dispuesta a la vez en orden genético y cronológico

Con este trabajo, en 1968 la IGU completó el sistema de Cartografía Internacional Unificada para mapas geomorfológicos detallados (Demek, 1972; Demek *et al.*, 1972). La actividad de la subcomisión continuó durante unos años más, en este caso para unificar cartografía a mediana escala (Demek & Embleton, 1978).

Con posterioridad a este trabajo, un nuevo grupo (XXV Congreso Geográfico Internacional de Tokio) da lugar al Mapa Geomorfológico de Europa a escala 1:2.500.000 (Instituto Cartográfico de Praga-UNESCO) con un acuerdo de leyenda internacional en cuatro idiomas y el libro Geomorphology of Europe (Embleton, 1984) que constituye la memoria explicativa de dicho mapa. Desde 1986 la atención de estas comisiones internacionales se centra, por un lado en la cartografía geomorfológica aplicada, y por otro en la utilización de imágenes satelitales (Tematic Mapper, SPOT) que permiten la realización de mapas a pequeña escala. En los últimos años la atención se centra en la aplicación informática con los Sistemas de Información Geográfica.

El trabajo de la subcomisión IGU fue muy fructífero ya que estableció las bases para que el desarrollo de este tipo de cartografía no tuviera excesiva dispersión metodológica. Además, facilitó el entendimiento entre las dos tendencias cartográficas que hasta el momento se habían desarrollado; ambas, consecuentes con las diferentes características geomorfológicas regionales y también, por la diferente tradición científica. Por un lado, franceses, checoslovacos y húngaros se basaban en elementos litológicos y estructurales que daban información acerca de la relación entre los accidentes geográficos y el substrato, pero eran casi inútiles en la reconstrucción de la evolución del paisaje. Por otro, polacos, rusos, rumanos y alemanes, basados en las formas de relieve, daban mucha información sobre el carácter y el desarrollo del relieve, pero no mostraban relación alguna con la estructura geológica. La agrupación de las dos tendencias dio lugar a la producción de mapas con información geológica limitada.

Lo cierto, es que desde la intervención de la IGU los mapas geomorfológicos detallados son más parecidos entre sí, mucho en contenido, menos en formato de presentación aunque el avance desde entonces ha sido considerable.

3. El crecimiento de la Cartografía Geomorfológica. El ejemplo de algunos desarrollos institucionales

El desarrollo nacional de los países pioneros y también de los demás que se incorporaron después, es ciertamente ilustrativo. La progresión nacional de esta disciplina cartográfica ha sido muy desigual, en cuanto a enfoque y situación o ubicación institucional. Por un lado, desde su desarrollo inicial, los países pioneros tuvieron un enfoque diferente.

En Francia, en la institución geológica oficial (BRGM) no existe la Cartografía Geomorfológica. El desarrollo del Mapa Geomorfológico ha correspondido al CNRS desde el programa inicial 77RCP77 entre 1966 y 1972 (Tricart, 1965, 1970; Joly, 1966). que reagrupó a todos los cartógrafos, de universidades u otros organismos, con el objeto de realizar una Leyenda (1972) y dio lugar entre 1969 y 1973, a las cuatro primeras hojas del Mapa Geomorfológico a escala 1:50.000. El objetivo a largo plazo era el de cubrir enteramente el territorio de Francia con un documento regular y coherente e incluso abordar a escalas más detalladas algunas zonas, lo que no se ha realizado.

El Servicio Geológico Alemán (BGR) no realiza mapas geomorfológicos ni tampoco los equivalentes servicios federales. Es la Deustche Forschungsgemeinschaft (equivalente al CNRS francés o CSIC nuestro) quien , desde de 1979, los ha desarrollado a partir del programa de investigación "El Mapa geomorfológico detallado de la República Federal Alemana" que fue completado en 1986. El programa fue organizado por D. Barsch y durante nueve años trabajaron cerca de 40 grupos de diferentes universidades alemanas (Barsch & Liedtke, 1980a, 1980b; Barsch *et al*., 1985, 1987). Fueron 27 mapas a escala 1:25.000 y 8:100.000. Las ubicaciones de las hojas del mapa de prueba fueron elegidas en un intento de cubrir tantos tipos de paisajes geomorfológicos. Han tenido dos aplicaciones prácticas principales: el medioambiental, y la cartografía de riesgos naturales. El desarrollo de este Mapa a dado lugar a tres versiones de la leyenda, 972, 1975 y 1990.

En Holanda, paralelamente a los trabajos de la subcomisión de UCI, el Instituto de Estudio de Suelo y el Servicio Geológico, en 1976, decidió iniciar mapas geomorfológicos a escala 1:50.000, detallados y sistemáticos. El objetivo fue complementar los del suelo y el geológico. Entre 1966 y 1970 se realizaron 15 hojas provisionales en 1975 se imprimieron dos hojas más. Inmediatamente, en 1968, el ITC desarrolla una metodología propia, con (además de contenido y formato de presentación) procedimiento de elaboración para el levantamiento de mapas geomorfológicos en dos ediciones (1968 y 1991). En él se destaca ya la utilización del SIG para el almacenamiento de datos, la ayuda para el levantamiento de las imágenes aéreo-espaciales, al mismo tiempo que otorga gran importancia al mapa geomorfológico sintético y desarrolla el mapa geomorfológico pragmático

Figura 2. Ejemplo de un mapa geomorfológico holandés.

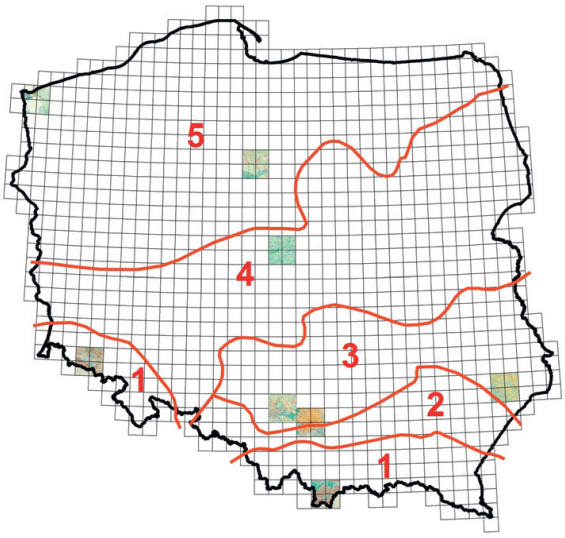


Figura 3. Cuadrícula de las hojas a escala 1:100.000 de Polonia y los cinco dominios geomorfológicos identificados en su territorio.

para la evaluación de riesgos naturales (Verstappen & Van Zuidam, 1968; Verstappen, 1970).

Junto con las tres anteriores, Polonia es una de las pioneras en la realización de mapas geomorfológicos. Su cartografía geomorfológica fue fruto de sus geógrafos físicos en la década de 1950 con un plan liderado por Klimaszewski (1982, 1990). Entre 1960 y 1990 se editaron 34 hojas a escala 1:50.000 (preparación a escala 1:25.000 y con morfometría, morfografía, génesis y edad). En 1980, se publicó un Mapa Geomorfológico General de Polonia a escala 1:500.000, aunque también hay mapas regionales a diversas escalas realizados en diferentes épocas, anexos o referencias básicas de estudios geomorfológicos de informes o publicaciones científicas.

Recientemente, en 2013, la geomorfología polaca goza de una nueva oportunidad para crear el Mapa Geomorfológico de Polonia, a través del Reglamento del Consejo de Ministros de 3 de octubre 2011 sobre cartografía temática y especial que incluye mapas geomorfológicos El primer paso en el cumplimiento del Reglamen-

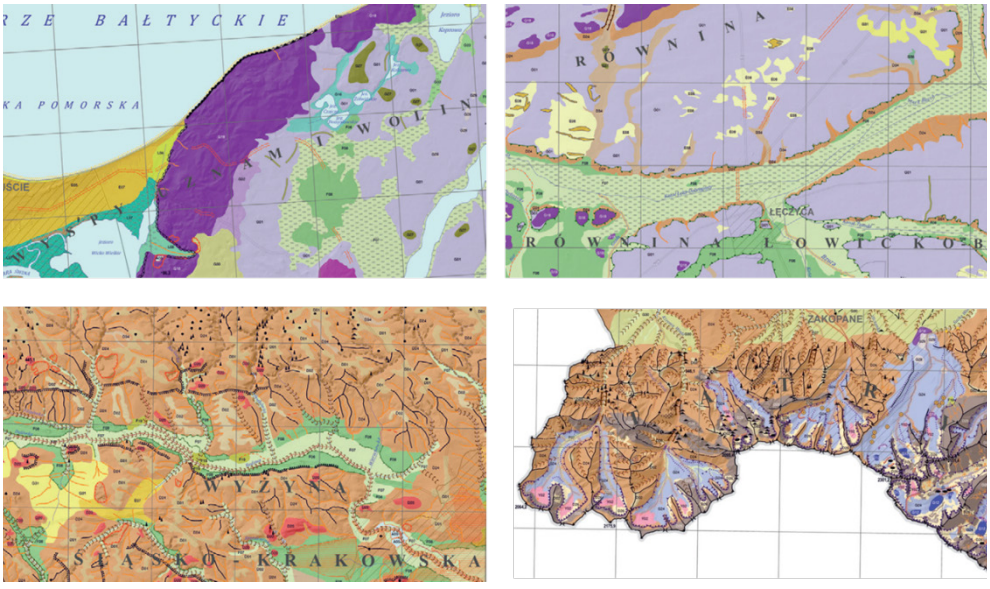


Figura 4. Cuatro ejemplos de mapas geomorfológicos polacos realizados en territorios con contexto geológico diferente.

to fue la creación de contenidos cartográficos relacionados, y la redacción de una propuesta digital para el mapa geomorfológico a escala 1:100.000 y 1:500.000, así como un conjunto de hojas piloto. El propósito se llevó a cabo por la Asociación de Geomorfólogos Polacos (ASP) con la participación del Instituto de Geodesia y Cartografía (CIG) y la empresa GEPOL (Rączkowska & Zwoliński, 2015). Se seleccionaron hojas piloto como referencia cartográfica de acuerdo con las zonas morfogenéticas distinguidas (Gilewska, 1991) tal como expresa la Figura 3. En la figura 4 se presentan ejemplos de hojas de diferentes regiones polacas.

