

El Macizo de Peñalara (Sistema Central Español). Morfoestructura y modelado

The Peñalara Massif (Spanish Central System). Morphostructure and modelling

Javier de Pedraza¹, Rosa M. Carrasco², José F. Martín-Duque¹ y Miguel A. Sanz Santos¹

1. Departamento de Geodinámica, Facultad de Geología UCM, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. 2. Departamento de Ingeniería, Geológica y Minería, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Tecnológico, 45071.

PALABRAS CLAVE: Sierra de Guadarrama, Montaña intraplaca, Geomorfología Glaciar y Periglaciar, Sistema Central Español.

KEY WORDS: Guadarrama mountain range, Intraplate mountain, Glacial and Periglacial Geomorphology, Spanish Central System.

RESUMEN

El Macizo de Peñalara se localiza en el sector central de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español) y sus cimas sobrepasan en unos 200 m el nivel general de cumbres que presenta aquí 2100 m de cota media absoluta (Fig. 1).

En la estructura de bloques (*Block mountain*) que caracteriza el relieve de esta montaña intraplaca de reactivación Alpina, el Macizo de Peñalara corresponde a una dovela flanqueada por bloques más deprimidos (Fig. 2). Los límites del Macizo están asociados a fallas y, dentro de ellas, destacan las pertenecientes a los sistemas NNE-SSW y NNW-SSE (Fig. 3).

La litología dominante del zócalo son ortogneises glandulares (también hay algunos leucocráticos) de edad preordovícica. Localmente aparecen rocas plutónicas (leucogranitos aplíticos) y filonianas (Aplitas) del ciclo hercínico.

Los sedimentos de las coberteras mesozoicas (del Cretácico) y cenozoicas (del Paleógeno y Mioceno) y los recubrimientos de mayor entidad (de origen fluvial) se localizan en la fosa o depresión intramontana aldeaña de El Paular o Alto Lozoya (Fig. 4).

En el Macizo, sin embargo, afloran los materiales del zócalo o aparece recubiertos por Formaciones Superficiales o depósitos reciente (cuaternarios) discontinuos y de poca entidad: es el caso de los depósitos fluvio-glaciares y torrenciales de los fondos de las gargantas, los tills de los complejos morrénicos pleistocenos (Fig. 5), y los depósitos de vertiente (aglomerados de bloques o canchales y lenguas de soliflucción) debidos a la actividad periglaciar.

En hombreras, rellanos, y planicies de las cimas o de los piedemontes, abundan las depresiones semi-endorreicas (navas, algunas de origen cárstico) donde se producen fenómenos de decantación de finos (limos, arcillas) y reducción (depósitos turbosos).

En las cimas y tramos superiores de las laderas, en cotas que superan los 2000 m., hay formaciones de ambiente frío (nivación y ciclos de helada), con signos de actividad. Son surcos o canales de arroyada por fusión nival, flujo de derrubios (*debris flow*), pedreras de bloques con crestas de imbricación, y suelos estructurados (rosetas, guirnaldas, enlosados) con signos de flujo (Figs. 6 y 7). La magnitud e intensidad de dichos fenómenos, es un tema que se debe investigar en profundidad y servirá para concretar la idoneidad o no de definir estas áreas como un verdadero ambiente o piso periglaciar.

ABSTRACT

The Peñalara Massif is located in the central area of the Guadarrama Mountains (Spanish Central System), and it constitutes the highest terrains within this mountain range (Peñalara Peak, 2428 m). The mountain tops exceed here about 200 m the generalized level of summits, which in this area of the Central System reach 2100 metres above sea level on average (Fig. 1).

These topographic characteristics, along with its northern and continental imprint, make possible to argue about the presence of a current periglacial environment in the Peñalara Massif. This environment would be equivalent to the cryo-Mediterranean vegetation layer (summit grasslands).

For the morpho-structure of serialized blocks (block mountain) which characterizes this intra-plate –Alpine reactivated-type— mountain, the Peñalara massif represents the ‘keystone’, to which other down-thrown blocks are

laterally attached (Fig. 2). The appearance or physiognomy formed by this structural arrangement is the so-called 'stairway piedmont' (*piedmonttreppen*).

The massif boundaries are related to faults, within which two systems are predominant: NNE-SSW and NNW-SSE (Fig. 3). The faults which define the boundaries of the front Massif with respect to its interior valleys (*El Paular* and *Alto Eresma*) belong to the first system. The faults which define the link between the summit plains and the slope shelves belong to the second system.

Orthoderived metamorphic rocks (from pre-Hercynian/pre-Ordovician rocks) constitute the predominant lithology of the basement. They are mostly glandular gneisses, but also leuco-gneisses. Locally, they appear Hercynian and post-Ordovician plutonic (aplite leuco-granite) and dyke (aplite) rocks.

As far as the sedimentary cover is concerned, including recent deposits, they are preferably concentrated at the basis of the Massif, and also in its slopes (Fig. 4). Sedimentary cover is mainly represented by Mesozoic and Cenozoic formations, located at the bottom of the El Paular (or *Alto Lozoya*) Valley graben. They consist in Cretaceous carbonate (dolomites and marl) and detritic (sands and sandstone) rocks, and also Palaeogene (conglomerate and sands) and Neogene (conglomerate and arkoses of the Miocene) rocks.

Piedmont and valley-filling surficial deposits have a major fluvio-torrential origin (alluvial fans and fluvial terraces), of a Pleistocene age. To a lesser extent, there are also channel deposits (alluvial sand, silt, gravel and pebbles) and almost-endorreic lowland sediments (some of them of karstic origin, filling sinkhole-type pits), where decanting of silt and clay – and reduction processes, with peat formation – occurs. Recent slope deposits, despite not being of a great entity in this massif, they have an interest for the interpretation of cold climate geomorphic processes—they are fluvio-glacial and torrential deposits in gorge bottoms, glacial tills and moraine deposits (Fig. 5) and hillslope sediments (scree, talus slope and solifluction lobes), originated by periglacial (cryogenic) activity.