En paises sin la tradición de los cuatro anteriores, el desarrollo a sido muy desigual, sobre todo porque el apoyo de las instituciones no ha sido siempre el mismo. Un ejemplo de incorporación reciente es Italia, donde su Servizio Geologico a finales del pasado siglo se propuso realizar la Carte geológica y geotematica a través del L'ISPRA, el organo cartografico estatal del Servizio Geologico d'Italia que gestiona y publica la Carta Geologica d'Italia a varias escalas. Directamente o con la colaboración contractuales regionales provinciales, universidades o institutos elabora la cartografía geológica a escala 1:50.000 (Proyecto CARG), cuya finalidad es la realización de 652 hojas geológicas y geotemáticas a escala 1:50.000 para la cobertura completa del territorio nacional. En formato papel o archivo raster digital. en el ámbito del Proyecto CARG están previstas otras realizaciones de cartografías geotemáticas experimentales a escala 1:50.000 en las que se incluye, entre otros, el mapa geomorfológico, en varios lugares del país (Servizio Geologico d´Italia,1994).

En Suecia, el apoyo institucional fue más tibio, pues su desarrollo se relacionó con la protección del patrimonio geológico. La Swedish Environmental Protection Agency, durante la década de 1970 y principios de los 80, hizo 24 hojas de mapas a escala 1:25.000; después seis a 1:50.000 hojas de mapas geomorfológicos con la norma unificada IGU aunque tuvo que ser complementado con los símbolos locales específicos. Después de esto los mapas geomorfológicos producidos en Suecia han sido mapas experimentales o temáticos ordenados para la planificación local o regional o mapas simples para estudios científicos locales (Gustavsson, 2006).

Hay lugares donde el empuje institucional se realizó de forma sectorial. Es el caso de Canadá y también de Australia, pues este tipo de mapas o algunos relaciona-

Figura 5. Portada del cuaderno explicativo del Mapa Geomorfológico italiano (izquierda), y distribución de las hojas piloto del L'ISPRA (Proyecto CARG) (derecha).

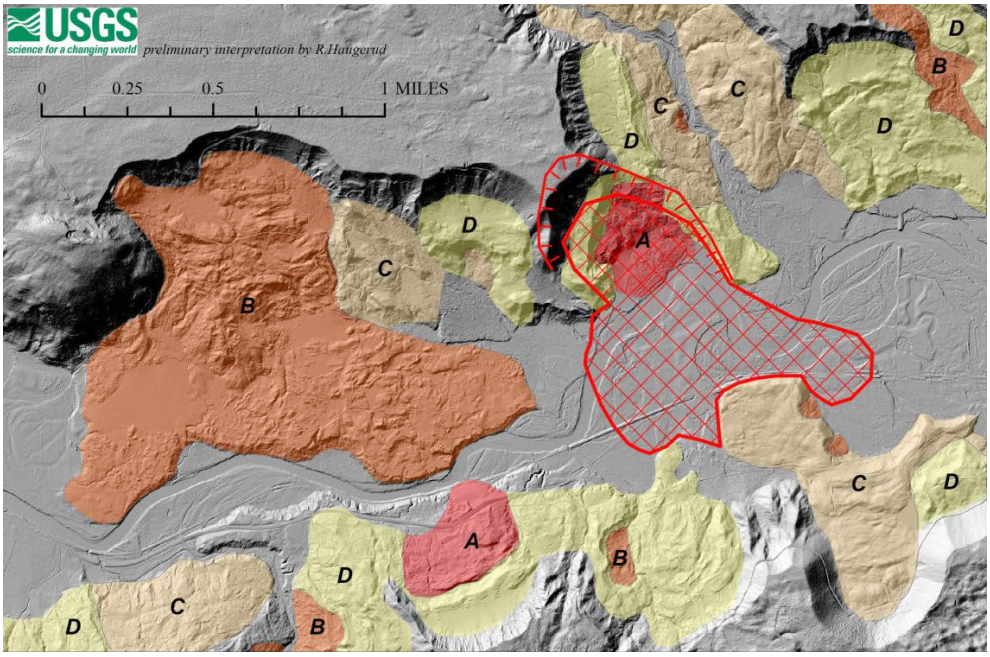
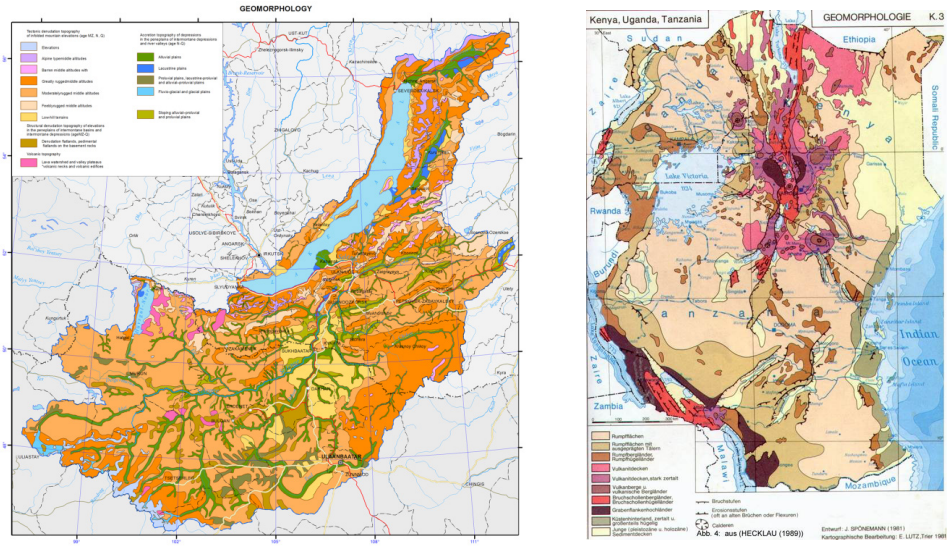


Figura 6. Mapa geomorfológico específico (deslizamientos), realizado en 2014, sobre un modelo de elevación en Oso (Hazel, USA).

dos, lo hacen los servicios geologicos estatales (valga el ejemplo de Ontario Geológical Survey en Canada) o departamentos afines (Departament of Primary Industries de Agricultura de Victoria en Australia). En Canadá, los servicios geologicos estatales hacen sistemáticamente el Mapa de Geología de Superficie que es un mapa de formaciones superficiales. A nivel nacional lo más parecido a un Geomorfológico es un Fisiográfico de caracter sintético y a pequeña escala; lleva algo de apoyo analítico como simbología tal como escarpes, playas o eskers.

Sobre países sin apoyo institucional específico valgan los ejemplos de Portugal y USA. En el país vecino, la cartografía geomorfológica no existe desde el punto de vista de publicaciones institucionales, aunque si hay una dispersión cartográfica alentada por iniciativas aisladas de caracter universitario. La mayor contribución al conocimiento geomorfológico del territorio portugés es la Carte Geomorphologuique du Portugal (Brum Ferreira, 1981). En USA, el USGS no tiene ningún programa sistemático ni mapa alguno editado, pero si existen mapas geomorfológicos aislados ligados con procesos superficiales de distintos proyectos, casi siempre relacionados con riesgos geológicos. Son más abundantes los mapas de caracter sintético, de unidades cartográficas sencillas apoyados por LIDAR y modelo de elevación digital.

En paises en desarrollo como en Iberoamérica la cartografía geomorfológica se ha crecido con gran celeridad, sobre todo desde el ámbito universitario pero en algunos paises incluso existe un tímido apoyo institucional como en Ecuador o República Dominicana. En la mayoría de los casos lo más común es que se trate de mapas de caracter sintético. Con más o menos éxito, el mapa geomorfológico se ha extendido por todos los continentes e incluso en paises poco desarrollados se puede encontar al menos una cartografía general de su territorio.



A B

Figura 7. A, Mapa Geomorfológico en los alrededores del Lago Baykal; B, Mapa Geomorfológico de Kenia, Uganda y Tanzania.

4. El resultado de la Comisión de la IGU y su aplicación internacional

El resultado de la Comisión de la IGU, de 1968, fue un modelo de mapa de escala variable con información sobre génesis, litología, morfometría/morphografía y edad. La leyenda unificada, escrita en cinco idiomas, era muy extensa pues incluía 353 caracteres.

La información principal es la que trata de la morfogénesis y ésta se expresa en diez colores (rojo, marrón, verde, violeta, rosa, amarillo, azul de ultramar azul, negro, gris y azul) en combinación con texturas, símbolos y líneas; se divide en tres grupos los procesos endógenos y trece grupos los exógenos. El color rojo está reservado para geoformas endógenas, el negro para las formas biogénicas/antropogénicas o datos, el gris para las curvas de nivel y clases de pendiente y azul para las superficies del agua y la hidrografía. En el resto de los colores se describen diferentes formas deposicionales y erosivos exógenas. Se da especial importancia a la pendiente, diferenciándose hasta seis categorías según su gradiente (0-2°, 5-15°, 15-35°, 2-5°, 35-55° y mayor de 55°). La edad de los accidentes geográficos se expresa con un código de letras negras.

Los países promotores de esta iniciativa aceptaron de buen grado estas especificaciones anteriores procediendo a su aplicación, o como mínimo su enfoque conceptual.

Así, en Francia, las formas se expresan mediante una relación de símbolos agrupados con distinta tipología pero cuyo color responde a su pertenencia a nueve sistemas morfogenéticos tales como acciones marinas y litorales (también lacustres) (azul); acciones fluviales (verde); dominios glaciares y periglaciares húmedas y secas (morado); dominio templado húmedo y seco (verde oliva); dominios tropical y subtropical húmedo (verde azulado) y seco (anaranjado) y acciones eólicas (amarillo). Su edad se intenta representar mediante la intensidad del color a partir

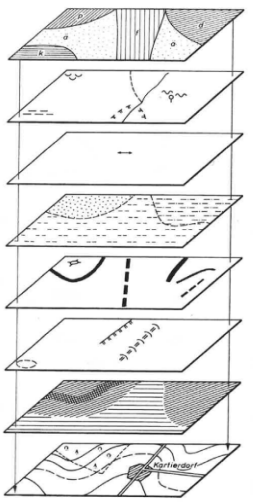


Figura 8. Las ocho capas de información del Mapa Geomorfológico alemán: se representan pendientes (colores), sustrato y estructura (tramas), morfodinámica (colores y símbolos), cronología (colores) y otros datos complementarios.

de una escala cronológica elemental con 9 clases hasta el Villafranquiense superior. La formación superficial se representa con tramas y se especifica su origen granulometría y consolidación.