Within the summits and the highest zones of the slopes, almost always above 2000 m.a.s.l. there are surficial deposits with signs of current activity, which will be determining factors in order to establish the current magnitude of the cold climate geomorphic activity (snow and freeze-and-thaw processes). Examples of these surficial deposits and landforms are avalanche gullies and debris flow channels, imbricate stones and small ridges within talus slope deposits, and patterned grounds (stripes, garlands and stone pavements) with signs of current flow (Figs. 6 and 7). The magnitude and intensity of these cold climate processes is an issue that should be investigated deeply (a first step is the periglacial processes gauge at Dos Hermanas). This research will serve for defining or not these areas as a truly periglacial environment.

1. INTRODUCCIÓN: CONTEXTO FISIOGRAFICO DEL MACIZO DE PEÑALARA

Con sus 2.200 m de cota media y los 2.428 de cota absoluta más elevada (el Pico de Peñalara), el Macizo de Peñalara es el relieve culminante de la Sierra de Guadarrama. Dicho macizo se localiza en el extremo meridional de los Montes Carpetanos, que es la alineación orográfica principal de este "sector central" de la Sierra de Guadarrama y define la divisoria natural entre ambas submesetas y cuencas hidrográficas de los ríos Duero y Tajo (Fig. 1).

Dada la región biogeográfica donde se localiza, la Mediterránea, la Sierra de Guadarrama presenta un clima mediterráneo, continentalizado de montaña. Esto quiere decir que hay una clara incidencia del periodo de estiaje y, a pesar de tener un ambiente subhúmedo (la pluviosidad varía entre 500 mm/año en el piedemonte y 1500 mm/año en las cimas) que contrasta con el más seco de ambas submesetas, la vegetación soporta una etapa de penuria o agostamiento que aparece durante el estiaje veraniego. La temperatura media anual varía entre los 14° C en el piedemonte y los 5° C en las cimas; es, por tanto, un ambiente fresco en verano y frío en

invierno que permite el desarrollo de un incipiente piso nival por encima de los 1.900 m. Esto queda bien marcado en el Macizo de Peñalara, donde la permanencia de la cobertura nival en sus cimas es de 4 a 6 meses según los años.

Dentro de la región Mediterránea, el sector central de la Sierra de Guadarrama se encuentra en la provincia Carpetano-Ibérico-Leonesa, sector Guadarrámico, subsector Guadarramense (RIVAS-MARTÍNEZ, 1987) y las series de vegetación se establecen como sigue:

Piso crioromediterráneo: serie guadarrámico silicícola de *Festuca indigesta* (praderas y cervunales de las cimas)

Piso oromediterráneo: serie guadarrámico silicícola del enebro rastrero (piornales de las cimas y zona superior de las laderas, hasta los 1.900 m) y del pino silvestre (pinares de la zona media-alta de la ladera, hasta los 1.700 m de cota media inferior).

Piso supramediterráneo: serie carpetano-ibérico-alcarreña subhúmeda silicícola del roble melojo (robledales de media y baja ladera, hasta los 1.200 m de cota media inferior); serie supra-mesomediterránea guadarrámico-ibérica-soriana-celtibérico-alcarreña y leonesa silicícola de la encina (encinares y,

en casos, enebrales del piedemonte, hasta los 800 m de cota media inferior, y a veces de la ladera en su tramo bajo).

1981). Aquí los materiales del zócalo se caracterizan por dos rasgos básicos: las rocas metamórficas son predominantemente de

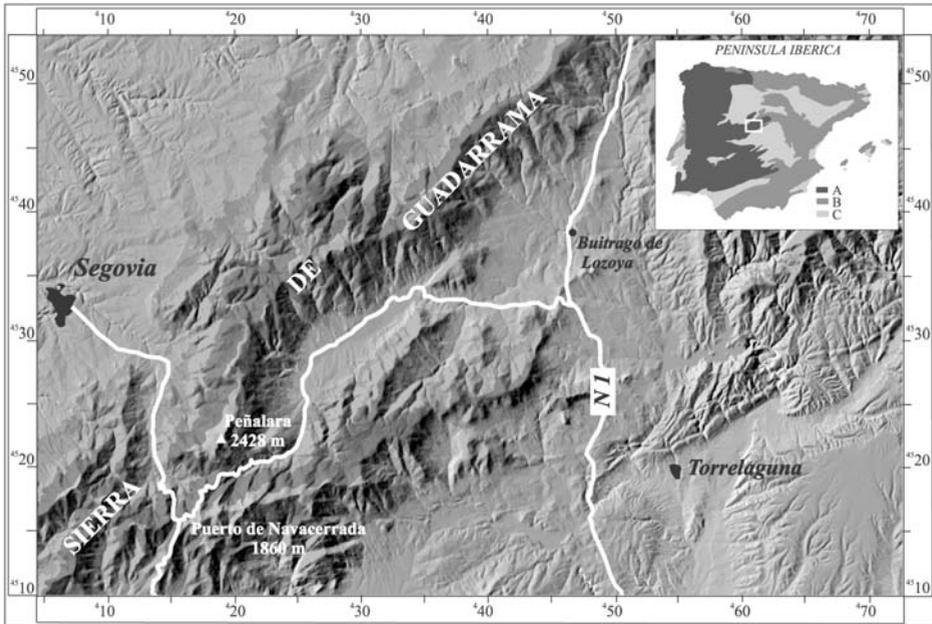


Fig. 1.—Localización del Macizo de Peñalara en la Sierra de Guadarrama y de esta sierra en la Península Ibérica (A. Macizos Antiguos o Macizo Hespérico, B, Cordilleras Alpinas, C. Cuencas Cenozoicas).