En Alemania, donde los mapas recogen los conceptos y formatos de la IGU, dan gran protagonismo de la morfometría (señalada en negro), es decir pendientes, convexidades, clases de curvatura, etc. Se trata de una cartografía que contiene también información de sustrato, formaciones superficiales y muestra atención especial a la morfodinámica activa y zonas de peligro potencial, usando el rojo brillante para indicar procesos geomorfológicos recientes. El mapa resultante que consta de 8 densas capas de información da lugar a una imagen exhaustiva e ilegible.

En Holanda, donde el objetivo de estos mapas fue el mostrar información no cubierta por los mapas geológicos y de suelos, los mapas geomorfológicos incluyen cronología, génesis, morfografía y morfometría, aunque también hay información indirecta sobre la litología. En realidad está elaborado para ser un complemento y para ser utilizado en combinación con el mapa geológico y el mapa de suelos. Todos ellos, juntos, presentan una imagen completa del paisaje útil en proyectos multidisciplinarios.

La leyenda está especialmente diseñada para las tierras bajas holandesas que han sido objeto de gran influencia humana. El interés principal es la forma; a su génesis se le presta menos atención. Utiliza 15 grupos de formas definidas cualitativamente (mesetas, grupos de colinas, formas en forma de abanico, llanuras etc.) y cada grupo se subdivide según formas menores y génesis.

El contenido del mapa se ajusta a los parámetros de la IGU, con agrupaciones genéticas, más litología, morfometría, hidromorfología y un apoyo cronológico puntual mediante un código de letras en negro.Se destacan los procesos geomorfológicos y esta característica es la que determina las unidades de paisaje del mapa. Los colores de sistema se utilizan de dos maneras, para definir unidades de paisaje más grandes según el proceso dominante (los detalles de los distintos procesos aparecen con símbolos) y para símbolos de línea pues utiliza diez colores.

Un cuarto clásico de la cartografía geomorfológica, es Polonia. Siempre fue pionero, pero a diferencia de los otros países que en su momento tuvieron la misma iniciativa, recientemente ha reactivado esta actividad. Los nuevos mapas polacos (a 1:100.000 y 1:500.000) incluyen agrupaciones morfogenéticas acordes con la IGU, bien sean de erosión, de deposición o poligenéticos (endógenos, glaciales, fluviales, karst, eólicos, litorales y límnicas, biogénicos y antropogénicos) pero sin diferenciación de edad. Incluye el tipo genético del relieve y el número dentro de la morfogénesis, grupo, nombre en polaco e inglés, el tipo del objeto (areal, lineal, punto), característica cuantitativa (forma individual, un conjunto de formas), el tipo de relieve, una serie de parámetros geomorphometricos, como área, anchura, longitud, elevación relativa, profundidad, inclinación de la pendiente y el acimut, y su definición.

La cartografía consta de una capa de base y capas temáticas superpuestas. La capa de base contiene un sombreado digital en modelo de elevación (estilo suizo) y transmite información topográfica. Las capas temáticas incluyen:

- una capa básica que contiene formas de relieve de los elementos areales
- una capa subacuática que contiene sedimentos sumergidos de embalses, bahías y las 10 millas costeras del Báltico
- capa con elementos geomorfológicos excepcionales
- capa que contiene elementos geomorfológicos lineales y puntuales

Entre los desarrollos cartógraficos más recientes es interesante el ejemplo de Italia, iniciativa del Servizio Geologico de ese país y que pone de manifiesto el grado aceptación que sigue teniendo la propuesta de la UCI. Está organizado según una clasificación genética al uso, la más aceptada internacionalmente. No incluye ninguna referencia cronológica ni tampoco, de forma explícita, se refiere a procesos activos. Las formaciones superficiales están representadas por tramas y el sustrato litológico va en color. La relación de elementos a representar es tradicional pues se refiere a 12 grupos genéticos (Servizio Geologico d´Italia, 2007):

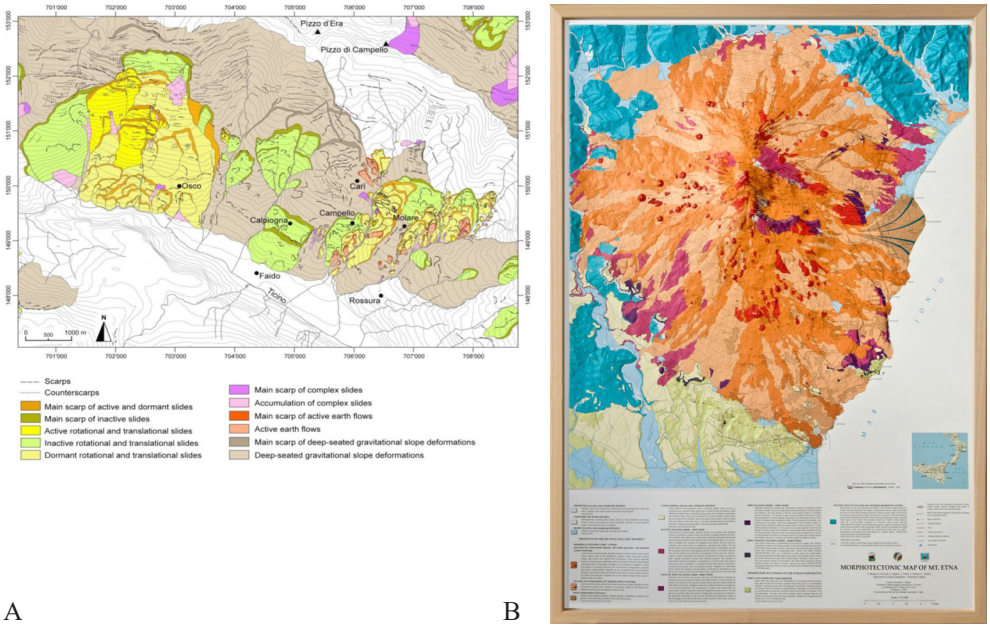
1. elementos geológico-estructurales
2. hidrografía y elementos meteo-marinos
3. formas estruturales y volcánicas
4. formas, procesos y depósitos de vertiente debidos a la gravedad
5. formas y depósitos fluviales, fluvio-glaciares y de vertiente debido a la escorrentía
6. formas y depósitos de origen kárstico
7. formas y depósitos de origen eólico
8. formas y depósitos de origen marino
9. depósitos lacustres, palustres, lagunar, y de colmatación
10. producto de alteración meteórica in situ
11. formas relictas, y formas asociadas a génesis compleja
12. formas, depósitos y actividad antrópica

En general, las iniciativas pioneras y las incorporadas más recientemente presentan una concordancia aceptable, relativamente satisfactoria. Cada grupo, tiene su peculiaridad territorial y tradicional generalmente en lo que se refiere a aspectos formales, pero existe una gran coincidencia que suele afectar al contenido y a los sistemas de representación.

El contenido de los mapas es casi unánime, pues casi siempre se refieren aspectos morfométricos, morfográficos, morfogenéticos o morfodinámicos y morfocronológicos. Algo más variación existe en cuanto a los tipos de representación, pues cada país ha realizado sus matizaciones y combinaciones en la simbología y color con el objeto de una mejor visualización, incluso a costa de dejar algún aspecto sin tratar. Por ejemplo, en Francia y también en Italia consideran contexto estructural (en color negro), litologías (con trama), sistemas morfogenéticos (en símbolos y colores), formaciones superficiales (en símbolos y tramas), cronología (por intensidad de color). En esos países, gran parte de la simbología empleada es la convencional de los mapas geológicos.

La representación gráfica del contenido conceptual, expresado en los cinco conceptos expresados al comienzo del párrafo anterior, implica una gran complejidad de procedimientos analíticos y cartográficos. En ese sentido, el mapa más complejo es el elaborado en Alemania pues ha intentado plasmarlos en su totalidad. Se representan pendientes (con colores), sustrato y estructura (con tramas), morfodinámica (por colores y símbolos), cronología (por colores) y otros datos complementarios. La suma resultante de tanta información no es satisfactoria.

En dirección contraria se mantuvieron siempre las iniciativas promovidas en Holanda y Australia, pues allí se consideraron prioritarios los mapas de *porciones*



A B

Figura 9. Dos mapas georfológicos específicos italianos: A, Mapa geomorfológico de movimientos del terreno en laderas; B, Mapa morfoestructural del Monte Etna.

territoriales (distinguidos por recintos de color) con contenido configuracional y genético y la pretensión de establecer *unidades* referenciales estandarizables.

5. Los tipos de mapas geomorfológicos

Un gran número de símbolos y leyendas se han desarrollado desde el inicio de la cartografía geomorfológica en el siglo XX. La diversidad de conceptos y convenciones cartográficas creadas en diferentes comunidades científicas. Está relacionada con la configuración del terreno de la región estudiada y el enfoque científico y objetivo del mapa. Cuanto más complejo sea el terreno, por ejemplo, las zonas de montaña, mayor es la diversidad de símbolos y colores requeridos.

En general los mapas geomorfológicos y sus sistemas de leyenda pueden distinguirse en mapas que muestran un solo aspecto geomorfológico, pero lo más común son los mapas analíticos que abarcan la información completa de un paisaje incluyendo procesos, morfogénesis y hasta litología. Los diferentes países han desarrollado sus propios sistemas, ya sea formal o informalmente, para satisfacer sus propias necesidades culturales.

Con la generalización de la Leyenda de la IGU, que es a la vez la de la mayoría de los lugares con mapas geomorfológicos, la representación gráfica sería la siguiente:

- la **morfometría** se representa mediante *símbolos* y *signos* de color negro.
- la **morfografía** tiende a reflejarse únicamente por *símbolos* con tonos y color acorde con su morfogénesis.
- en **morfogénesis** (**morfodinámica**) se utilizan *símbolos* y *colores*.
- y la **morfocronología** y otros datos (sustrato, estructura) llevan *símbolos, signos y color* según convenga.

El mapa propuesto por la IGU, que recoge toda esta información anterior, describe de forma completa y hasta exhaustiva la geomorfología de un territorio. Contiene todos los elementos con que requiere su descripción y análisis. Por esta razón este mapa es considerado de tipo **analítico**.