—Location map of the Peñalara Massif in the Guadarrama mountains, and location of this one in the Iberian Peninsula (A. Ancient Massifs / Hesperian Massif, B. Alpine Mountains Range, C. Cenozoic Basins).

Estas series corresponden a la secuencia ‘potencial’ de las condiciones ecológicas dominantes; sin embargo, la actividad antrópica y, en casos, algunos procesos naturales la han modificado. En el Macizo de Peñalara la principal variación se localiza en sus laderas, donde el pinar de pino silvestre es la formación dominante por haberse extendido hacia el dominio del melojar e incluso del encinar.

Para correlacionar los aspectos geoestructurales y geomorfológicos a nivel de todo el Sistema Central, estos terrenos se han dividido en una serie de zonas; el Macizo de Peñalara pertenece al que, en ambos casos, se ha denominado “Dominio Central” (Fig. 2).

Geoestructuralmente, ese dominio (conocido también como Complejo Guadarrama) se ha limitado entre la falla de La Berzosa-Riaza y el afloramiento metamórfico de El Escorial Villa del Prado (BELLIDO *et al.*,

grado alto de transformación y exclusivamente de edad pre-ordovícica; y abundan los cuerpos intrusivos producto final de la orogénesis hercínica. En el Macizo de Peñalara, esto se concreta con la presencia casi dominante de gneises glandulares (ortoderivados) y pequeños afloramientos de rocas intrusivas hercínicas (leucogranitos aplíticos y aplitas).

Geomorfológicamente, el “Dominio Central” comprende la practica totalidad de las sierras de Guadarrama y Gredos (PEDRAZA, 1994). Le caracteriza la abundancia de materiales graníticos y gneisicos en los que predomina la estructura de deformación frágil, lo que ha condicionado el proceso de reactivación configurando relieves de “estilo germánico”, es decir, de *horst* y *grabens* (actualmente reinterpretadas como “*pop up*” y “*pop down*”; WARBURTON & ALVAREZ, 1989); frente a estos, en los dominios de

borde (Somosierra, Gata-Peña de Francia), abunda los materiales metamórficos de bajo grado de transformación y con una deformación dúctil propicia para la generación de relieves diferenciales de tipo “apalachano”.

Así pues, la Sierra de Guadarrama es una cadena orográfica de tipo *block mountain*, cuya estructura básica la define un bloque central que actúa de ‘dovela’ y al cual se adosan por ambos flancos bloques más deprimidos formando escalón; cualquiera

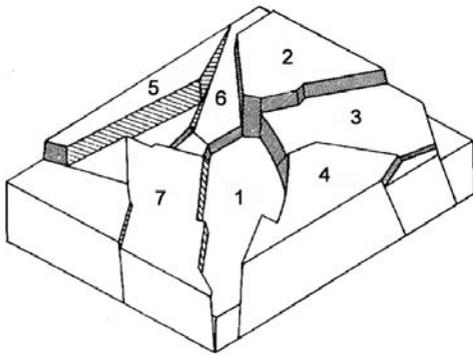


Fig. 2.—Estructura de la Sierra de Guadarrama en el entorno del Valle del Lozoya (según SANZ HERRAIZ, 1986, ref. 1988).

LEYENDA: 1. Fosa del Lozoya, 2. horst de Peñalara, 3. horst del Reventón, 4. horst de Peñacabra, 5. horst de la Cuerda Larga, 6. Cabeza Mediana horst, 7. horst de la Sierra de Canencia / Hontanar mountain range.

—Structure of the Guadarrama Mountains in the Lozoya Valley surroundings (from SANZ HERRAIZ, 1986, ref. 1988).

LEGEND: 1. Lozoya graben, 2. Peñalara horst, 3. Reventón horst, 4. Peñacabra horst, 5. Cuerda Larga horst, 6. Cabeza Mediana horst, 7. horst of the Canencia / Hontanar mountain range.

que sea la explicación genética que se le de (hemicíclica, policíclica o de deformación progresiva; SHCHWENZNER, 1937, ref. 1943; SOLE SABARIS, 1952; PEDRAZA, 1978), estas morfologías constituyen las líneas o directrices básicas del paisaje y su fisonomía pueden resumirse en un sistema de planicies escalonadas o “escalera de piedemonte” (*piedmont-treppen*).

Junto a esas formas, hay otras que se les superponen e introducen nuevos elementos de referencia; se trata del modelado reciente (en general cuaternario) debido a las acciones de procesos fluviales, torrenciales,

periglaciares, gravitacionales y, en casos, glaciares.

2. MORFOESTRUCTURA

El Macizo de Peñalara aparece como un gran bloque tectónico que destaca sobre la planicie cimera o “nivel de cumbres” (*gipfel-flur*), que culmina la alineación orográfica principal de los Montes Carpetanos; a su vez, esta alineación es el resultado de un sistema de bloques elevados por la tectónica y flanqueada por dos valles intramontanos: la depresión-corredor del alto Eresma (o Valsain) y el graben del alto Lozoya (o de El Paular). Aunque la distribución de los bloques en detalle resulte compleja (Fig. 2), a nivel general pueden correlacionarse los accidentes tectónicos que organizan el relieve de esta zona y los que determinan la disposición general del Sistema Central (Fig. 3).