Lo que sucede con este mapa geomorfológico analítico es que su contenido es tan exhaustivo y tan complejo que resulta difícil de entender a cualquiera no especializado. De hecho de cada uno de sus contenidos tradicionales puede elaborarse un mapa de naturaleza geomorfológica propio. Hay contenido suficiente para ello. Es decir, existen cartografías específicas para cada concepto o materia. Éstas, que son también frecuentes, están en su mayoría dirigidas o, son consecuencia de investigaciones y/o aplicaciones. A este tipo de cartografía se les podría denominar, pragmática, son pues **cartografías prácticas**. Dependiendo de la temática específica desarrollada tendríamos los siguientes mapas:

• ***Cartografías morfométricas***, entre las que destacan los mapas de *pendientes* y de *líneas límite o envolventes*. Tanto unos como otros son muy utilizados en dinámica de vertientes, en laderas, etc y, obviamente, en evaluaciones de procesos erosivos.

• ***Cartografías morfográficas*** que sobre todo se refieren a la configuración geométrica de las formas, sus límites y su repartición, se plasman en los mapas de *unidades* (geomorfológicas, terreno, paisajes...) que son de gran utilidad en planificación y, en general, en la evaluación del territorio con el fin de delimitar sus usos más apropiados.

• ***Cartografías morfogenéticas***, que hacen referencia a los procesos genéticos o génesis de los elementos morfológicos. Es notable el caso de los mapas de *procesos actuales*. Es un tipo de cartografía muy utilizada en la evaluación de *riesgos naturales* y en investigación de *dinámica morfogenética.*

• ***Cartografías morfocronológicas***, en relación con la secuencia o sucesión en el tiempo de las formas del terreno, interesándose por la edad, bien sea absoluta o relativa, y utilizando para su determinación cuando no existen dataciones paleontológicas o numéricas, en la mayoría de los casos, sedimentos correlativos. Curiosamente son unos mapas raramente utilizados que se encaminan a estudios de evolución del relieve.

Volviendo al mapa geomorfológico analítico, es decir el básico. Su naturaleza compleja, tan detallada, tiende a limitar su utilidad más allá del ámbito geomorfológico estricto. Son mapas "hechos por expertos para expertos", pues resulta que "un verdadero mapa geomorfológico es un documento complicado que puede ser leído sólo por personas con formación especializada adecuada". Lo cierto es que todos ellos tienden a hacer sus datos inaccesibles a personas ajenas a la geomorfología.

Pero también hay que valorar que los mapas geomorfológicos analíticos muestran la compleja integración del medio ambiente natural y son, principalmente, un almacén de información visual que cumplen varias funciones valiosas, entre ellas que deben constituir uno de los elementos básicos en la preparación de proyectos de desarrollo.

Un valor especial de la cartografía geomorfológica radica en su aplicación a problemas particulares, generalmente por el uso de mapas limitados que comprenda únicamente las características geomorfológicas relevantes al caso particular en cuestión. Estos mapas se derivan, por simplificación, a partir de los mapas detallados preparándose utilizando sólo los datos necesarios. Son **Mapas derivados,** de gran valor en la ingeniería ambiental, tal como la planificación y construcción de carreteras, y en el campo general de gestión del Medio Ambiente, sobre todo en la etapa de planificación.

Por otra parte, la mayoría de los mapas geomorfológicos analíticos son cartografías detalladas, y por tanto elaboradas para áreas pequeñas, a muy gran escala, por

lo común entre 1:10.000 y 1:50.000. En el extremo opuesto están algunos enfoques generalistas pues existe interés en hacer análisis a pequeña escala, de carácter global. Este tipo de investigación requiere de la regionalización de mapas geomorfológicos, es decir un cambio de escala que necesita de la sintetización cartográfica de la información geomorfológica analítica. La mayoría de los mapas geomorfológicos generalistas, a pequeña escala, tienen una representación gráfica muy simple, fundamentalmente en unidades cartográficas sencillas donde en cada una de ellas recoge peculiaridades o rasgos propios.

Un siglo más tarde de la aparición del primer mapa geomorfológico considerado como tal (Passarge, 1914) hay que felicitarse de que la representación cartográfica de la Geomorfología en los distintos lugares tiene mucho en común aunque, lógicamente, también existen perspectivas diferentes en la forma de abordarla. Desde hace más de veinticinco años existen dos enfoques diferentes. Uno es el **analítico**, que se basa en la plasmación de la información más completa posible, casi exhaustiva; en ellos se representan elementos que principalmente informan sobre génesis, morfografía, morfometría y cronología. El otro punto de vista, es **síntético**, con una simplificación notoria de su representación y donde pude darse el caso que datos analíticos se combinen con otros parámetros ajenos como suelos, vegetación e hidrología. Aún se podría añadir otro enfoque más, uno fundamentalmente **pragmático**, donde se recoge sólo información sobre el objetivo específico del mapa. Un ejemplo muy conocido de este tercer enfoque es mapas dirigidos al riesgo geológico que se concentran sólo en características y procesos responsables de determinados peligros ambientales.

6. Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica en España. El papel del IGME

Se podría asegurar que la cartografía geomorfológica en España se inicia hacia los años sesenta. Antes existen precedentes aislados personalizados preferentemente por autores extranjeros. Los primeros son Schmieder (1915) y Obermaier (1917), este último refiriéndose por primera vez a los restos de glaciarismo en la Sierra de Guadarrama. En la década de los años veinte, es Stickel (1929) en el Noroeste, en la década de los años treinta son Schröeder (1930) en la Sierra de Guadarrama o, Oehme (1935) en Extremadura. Posteriormente, primero Shwenzner (1943), en los años cuarenta, después Birot y Solé (1954), en los años cincuenta, realizan estudios geomorfológicos en la totalidad del Sistema Central español. Conforme al conocimiento y sobre todo a los medios de la época, se trata de cartografías esquemáticas de carácter regional.

En los años que siguen casi la totalidad de los trabajos cartográficos correspondientes a investigadores autóctonos que se van sumando, proceden de departamentos universitarios de Geografía y Geología de distintas facultades. Destacan en la Facultad de Geológicas de Madrid y las de Geología y Geografía de Zaragoza, sobre todo esta última. Son prioritarias las referencias a morfología fluvial, litoral, y de macizos antiguos, pero en otros temas esa atención es insuficiente.

Durante los años setenta la cartografía geomorfológica comienza a desbordar el ámbito estrictamente universitario. Las necesidades de planificación urbanística y medioambiental dan lugar al desarrollo de una cartografía geomorfológica aplicada que en ese momento crece rápida y desigualmente. Porque durante ese desarrollo inicial, experimentado especialmente en las décadas de los setenta y ochenta, existe una gran confusión temática, porque las referencias conceptuales y metodológicas son difusas ya que la mayoría de la producción cartográfica, procedente de las universidades, permanece inédita. Por otra parte, al no existir en ese momento ninguna sociedad científica (la Sociedad Española de Geomorfología se crea en el año 1988) o agrupa-

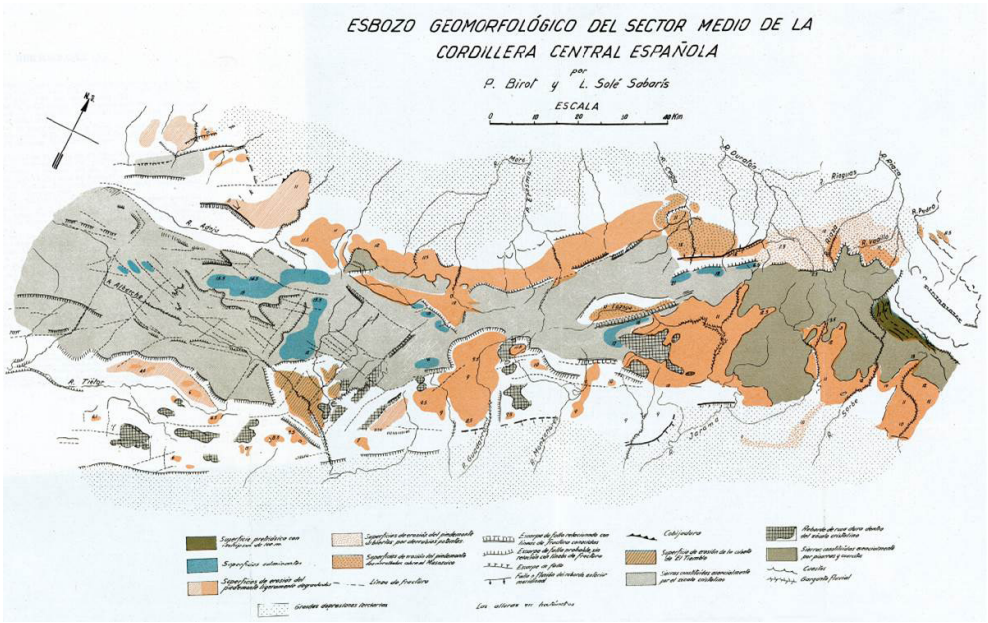


Figura 10. Esquema Geomorfológico del Sector medio de la Cordillera Central española realizado por P. Birot y L. Solé Sabarís en 1954.

ción profesional afín como canalizadora de esas iniciativas, no existe tampoco ningún intención de unificación u organización de criterios, conceptos o leyendas.

En esos años, es por tanto comprensible la iniciativa del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) con sus intentos de sistematización de un mapa en desarrollo. El IGME no ha sido ajeno al desarrollo de la cartografía geomorfológica en España ya que desde finales de los setenta o principios de los años ochenta del siglo pasado, de una u otra forma, la ha ido incorporando a su proyecto cartográfico más importante: el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (Plan MAGNA). Entre otras cosas porque desde el comienzo de dicho programa de cartografía geológica (1971), con un enfoque hacia otra utilidad, el tratamiento específico de la geología reciente era muy desigual por no decir que en general deficiente. La posible aplicación a las nuevas necesidades socioeconómicas hace que pronto se incorpore sistemáticamente al Mapa Geológico una cartografía geológica de superficie con la inclusión de dos documentos gráficos a las hojas que en ese momento se elaboran, titulados Mapa de Formaciones Superficiales y Geomorfológico. No se trata de mapas al uso, sino esquemas cartográficos realizados a una escala 1:50.000 y publicados 1:100.000 pero sin base topográfica de referencia. Eran monocolores y se presentaban, convenientemente plegados, incluidos en la Memoria, disponiendo ésta de capítulos específicos en ella. La realización específica de este tipo de cartografías redunda además en beneficio de la representación cuaternaria en el documento principal, el propio Mapa Geológico. Con este formato se editaron 173 hojas geológicas.

Ese Mapa Geomorfológico inicial se apoyó en las recomendaciones señaladas poco antes por la IGU desarrollando una leyenda organizada genéticamente, añadiendo además aspectos morfodinámicos y morfométricos (Figura 12). El mapa acompañante de Formaciones Superficiales curiosamente era más ambicioso, puesto que a una leyenda con una doble organización genético-textural añadía información detallada del sustrato, de su espesor, explotación, obras soportadas y un cuadro de

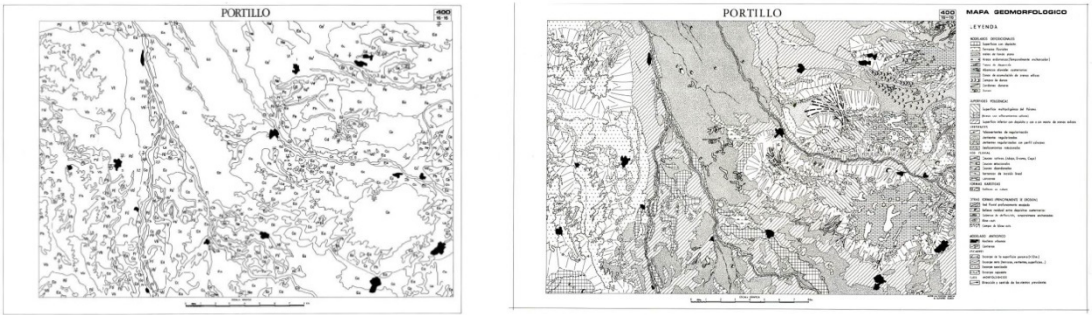


Figura 11. Esquemas geomorfológico (izquierda) y de Formaciones superficiales (derecha) incluidos en el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, número 400 (Portillo) (MAGNA) del IGME.

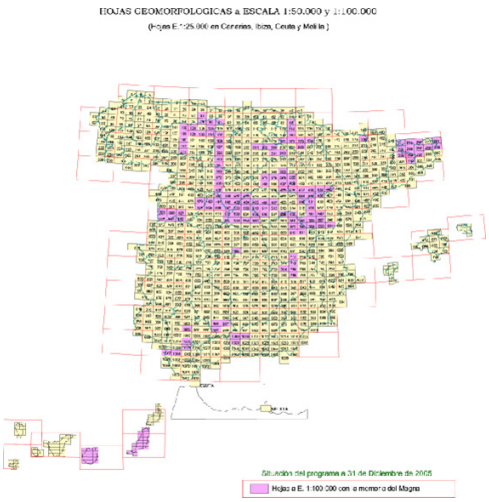


Figura 12. Cuadrícula de distribución de las hojas a escala 1:50.000 en todo el territorio nacional. Están señaladas en color las que contienen esquemas geomorfológicos y de Formaciones superficiales.

propiedades selectas tales como espesor, textura, medio sedimentario, consolidación, topografía, drenaje, erodabilidad, riesgos, cronología, usos, etc. (Figura 12).

Después de algunos altibajos, ese intento sistematizar un tipo de cartografía geológica temática en auge, va a dar lugar a la actual cartografía geomorfológica a escala 1:50 000 que se publica. La segunda revisión normativa del Modelo de Hoja del Mapa Geológico a escala 1:50.000 (MAGNA) realizada en 1990 (la primera, denominada 2ª Edición fue realizada en 1980 y se refirió a aspectos de Leyendas, informes y fichas petrológicas y analíticas) presenta como principal aportación y novedad, las normas para la relaboración de un Mapa Geomorfológico a escala 1:50.000 acompañante a la Hoja Geológica. Esa normativa incluía en un mismo documento cartográfico elementos geomorfológicos y formaciones superficiales.

A los pocos años de desarrollo del programa, una abortada aplicación medioambiental a mediados de los noventa determina otro avance sustancial en la consideración de este tipo de cartografía. Su consecuencia inmediata es la profundización sustancial en aspectos metodológicos y de normativa que va a redundar muy positivamente en el mapa diseñado para los planes futuros, desde el punto de vista metodológico y que se publica en 2004 (Martín-Serrano *et al.*, 2014).

Paralelamente al empeño del IGME, en 1999 se publica una monografía de dicada a Cartografía Geomorfológica, básica y aplicada que es coordinada por J.L. Peña Monné y editada por Geoforma Ediciones (Peña Monné, 1999). Nace con el propósito de llenar el vacío existente en esta materia y está auspiciada por la recientemente creada Sociedad Española de Geomorfología. El trabajo consta de tres

A B

Figura 13. Las portadas de las publicaciones sobre normativa y metodología en cartografía geomorfológica más significativas del último cuarto de siglo: A, Cartografía Geomorfológica, básica y aplicada de Peña Monné (1999); B, Mapa Geomorfológico de España. Guía para su elaboración del IGME (2004).

partes. Una primera donde se describe el mapa geomorfológico y su diversidad, en su elaboración y diseño según objetivos y escalas; también hay dedicación expresa al tema de la importancia de la representación gráfica para la legibilidad del mapa. La segunda desarrolla tres leyendas adecuadas a tres escalas diferentes: a 1:1.000.000 que fue fruto del trabajo de una comisión de la Sociedad Española de Geomorfología; a 1: 100.000/1:200.000 y a 1:25.000/1:50.000, estas realizadas por el Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. La última parte está dedicada a los mapas aplicados, haciendo énfasis en el de Riesgos.

Las leyendas están propuestas en función de la escala, pequeña, intermedia y grande. La leyenda para mapas a pequeña escala presenta 66 caracteres gráficos (fundamentalmente areales) que se agrupan en 11 contextos con carácter mixto geológico/morfogenético. La diseñada para escalas intermedias (1:100.000/1:200.000) tiene 78 caracteres gráficos (puntuales, lineales y areales) ordenadas en 7 grupos de carácter enteramente morfogenético. Por último, que se refiere a mapas a gran escala, define 216 elementos cartográficos agrupados en litología y conjuntos morfoestructurales, marco estructural , formas estructurales, superficies de erosión, modelados de influencia litológica, modelado glaciar, modelado periglaciar y nival, modelado hidríco y fluvial, modelado de laderas, modelado litoral, modelado eólico y modelado de origen antrópico.

Se trata de un excelente y completo manual de gran utilidad que sintetiza y adapta a nuestro territorio el trabajo de la IGU para la elaboración de mapas geomorfológico, con interesantes desarrollos de diversos aspectos cartográficos tales como el empleode imágenes satélite, el leguaje gráfico en el mapa o la digitalización y utilización del ordenador en este tipo de cartografía.

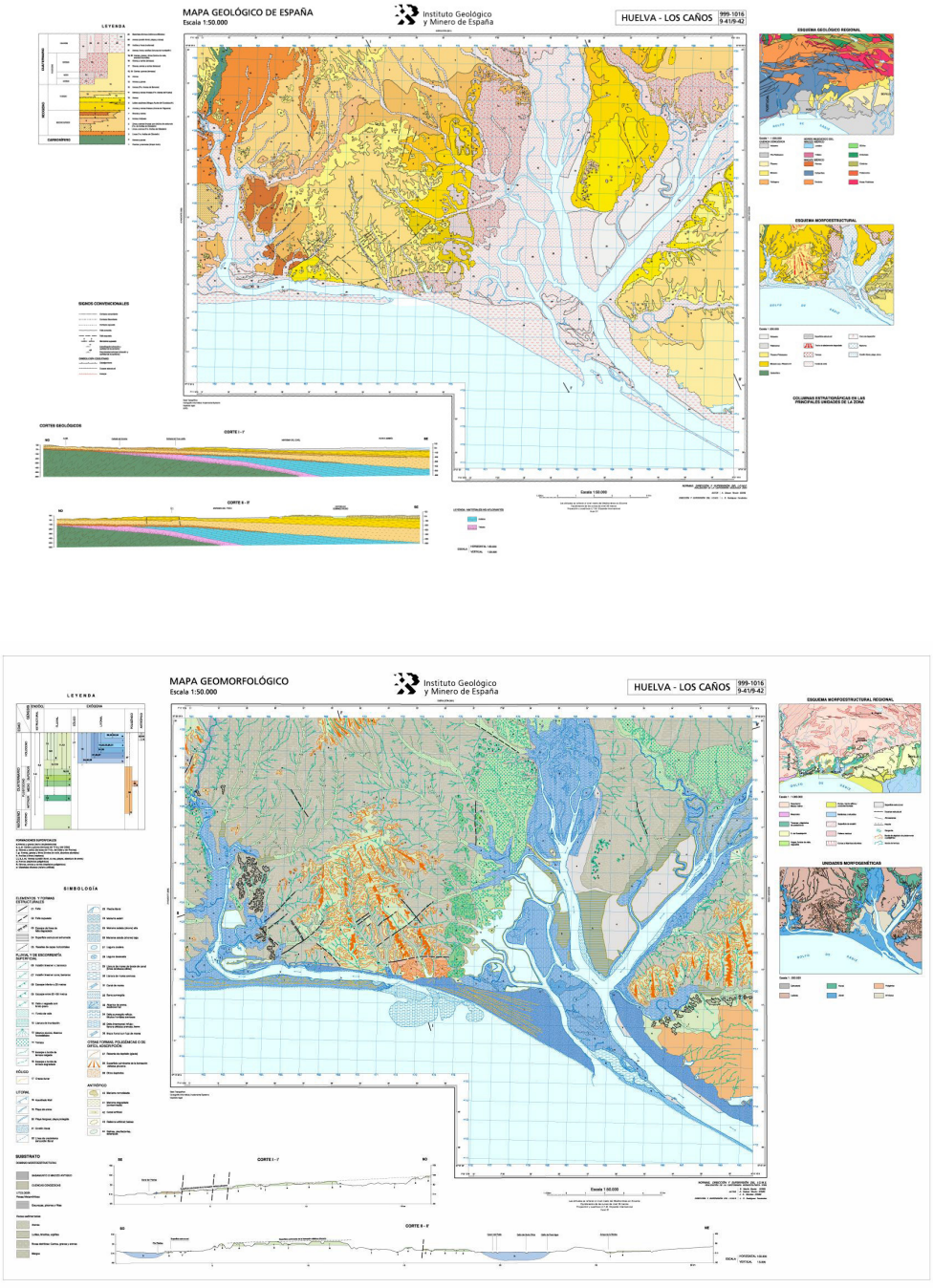


Figura 14. Mapa Geológico (arriba) y Mapa Geomorfológico (abajo) de la Hoja a escala 1:50.000, número 999-1016 (Huelva-Los Caños) publicado conjuntamente por el IGME e incluido en su programa sistemático Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (MGD, 3º Serie).