En su origen durante las etapas de reactivación alpina, puede suponerse que las fallas que limitan este macizo desarrollaron importantes desplazamientos en dirección (PEDRAZA, 1976; PORTERO & AZNAR, 1984; VEGAS *et al.*, 1990; CARRASCO *et al.*, 1991; CAPOTE *et al.*, 1996; CARRASCO, 1997; etc.), para terminar con movimientos en la vertical que delimitaron los bloques que actualmente definen las cimas y los piedemontes, especialmente las depresiones intramontanas (PEDRAZA, 1978; CARRASCO, 1997). Todos estos acontecimientos, sin duda complejos, trataremos de resumirlos a continuación.

Como en todo Macizo Antiguo reactivado, los grandes trazos o líneas del relieve de Sistema Central son una herencia de acontecimientos previos a su etapa de reactivación.

El punto de partida es la gran Cordillera Hercínica Europea que resulta de una orogénesis *plurifásica*: varias etapas de metamorfismo regional y de granitización, y varias fases de deformación tectónica (plegamiento y fracturación). Estos antecedentes condicionan una disposición paralelepípedica de los bloques, estableciendo límites netos en el relieve (*block mountain*) y, al mismo tiempo, los resalta o enmascaran con fisonomías de tipo “germánico” o “apalachana”.

Por otra parte, la sucesión continuada de etapas de arrasamiento termina por configurar una gran superficie de erosión “tipo peni-

llanura”, que será el “germen o generatriz” del relieve actual (*dachfläche*): los procesos que la reelaboran y trastocan después (remodelados, etchplanaciones y pedimentaciones, basculamientos, desnivelaciones, rupturas, etc.), son el punto de referencia para explicar muchos rasgos morfológicos del Sistema Central.

A finales del Mesozoico principio del Cenozoico se produce lo que algunos han denominado la “inversión terciaria”: de la “extensión” mesozoica se pasa a la “compresión cenozoica” y así se origina el relieve actual de la Península.

Por lo que se refiere al Sistema Central y una vez se atenúa la influencia de la apertura del Atlántico Central, su reactivación va a depender de los orógenos pirenaico y bético: los esfuerzos generados en esas márgenes activas se transmiten hacia el interior de la placa Ibérica y aparecen una serie de cinturones de deformación intraplaca con intensidad moderada; uno de ellos es el Sistema Central (VEGAS, 1974; CAPOTE *et al.*, 1990; VEGAS *et al.*, 1990; DE VICENTE *et al.*, 1994; etc.)

Es importante resaltar que la asociación entre el orógeno Bético-Rifeño y el origen del Sistema Central es una idea antigua (MACPHERSON, 1901; SCHWENZNER, 1937, ref. 1943; SOLÉ SABARÍS, 1952; BIROT & SOLÉ SABARÍS 1954; etc.); los estudios recientes vienen a confirmar o reafirmar esas apreciaciones y les dan una explicación dinámica.

Al concretar la secuencia de movimientos de reactivación se han establecido unas etapas o fases, que se reseñan según la puesta en lugar de unos relieves, unas estructuras tectónicas, o unos campos de esfuerzos; según los casos, tienen una base de referencia local, regional o global.

Durante muchos años se siguió la secuencia “alpina” establecida por SCHWENZNER (*op. cit.*) y la “escuela alemana”, esto es: *Sávica*, *Estáirica*, *Rodánica*, *Rodánica II*, y *Valáquical*.

Frente a esas referencias globales, las investigaciones recientes han aportado nuevos datos e introducido otras denominaciones más ajustadas al sector en que se detectan los fenómenos; es el caso de la fases o etapas tectónicas “Castellana” y “Neocastellana” (AGUIRRE *et al.*, 1976), “Extremadura” (MARTÍN ESCORZA, 1977), o “Ibérica”, “Torrelaguna”, “Altomira”, y “Guadarrama” (CAPOTE *et al.*, 1990); o de los “ciclos evolutivos” (tectó-

nicos, morfogenéticos y sedimentarios) denominados “prearcósico”, “arcósico” y “postarcósico” (PEDRAZA 1978).

Apoyándonos en esos “ciclos evolutivos”, por cuanto se refieren al origen del relieve, en el Sistema Central hay signos inequívocos de una “tectónica diferencial” que puede concretarse en tres secuencias (PEDRAZA, 1978, 1981; PEDRAZA & CARRASCO, 1999):

La primera secuencia corresponde a *abombamientos generalizados*, que inician el levantamiento y la ondulación de la Meseta estableciendo así áreas deprimidas y elevadas que, a la larga y tras una reestructuración, consolidarían en fosas (a partir de las primeras) o macizos montañosos y plataformas (a partir de las segundas). Son los momentos finales del “ciclo prearcósico” (Paleógeno ?) y se puede asociar a la “fase o etapa Pirenaico-Ibérica”, o la clásica “Pirenaica”. En estos momentos y de acuerdo con lo establecido en otras áreas similares (por ejemplo: en el Valle del Jerte), puede suponerse un movimiento en dirección de la dos grandes fallas que limitan el Macizo de Peñalara, lo que inicia la formación de las depresiones de El Paular y Valasaín como cuencas compensatorias asociadas a ese movimiento (Fig. 3).