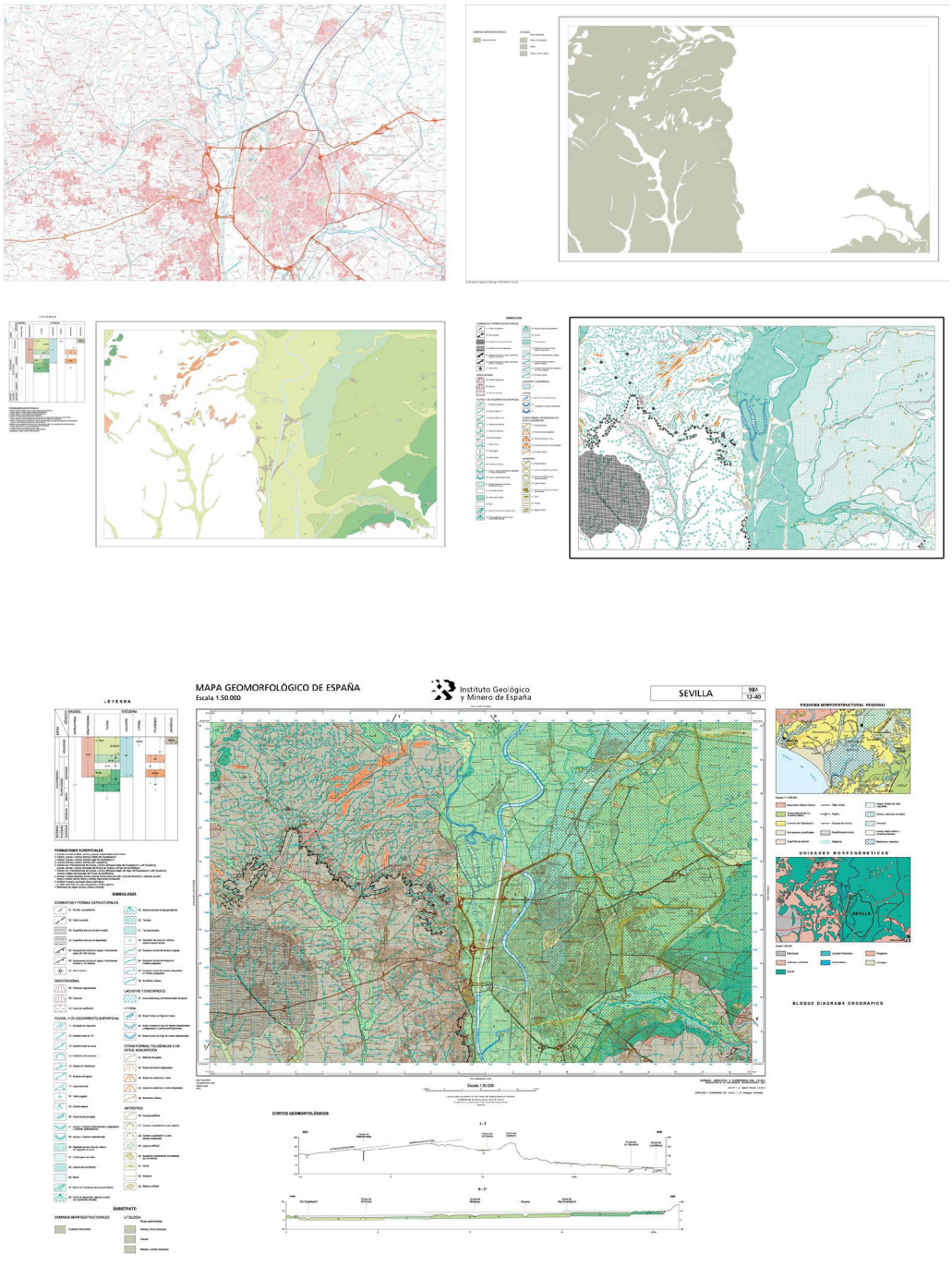


Figura 15. El contenido del Mapa Geomorfológico (arriba) en varios niveles de información cartográfica (topografía, sustrato, formaciones superficiales y formas), y su resultado final (abajo).

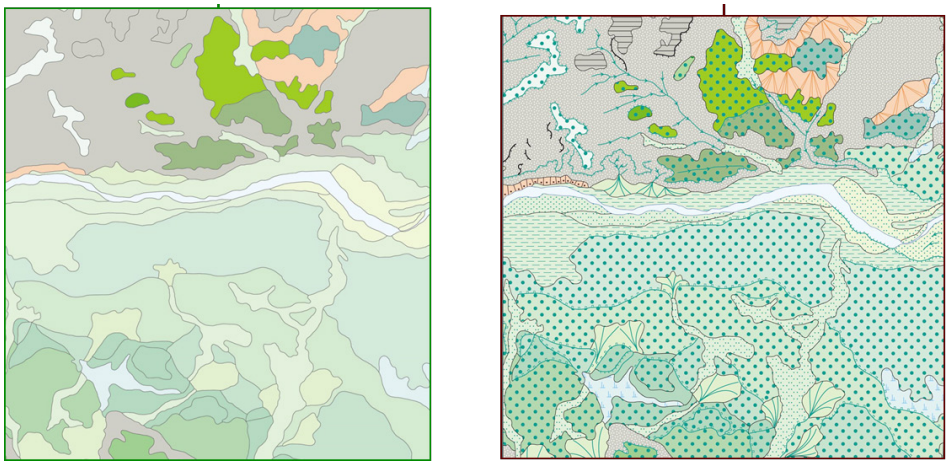


Figura 16. Un mismo fragmento de mapa geomorfológico, uno referido a las formaciones superficiales (izquierda), y otro esa misma referencia completada con simbología que da lugar a las formas por ellas representadas (derecha).

7. El Mapa Geomorfológico a escala 1:25/50.000 del IGME

El mapa geomorfológico a gran escala (1:25/50.000) realizado por el IGME en este formato desde 1990, incluye también, desde 2004, dos cartografías derivadas con aplicación directa: de Procesos Activos y de Unidades Geomorfológicas.

El Mapa Geomorfológico propiamente dicho es un mapa de carácter analítico típico que se ajusta a las directrices y parámetros recomendados por la IGU. Se trata de un documento plagado de elementos de las cuatro materias indicadas por la ortodoxia geomorfológica: morfográficos, litológicos, genéticos y geocronológicos.

En realidad constituye la suma de varias capas de información unas derivadas directamente de geológico y otras no: topografía litología y geomorfología. Como soporte se parte de la una representación topográfica del territorio abarcado con curvas de nivel, y planimetría con hidrografía y toponimia. Hoy día hay una fuerte tendencia a sustituirla por un mapa de elevación del terreno, algo especialmente apropiado para mapas divulgativos. En la siguiente capa de información se representa el sustrato geológico, en este caso fundamentalmente representado por un fondo litológico. La geomorfología está constituida por las formas deposicionales o formaciones superficiales y por las formas erosivas representadas por símbolos. El resultado completo de la suma de toda esta información es el mapa geomorfológico.

Su contenido, obviamente, son las formas del terreno. Se representan todas ellas, ya sean erosivas o de acumulación, y se expresan mediante la combinación de *formas propiamente dichas y depósitos recientes y/o superficiales* (Figura 17). Estas unidades elementales que son las distintas formas, se organizan en agrupaciones genéticas, también llamadas sistemas morfogenéticos, identificando por igual formas generadas o no por procesos funcionales. Se diferencian en de origen endógeno (estructurales y: volcánicas) y de origen exógeno (gravitacionales, fluviales y de escorrentía superficial, glaciares y periglaciares, eólicas, lacustres y/o endorreicas, marinas litorales y estuarinas,, de meteorización química, otras formas, poligénicas o de difícil adscripción y antrópicas) (Figura 17).

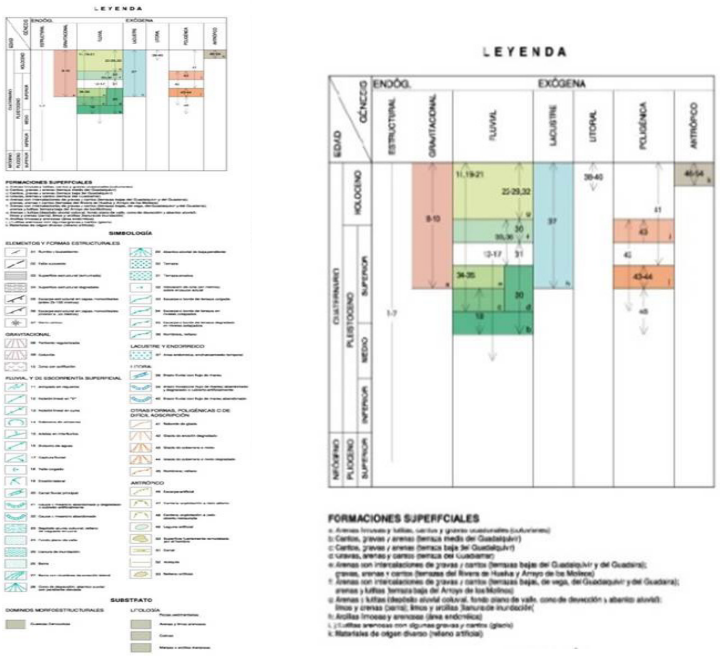


Figura 17. Ejemplo de relación de simbología presente en un mapa geomorfológico (izquierda), y su tabla de leyenda crono/genética (derecha).

Su representación se resuelve mediante una simbología y recintos coloreados agrupados por génesis. También existe la posibilidad de darle al mapa una perspectiva cronológica relativa mediante un doble punto de vista plasmado en una Leyenda con doble perspectiva, de contenido genético y cronológico (Figura 17). Esta fórmula que permite la relación espacial y temporal de todos los elementos del Mapa.

En el Mapa de Procesos Activos está representada la información geodinámica del mapa anterior. Se trata de un inventario básico de procesos activos, es decir todos aquellos procesos geológicos funcionales. Ahora bien, lo que se señala son formas, erosivas y acumulativas (formaciones superficiales), creadas por un determinado proceso geodinámico que opera en el momento actual y no el proceso en sí (Figura 18).