La segunda secuencia es la de las *grandes desnivelaciones en la vertical* que establece la relación entre unos macizos montañosos en proceso de levantamiento y sus cuencas o fosas subsidentes asociadas y que actúan de bolsones de sedimentos. Pudo tratarse de un levantamiento continuo creciente (los macizos se “abomban” progresivamente más hasta desgajarse en bloques individualizados), aunque hubiera periodos de estabilización compensados por una mayor subsidencia de las cuencas que se encargaba de mantener la energía del relieve. El final de esta secuencia y que da paso inmediato a la siguiente, se establece en un notable reajuste de los bloques axiales haciendo aparecer en el Sistema Central la “superficie de cumbres” a expensas de la de “paramera (M₃)” que hasta ese momento ocupaba la posición culminante. Es el “ciclo arcósico” (Oligoceno, en parte; Mioceno; y Plioceno, en parte) y se puede asociar a las “fases o etapas Altomira y Bético-Guadarrama” o las clásicas *Sávica* (con dudas), *Estáirica*, *Rodánica*, *Rodánica II* y *Valáquica* (con dudas).

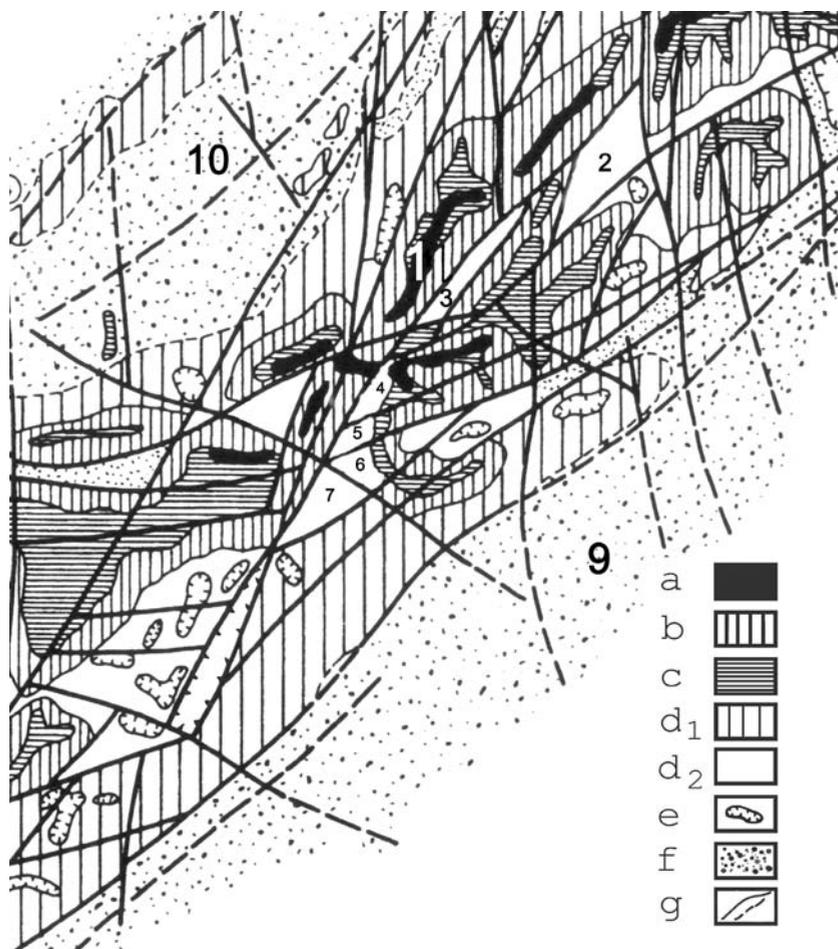


Fig. 3.—Principales fracturas que delimitan los bloques de la Sierra de Guadarrama (según PEDRAZA 1994).

LEYENDA: 1, Pico de Peñalara, 2, Depresión de Buitrago, 3, Valle de El Paular, 4-5-6, Corredor depresiones del Puerto de Navacerrada-Los Molinos-Guadarrama, 7, Depresión de Villalba-El Escorial (Hoya de Villalba); a) Planicies de Cumbres; b) Laderas; c) Planicies Intermedias (de Paramera); d) Planicies de Piedmonte (d₁, rampas; d₂, depresiones); e) Relieves Residuales; f) Cuencas Terciarias (9. Fosa del Tajo, 10. Depresión del Duero); g) Red de fracturas.

—Sketch showing the main faults which bound the Guadarrama Mountains blocks (from PEDRAZA 1994).
 LEGEND: 1, Peñalara Peak, 2, Buitrago Depression, 3, El Paular Valley, 4-5-6, depressions corridor of Navacerrada Pass-Los Molinos-Guadarrama, 7, Villalba-El Escorial Depression (Villalba Basin); a) Summits Plains; b) Slopes; c) Intermediate Plains (Slope Benches); d) Piedmont Plains (d₁, ramps or piedmont s.s.; d₂, depressions); e) Residual Mounts; f) Tertiary Basins (9. Tajo Basin, 10. Duero Basin); g) Faults Net.

En esta etapa aparecen las divisorias como los Montes Carpetanos y se individualiza el Macizo de Peñalara. La evolución de las fosa es más compleja: unas quedan abortadas y se elevan con el macizo (como lo prueba la ausencia de sedimentos terciarios en su fondo) y otras se transforman en pequeñas cuencas intramontanas de subsidencia variable; ambas tipologías están bien representadas por los valles de Valsaín o Alto Eresma y de El Paular o Alto Lozoya, respectivamente.

La tercera secuencia se inicia con o tras ese último reajuste de los bloques axiales (que se mantienen y consolidan en esta etapa) y la caracteriza una importante “distensión” que propicia los hundimientos rápidos o “desplomes” en algunas fosas y depresiones intramontañosas y en las subfosas marginales (adossadas al macizo) de las cuencas. Esos fenómenos se prolongan hasta la actualidad en forma de subsidencias más o menos notorias y localizadas en áreas preferentes (fosas, valles, cuencas locales, etc., sean intramontañosas o externas). Aún cuando algunos signos del relieve parecen apuntar a un “mantenimiento” de rasgos que precisan levantamientos actuales (laderas escarpadas, facetados, desplazamientos de cuerdas, incisiones y cortes en la red de drenaje, etc.), de momento no se han detectado elementos para hipotetizar una incidencia relevante del régimen compresivo que se mantiene y coexiste con el distensivo. Es el “ciclo postarcóico” y puede que su inicio esté asociado a esa etapa compresiva que, según la terminología clásica, correspondería a la Valáquica o más moderna. Ambos procesos, levantamiento inicial en los bloques axiales y desplome posterior en las fosas, serían los responsables de los fuertes contrastes que presentan los relieves actuales en estas áreas del Macizo de Peñalara.

3. MODELADO

A esa morfoestructura básica consolidada a principios del Cuaternario, se superpone otra de detalle debida a los procesos morfogénicos recientes; estos comportan morfologías denudacionales (los verdaderos modelados) y agradacionales (depósitos recientes o formaciones superficiales).

En el Macizo de Peñalara son especialmente notorias las formas debidas a la acción de los procesos glaciares y paraglaciaros, que modelaron sus cimas y los tramos superiores de las laderas a lo largo del Pleistoceno (Fig. 4). La actividad morfogénica actual y reciente (holocena) está controlada por las acciones torrenciales y la arroyada pluvio-nival en todas las laderas, y un periglaciario de localización e intensidad variable (en general, afecta a los terrenos localizados en cotas superiores a los 1900 m); la capacidad de este periglaciario para modificar los relieves periglaciares y glaciares heredados, su evolución a lo largo del Holoceno, así como sus características en la actualidad (localización, intensidad, tipología de proceso, etc.), son temas sobre los que aún se sigue discutiendo (ver por ejemplo: BUTZER & FRANZLE, 1959; SANZ HERRAIZ, 1988; PEDRAZA 1994).

A lo largo de las laderas aparecen algunas “formas de incisión debidas a los cursos de agua (torrenteras)”, si bien estas morfologías tienen escasa extensión y frecuentemente se localizan sobre corredores de fractura e inician su concentración en los antiguos cuencos glaciares, con lo cual la eficacia morfogénica de sus acciones es más limitada de lo que cabría suponer. La verdadera eficacia de estas corrientes se localiza en el mismo piedemonte meridional, donde han generado una serie de abanicos torrenciales que constituyen formaciones superficiales destacadas en el fondo del Valle de El Paular (Fig. 4).

De acuerdo con las morfologías y depósitos reconocidos hasta el momento, el “glaciario” de estas áreas se organizó mediante aparatos de circo y ladera; sólo se ha descrito un glaciar de valle, el de Artiñuelo, en toda la Sierra de Guadarrama. Su desarrollo tuvo lugar entre los 2.000-2.300 m (límite superior de algunas cuencas de acumulación) y los 1.800 m (glaciares de La Laguna Grande, Hoya de Pepe Hernando), 1.700 m (glaciares del Arroyo de la Nevera, Riajo Burro y Hoyo Cerrado) y 1.600 m (glaciares de Arroyo Redondo y Artiñuelo), cotas inferiores de los frentes de fusión (Fig. 4).

En algunos casos aparecen complejos, morrénicos externos e internos bien definidos; esto es bastante significativo en el antiguo glaciar de Peñalara (Fig. 5) e inicialmente fueron atribuidos a sendas etapas o “glaciaciones” equivalentes al Riss y Würm

(OBERMAIER & CARANDELL 1916). Posteriormente, KLEBELSBERG, (1948-49) consideró que se trató de dos "fases" en una misma "glaciación"; hipótesis que también defendieron FRÄNZLE (1959) y BUTZER & FRÄNZ-

minal del frente morrénico (1.720 m en el externo y 1.830 m en el interno); conservación de la morfología en ambos complejos morrénicos; ausencia de fenómenos de edafización, alteración, etc. en los materiales; y