Todo ese inventario, una base de datos gráfica, se organiza en *Actividad sísmica, Neotectónica, Actividad Volcánica, Movimientos de Ladera* (desprendimientos y caídas, deslizamientos, avalanchas, coladas y flujos, avalanchas de nieve, movimientos complejos, reptación y solifluxión/gelifluxión), *Erosión* (erosión fluvial, escorrentía concentrada o lineal, escorrentía difusa y otros tipos), *Inundaciones y Procesos de Sedimentación asociados* (sistemas fluviales principales, los secundarios, los sistemas estuarinos y deltas asociados a la dinámica litoral, otras zonas inundables o/y encharcables: se incluyen también zonas encharcables o/y inundables asociadas a otros procesos), *Procesos claramente asociados a determinadas litologías* (de disolución, subsidencia y hundimiento, de halocinesis a la presencia de arcillas expansivas); *Procesos antrópicos*.

El Mapa de Unidades Geomorfológicas es otro producto cartográfico derivado del Mapa Geomorfológico propiamente dicho. Se trata de un mapa de integración y agregación, fundamentalmente del mapa geomorfológico y del de procesos activos. Utiliza información del mapa geomorfológico (formaciones superficiales, base lito-

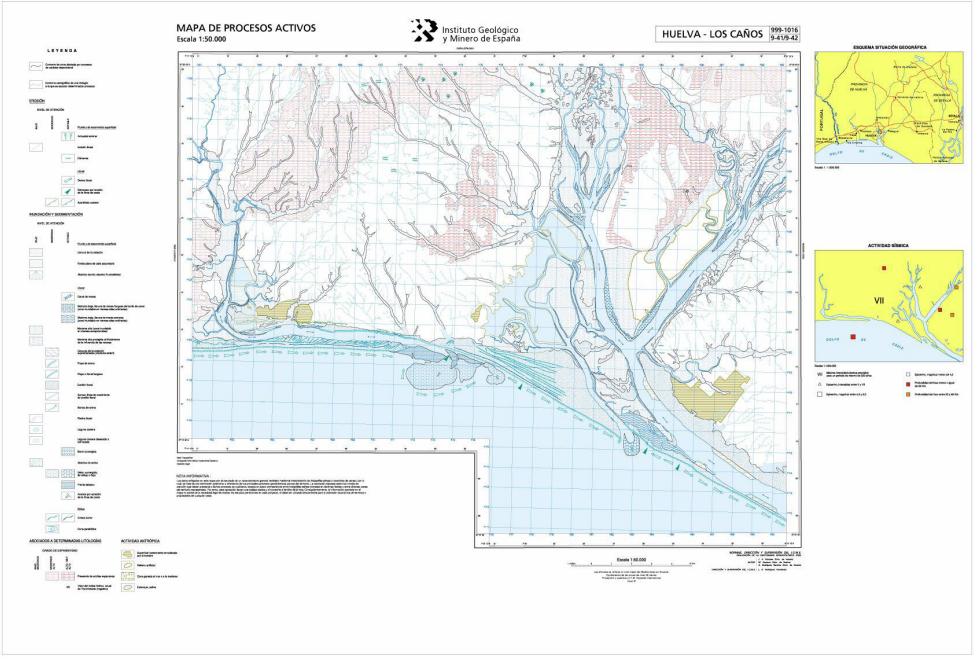


Figura 18. El Mapa de Procesos Activos de la Hoja a escala 1:50.000, número 999-1016 (Huelva-Los Caños) publicado conjuntamente por el IGME incluido en su programa sistemático Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (MGD, 3º Serie).

lógica y esquemas de unidades morfogenéticas) del topográfico (pendientes) y del de procesos activos.

Al Mapa que es muy sencillo, se asocia una completa base de datos de índole geomorfológica y litológica que contiene información topográfica e hidrográfica, morfoestructural, morfogenética, morfográfica, morfométrica y fisiográfica y morfodinámica que se organiza y codifica según el modelo de leyenda que ilustra la Figura 18. Se trata de una cartografía de fácil lectura y manipulación con la pretensión ayudar en temas de planificación territorial.

Antes de iniciar el proceso de diseño de un mapa, de cualquier tipo, es necesario hacerse algunas preguntas tales como ¿Cuál es el propósito, mensaje, y el tema central del mapa? Quién lo ha encargado? ¿Quién lo va a utilizar? ¿Cómo se va a utilizar?

Ante estas preguntas queda claro que existen numerosos enfoques y por tanto muchos tipos de mapas, los geomorfológicos. Sin embargo, en su consideración como una técnica fundamental de producción de base de datos, valiosa para la investigación y para la aplicación, hay que referirse al Mapa Geomorfológico Analítico. Éstos, son un tipo específico de mapa temático que utiliza simbolización compleja e ilustrativa. El reto de esta cartografía es retratar un paisaje tridimensional con todos sus elementos en dos dimensiones, bien si es una hoja de papel o una pantalla de ordenador.

Para mostrar esta información compleja, los mapas geomorfológicos hacen pleno uso de una variedad de elementos de diseño cartográfico. Diferentes tipos de símbolos y colores se diseñan y organizan cuidadosamente con el fin de generar un

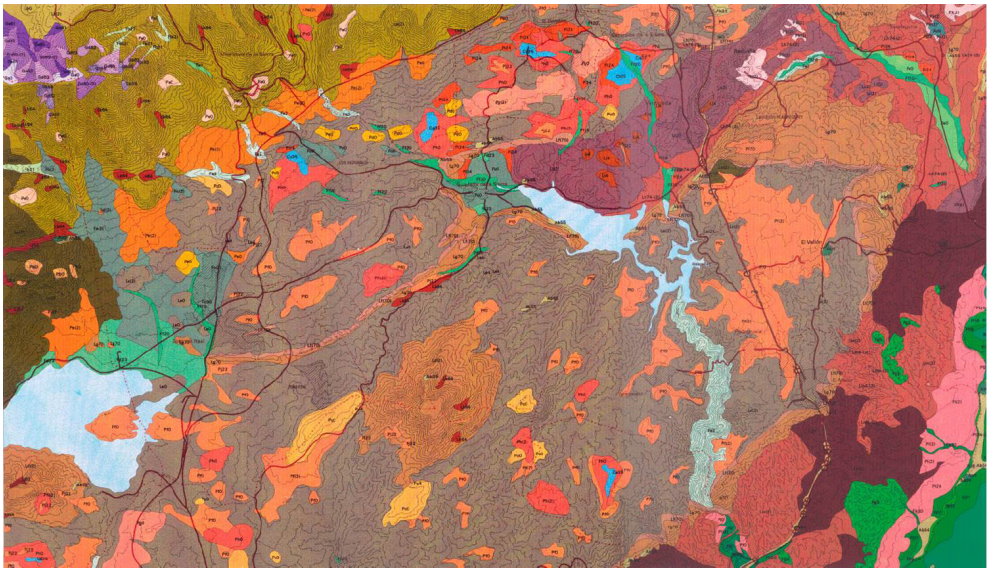


Figura 19. Fragmento de un Mapa de Unidades Geomorfológicas.

mapa legible que exprese claramente el contenido y el mensaje pretendido. Desde este punto de vista, los mapas geomorfológicos pueden considerarse inventarios gráficos de un paisaje donde se representan todas las formas de relieve y materiales del subsuelo. Se trata de una herramienta preliminar para la gestión del suelo y de riesgos geológicos y también proporciona datos de referencia para otros sectores de la investigación medioambiental (ecología del paisaje, silvicultura o ciencia del suelo).

Es indudable que el Mapa Geomorfológico considerado así, es un mapa muy complejo puesto que intenta abordar las *formas* de la superficie de la tierra, el *sustrato* sobre el que se asientan y los *procesos* que sobre ella operan, en fin, toda la geodinámica de su superficie. Transmitir esta complicada información requiere el uso de numerosos elementos de dibujo cartográfico. Se precisa la utilización ordenada de un buen número de símbolos y colores cuya integración llegue a proporcionar una clara comprensión de lo que se quiere transmitir.

El dibujo del mapa es un acto creativo de comunicación visual. Con su composición, la elección de los símbolos y colores se debe tener la *pretensión de transferir el mensaje* deseado. Ese mensaje, por esa complejidad siempre ha sido de difícil transmisión. El resultado gráfico, muy laborioso de ejecución, es casi siempre enmarañado y poco esclarecedor para el receptor, a no ser que éste sea otro especialista.

Pero tampoco se trata de que el mensaje trasmitido vaya directo a cualquier persona porque, por otra parte, el mapa es una base de datos, fundamental y completa, cuya adecuación tiene multitud de aplicaciones.

En el momento actual la amplia distribución y capacidades gráficas extendidas de los SIG-software, así como la disponibilidad de alta resolución de los datos de teledetección, imágenes aéreas y de satélite o de datos digitales de elevación, ha dado lugar a un rejuvenecimiento del método cartográfico en general. Aunque, por el contrario, esta modernización presenta dos problemas contrapuestos. Por un lado, la aplicación de los símbolos complejos utilizando SIG o software gráfico puede llegar a influir demasiado en la selección del sistema de leyenda. Por otro, hoy día la mayoría de los mapas se generan utilizando SIG o software de diseño gráfico, pero

cuando se diseñaron los símbolos no se hicieron para su aplicación digital. Por esta razón muchos símbolos de leyenda son tan complejos que dibujo automatizado por GIS / software de diseño gráfico no es posible.

8. El futuro del mapa geomorfológico

Cualquier investigación, pura o aplicada, relacionada con las ciencias de la Tierra, tiene como soporte habitual la Cartografía Geológica. El aumento demográfico y, en consecuencia, la creciente preocupación de la Sociedad por su entorno, unido a la crisis del sector minero hace ya varias décadas, cambiaron totalmente el enfoque de los estudios geológicos desde entonces. La prospección y la explotación de recursos naturales, fundamentalmente del subsuelo, tradicional y mayoritariamente usuaria de la Geología, fue poco a poco desplazada por otras actividades de aplicación más demandada. Las Obras Públicas, el Urbanismo y la Planificación del Territorio, y muy especialmente problemas tan preocupantes como, el Medio Ambiente, la Desertización, la Erosión, y los Riesgos Naturales, hicieron que una parte de la Geología, la epidérmica o superficial, antaño olvidada y denostada, se desarrollara espectacularmente en el último medio siglo. Poco a poco aparecieron las referencias a mapas de pendientes y de energía del relieve, mapas del Cuaternario, mapas neotectónicos, mapas de erosión, mapas de riesgos naturales, mapas de formaciones superficiales, mapas de procesos geodinámicos activos.., y, básicamente al mapa geomorfológico. Muchos de ellos son mapas temáticos geológicos que tienen su raíz en la geología de superficie, derivaciones directas de ella. En esa relación destacan muy especialmente los *mapas geomorfológicos* pues constituyen la máxima expresión de esa geología epidérmica, su representación más completa. Esos mapas, siendo en sí mismos de gran utilidad, son además imprescindibles para obtener el resto de la cartografía antes citada pues constituyen el documento básico y originario de casi todos ellos.

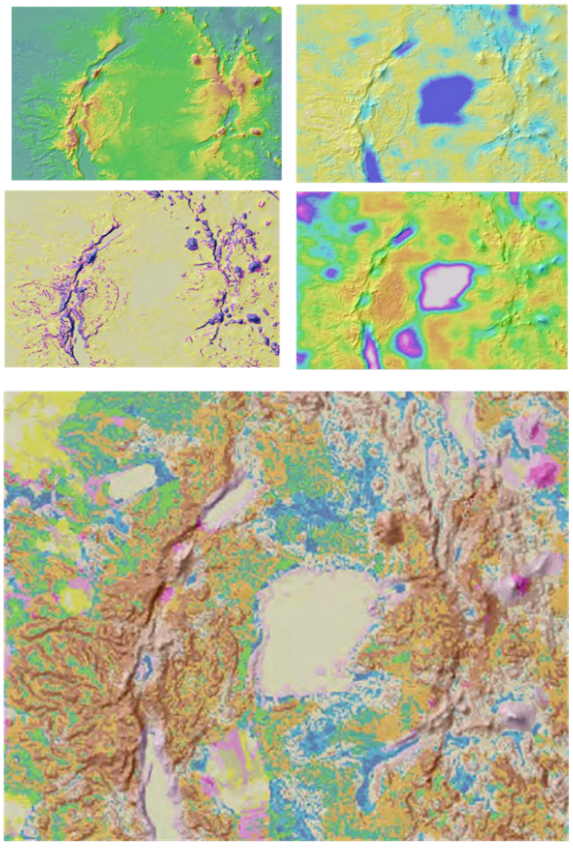


Figura 20. Generación automática de un Mapa Fisiográfico.

En la actualidad no parece que se cuestione la utilidad de estos mapas temáticos próximos a problemas relacionados con los procesos geológicos más superficiales. Por encima de los recursos, son los problemas demográ-

ficos los que demandan cada día más la conveniencia de mapas de este tipo y por tanto parece que su desarrollo con una cierta continuidad no debe considerarse capricho de unos pocos profesionales vocacionales. De hecho el crecimiento de este tipo de cartografías ha sido espectacular en estos últimos años y va a continuar. El IGME, referencia geológica nacional, ya ha realizado sistemáticamente, acompañando a su mapa geológico, mapas de este tipo. Este desarrollo dio lugar a la publicación del Mapa Mural de España a escala 1:1.000.000, realizado por el propio IGME con la colaboración de siete universidades españolas.

Los mapas geomorfológicos a escalas detalladas (menores de 1:10.000), no tardaran en ser demandados de forma sistemática pues son imprescindibles en aquellos sectores de la geografía española con mayor presión demográfica como es el caso de las grandes aglomeraciones urbanas o del litoral. Actualmente, la delimitación del dominio público junto a los ríos o en la costa, llena de litigios administrativos, tiene su resolución en cartografías detalladas de ese tipo. Es una evidencia que debería imponerse a la inercia de la Administración, a menudo desgraciadamente sustentada por la resistencia interesada o cómoda de algunas de sus instituciones.

Probablemente los mapas geomorfológicos derivados con un futuro inmediato más interesante son los de Procesos Activos, puesto que están en clara relación directa con las catástrofes naturales, y tienen, a través de los estudios de peligrosidad, por tanto la posibilidad de prevenirlas o mitigar sus consecuencias.

La utilidad de los mapas geomorfológicos, ya se ha indicado, es extensible a otros campos de actividad. También es indudable que se producirá el desarrollo de otras cartografías temáticas, generalmente mapas más específicos, porque circunstancialmente siempre será necesaria ese tipo de información para apoyar o complementar al resto de la cartografía más genérica. Todo ello favorecido por el desarrollo informático, mediante SIG, que hay que esperar que en un futuro no muy lejano, facilite cada vez más la elaboración y la manipulación de estos mapas.

9. Conclusiones finales

La geomorfología, a través de su expresión más significada, el mapa, es una disciplina transversal, puesto que es capaz de integrar aplicaciones académicas y profesionales, con una repercusión muy positiva en la sociedad. Conocer un elemento del paisaje, saber dónde está, porqué está ahí, como se ha generado, como cambia o puede cambiar es esencial para gestionar un territorio.

La cartografía geomorfológica es considerada una técnica fundamental de la producción de datos de base, valiosos para la investigación y para la aplicación. Los Mapas geomorfológicos pueden considerarse inventarios gráficos de un paisaje donde se representan formas de relieve y materiales del subsuelo. Se trata de una herramienta preliminar para la gestión del suelo y de riesgos geológicos y también proporciona datos de referencia para otros sectores de la investigación medioambiental.

Antes y durante las décadas sesenta y setenta del siglo pasado, que vivieron el desarrollo académico inicial, la aplicación de este tipo de mapa geológico, aunque estaba presente en sus creadores e impulsores, fue limitada. Posteriormente con las necesidades socioeconómicas motivadas entre otras cosas por la expansión demográfica, el enfoque fue cambiando. En España, en los años ochenta y noventa los beneficios de su aplicación eran ya incuestionados.

En este proceso de reconocimiento, en una etapa más cercana han jugado un papel primordial los SIG ya que proporcionan una base subyacente imprescindible; mapas y cartografía digital entendiendo por tal su proceso de representación informático, son una parte integral de este proceso y las habilidades, el conocimiento y la comprensión de los métodos de recopilación de datos, procesamiento y salida son un

elemento clave. Y es que la cartografía, la geomorfológica igualmente, ha renacido con el desarrollo tecnológico. La amplia distribución y capacidades gráficas extendidas de los SIG-software, así como la disponibilidad de alta resolución de los datos de teledetección como, imágenes aéreas y de satélite o de datos digitales de elevación, ha dado lugar a un rejuvenecimiento del método cartográfico en general.

Bibliografía

Barsch, D. & Liedtke, H. 1980. Das GMK25 Musterblatt für das schwerpunktprogramm geomorphologische detailkartierung in der Bundesrespublik Deustschland. *Tagunsgsbericht und Abh., Deutsch. Geogr. Göttingen,* **42**: 252-271.

— 1980. Principles, scientific value and practical applicability of the geomorphological map of the Federal Republic of Germany at the scale of 1:25 000 (GMK 25) and 1: 100.000 (GMK 100). *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Supplement Band,* **36**: 296-313.

Barsch, D., Fränzle, O., Leser, H., Liedtke, H. & Stablein, G. 1985. *Geomorphological Mapping in the Federal Republic of Germany,* presented to the Participants of the First International Conference on Geomorphology in Manchester 1985.

Barsch, D., Fischer, K. & Stablein, G. 1987. Geomorphological mapping of high mountain relief, Federal Republic of Germany (with geomorphology map of Königsee, scale 1:25 000). *Mountain Research and Development,* **7**(4): 361-374.

Brum Ferreira, D. 1981. *Carte Geomorphologuique du Portugal*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos. INIC, Universidade de Lisboa, 55 págs. + 2 mapas.

Bureus, A. 1649: Gothia 1649. *In*: Blaeu, J., *Atlas maior*. Vol. 1. Amsterdam 1662. (Krigsarkivet).

Demek, J. Ed. 1972. *Manual of detailed geomorphological mapping.* Czechoslovak Academy of Sciences. Akademia. 344 págs. Praga.

Demek, J. & Embleton, C. Eds. 1978. *Guide to medium-scale geomorphological mapping*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.

Demek, J., Embleton, C., Gellert, J.F. & Verstappen, H.TH. Eds. 1972. *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. International Geographical Union Commission on Geomorphological Survay and Mapping. Academia, Prague.

Evans, I.S. 1990. Cartographic techniques in geomorphology. *In*: Goudie, A. Ed. *Geomorphological techniques.* 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London. p. 97-108.

Gustavsson, M. 2006. *Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Geodatabase in Sweden*. 38 págs. Tesis doctoral. Uppsala Universitet.

Joly, F. 1966. *Léyende des cartes géomorphologiques étailleés*. Recherche Coop. Sur Programme: cartes geomorphologiques, 43, pp cnrs París.

Klimaszewski, M. 1982. Detailed geomorphological maps. *ITC Journal*, **1982-3**: 265-271.

— 1990. Thirty years of geomorphological mapping. *Geographia Polonica,* **58**: 11-18.

Martín-Serrano García, A. 2001. Desarrollo y futuro de la cartografía geomorfológica en el IGME. *Tierra y tecnología: revista de información geológica*, **22**: 4-14.

Martín-Serrano García, Á., Salazar Rincón, Á., Nozal Martín, F.B. & Suárez Rodríguez, Á. 2004. *Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50.000. Guía para su Elaboración.* IGME, 122 págs.

Peña Monné, J.L. Ed. 1997. *Cartografía Geomorfológica. Básica y aplicada.* Geoforma Ediciones, Logroño, 227 págs.

Passarge, S. 1914. *Morphologischer Atlas. Lieferung I: Morphologie des Messtischbattes Stadtremda.* Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg.

Salazar Rincón, Á. & Martín-Serrano, A. 2006. La normalización del mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000. Su utilidad para la elaboración de mapas de peligrosidad de inundaciones. *In:* Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. & Llorente Isidro, M. Coord. *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones: métodos, experiencias y aplicación. IGME*, 169-182.

Servizio Geologico d´Italia. 1994. *Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento*. Quaderni del Servicio Geologico d´Italia, 4.

— 2007. *Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 - Guida alla rappresentazione cartografica*. Quaderni del Servicio Geologico d´Italia, 10.

Tricart, J. 1965. *Principes et Méthodes de la Géomorphologie.* Masson et Cie, Paris.

— 1970. *Legende pour la Carte Geomorphologique de la France au 1:50.000*. C.N.R.C., 78 pp.

Verstappen, H.TH. 1970. Introduction to the ITC system of geomorphological survey. *Koninlijk Nederlands Aardijkkundig Genootschap, Geografisch Niewe Reeks*, **4**(1): 85-91.

Verstappen, H.TH. & Van Zuidam, R.A. 1968. *ITC textbook of Photo-Interpretation, VII:2 – ITC system of geomorphological survey*. ITC, Delft, The Netherlands.

Rączkowska, Z. & Zwoliński, Z. 2015. Digital Geomorphological Map of Poland. *Geographia Polonica*, **88**(2): 205-210.