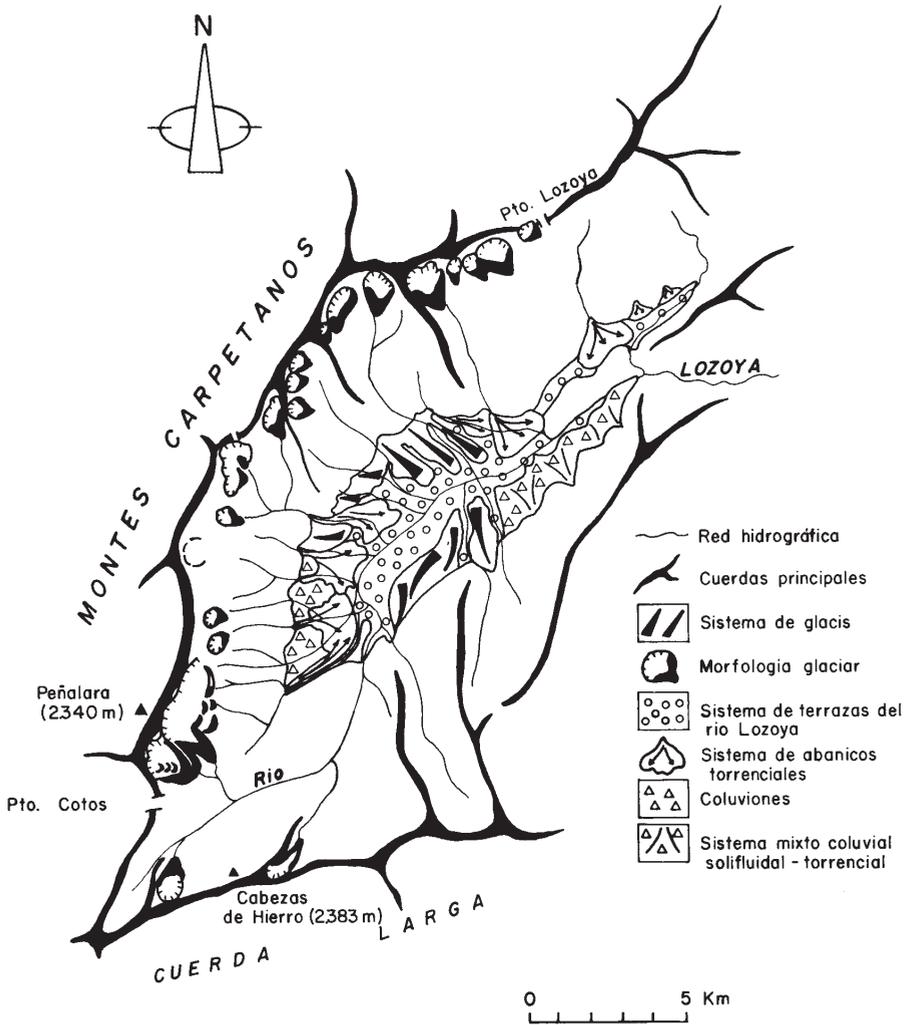


Fig. 4.—Formaciones superficiales (depósitos cuaternarios) en el Valle de El Paular o Alto Lozoya y su entorno (según PEDRAZA *et al.*, 1989).

—Surficial deposits (Quaternary deposits) within the El Paular Valley, or Alto Lozoya, and its surroundings (from PEDRAZA *et al.*, 1989).

LE (1959), por lo que asignaron todo el conjunto a la "glaciación" Würm. Anotemos que los criterios utilizados para establecer esa cronología son: cota absoluta del borde ter-

correlación con los depósitos fluviales de río Lozoya.

De acuerdo con lo anterior, la edad atribuida a estos fenómenos sigue siendo tenta-

tiva; tampoco los análisis paleopalinológicos realizados en la turbera del Circo de Peñalara aportan datos al respecto: los depósitos no sobrepasan los 4000 años BP (ALÍA *et al.*, 1957). Por cuanto es un intento más para clarificar este tema, reseñemos aquí que hay en curso un trabajo mediante técnicas de datación con elementos cosmogénicos (que coordina el Dr. Vidal Romaní de la Universidad de A Coruña) y estamos a la espera de los primeros resultados

Por otra parte y en lo referente a la cartografía de este macizo glaciado, hay que

Como es lógico, las “formaciones periglaciares” presentan una seriación altitudinal, pero también están reguladas por la morfología previa; de acuerdo con ello puede establecerse (SANZ HERRAIZ 1988; PEDRAZA, 1994): un predominio de suelos estructurados (guirnaldas, rosetones, enlosados, gaps, terracillas, círculos incluso, etc.) en las cimas con morfología alomada y en algunos rellanos y hombreras de la parte superior de las laderas; canchales (corredores, campos, taludes, etc. de bloques) en todos los lugares donde aparecen resaltes rocosos, si bien en



Fig. 5.—Vertiente oriental del Macizo de Peñalara. Pueden observarse la morfología glaciaria (circo y complejos morrénicos) del antiguo glaciar del Circo de Peñalar-Dos Hermanas (a la izquierda) y de Pepe Hernando (a la derecha).

—Eastern slope of the Peñalara Massif. Note the glaciated landforms (cirque and moraine systems) of the former Peñalara-Dos Hermanas glacier (to the left) and of the former Pepe Hernando glacier (to the right).

decir que se mantienen las líneas básicas que establecieron OBERMAIER & CARANDEL en 1916 si bien, y como cabía esperar, se han realizado nuevas aportaciones, así: SANZ HERRAIZ (1977, 1988) sobre el glaciario en la vertiente septentrional, CENTENO (1983), CENTENO *et al.* (1983), PEDRAZA *et al.* (1991) sobre los límites precisos de los depósitos y las crestas de pulsación, y ACASO *et al.* (1998) sobre los complejos morrénicos más modernos.

cotas superiores a los 2.000 m se aprecia una actividad significativa por la imbricaciones de bloques, y en las vertientes de mayor concentración nival hay reactivaciones (reajustes de bloques por lavado, reptación, etc.) y fenómenos secundarios (erosión en regueros por la arroyada nivo-pluvial y deslizamientos y flujo de derrubios *debris slides* y *debris flow*); finalmente, suelos hidromorfos y turbosos, así como soliflujión y reptación o

creep, son los fenómenos más generalizados y activos (Figs. 6 y 7).

Las implicaciones de la vegetación herbácea (gramíneas, leguminosas) en estos procesos y los problemas de su regeneración en ambiente frío, es uno de los objetivos que preocupa a los responsables del Parque Natural de Peñalara en sus trabajos de restauración de esta zona.

Anotemos el interés que presentan los suelos estructurados de las cimas y parte superior de las laderas, por cuanto son un

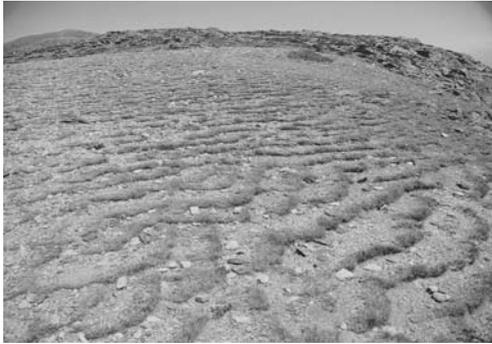


Fig. 6.—Actividad periglacial en las cimas del Macizo de Peñalara: terracillas, rosetones, guirnaldas con signos de flujo; collado de Dos Hermanas.

—Periglacial activity affecting the Peñalara Massif summits; steps, nets, and garlands with flow signs; Dos Hermanas hill pass.

indicador de la intensidad efectiva de los fenómenos periglaciares en estas áreas en la actualidad y, en consecuencia, de la verdadera entidad de un posible piso nival: este es, entre otros, tema a investigar y La Estación de Control Ecológico y Geomorfológico instalada en Dos Hermanas puede aportar muchos datos al respecto (ver al respecto el trabajo de PALACIOS *et al.*, en este mismo número del *Boletín*).

También es de interés la asociación entre los derrubios periglaciares gelifractados, las acciones gravitacionales de caídas, avalanchas, deslizamientos y flujos en corredores con arroyada nival, aludes, etc. y su relación con posibles morrenas de nevero o névè y de estas con las morrenas glaciares. Esto es destacable, ya que como se ha comentado, los canchales dependen de los escarpes rocosos y los más significativos en estas áreas son los de los antiguos

circos glaciares; caso notable es el del Circo de Dos Hermanas, donde las formaciones de bloques presentan una secuencia glacioperiglacial que permite observar la transición desde las morrenas finiglaciares a las de névè o, posiblemente, glaciares rocosos (Comunicación personal de E. Acaso Detell).

Aunque no sean formaciones pertenecientes estrictamente al macizo de Peñalara ya que se localizan fundamentalmente en el piedemonte (Valle de El Paular), reseñare-



Fig. 7.—Actividad periglacial en las cimas del Macizo de Peñalara: pedreras de gelifracción con bloques imbricados; loma occidental del Pico de Peñalara.

—Periglacial activity in the Peñalara Massif summits; cryoclastic scree with imbricate blocks; western hillock of the Peñalara Peak.

mos aquí brevemente las “formaciones aluviales”. Por continuidad en los afloramientos, potencia y constancia en su generación a lo largo de todo el Cuaternario, son los depósitos recientes más destacados en estas áreas del Sistema Central. Corresponden a ríos y arroyos con una dinámica torrencial en los afluentes y fluvio-torrencial en el emisario principal, el río Lozoya en su recorrido por el fondo de la depresión. Destaca la importancia de los aportes laterales desde las laderas, que han dado lugar a una serie de conos o abanicos de piedemonte (Fig. 4).

En conjunto, la secuencia fluvio-torrencial consta de dos generaciones de abanicos y tres niveles de aterramiento (PEDRAZA *et al.*, 1991).

La primera generación se encaja en un glacis de erosión que disecta por igual a materiales cristalinos y sedimentarios de cobertura. Genéticamente es asociable a los aluvio-

nes que definen la 1ª terraza (entre +6 a 10 m sobre el canal actual) del río Lozoya.

La segunda generación se encaja en la primera y es asociable genéticamente a los aluviones que definen la 2ª terraza del río Lozoya (+3 a 5 m sobre el canal actual). Una 3ª terraza (+0,5 a +1 m) o terraza actual, las llanuras aluviales y los fondos de valles, completan estas secuencias.

La cronología de estos materiales es meramente tentativa y se ha basado en su posición morfotopográfica, la correlación con otras áreas similares, y la relación con otras formas y procesos; así: primera y segunda terraza se establecen como pleistocenas, y la tercera, junto a aluviales y fondos de valle, holocenos.

Asociados con la actividad fluvial, destaca la reactivación de los fenómenos cársticos que han desarrollado un interesante carst aluviales y frecuentes dolinas de colapso. En una de estas formaciones carstificadas, concretamente en Pinilla del Valle, está el único yacimiento paleontológico del Pleistoceno que contiene restos humanos y se localiza dentro del Sistema Central (ALFÉREZ *et al.*, 1982).

Recibido el día 10 de diciembre de 2003

Aceptado el día 9 de febrero de 2004

BIBLIOGRAFÍA

- ACASO DETELL, E., CENTENO CARRILLO, J. D. & PEDRAZA, J. 1998. Nuevas aportaciones al modelo evolutivo del glaciar de Peñalara (Sistema Central Español). In: *Investigaciones recientes de la Geomorfología Española. Aportaciones a la V reunión Nacional de Geomorfología (Granada, 1998)*, A. GÓMEZ ORTIZ, F. SALVADOR, L. SCHULTE & A. GARCÍA NAVARRO (Eds.), págs. 691-695. Geofoma Ediciones, Logroño.
- AGUIRRE, E., DÍAZ MOLINA, M. & PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 1976. Datos paleomastológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Central Española. *Trabajos del Neógeno y Cuaternario*, 6: 7-29.
- ALFÉREZ, F., MOLERO, G., MALDONADO, E., BUSTOS, V., BREA, P. & BUITRAGO, A. M. 1982. Descubrimiento del primer yacimiento Cuaternario (Riss-Würm) de vertebrados con restos humanos en la provincia de Madrid (Pinilla del Valle). *COLPA*, 37:15-28.
- ALÍA, M., MENÉNDEZ, J. & VIDAL BOX, C. 1957. *Guadarrama, Massif de Peñalara et variation El Escorial-Manzanares el Real*. Livret-Guide de l'excursion C₃ et C₄. V Congreso Internacional INQUA, 41 págs. Madrid.
- BELLIDO, F. *et al.* 1981. Características generales del Cinturón Hercínico en el sector oriental del Sistema Central. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8:145-166.
- BIROT, P. & SOLÉ SABARÍS, LL. 1954. *Investigaciones sobre la morfología de la Cordillera Central Española*, 87 págs. CSIC. Madrid.
- BUTZER, K. W. & FRÄNZLE, O. 1959. Observations on Pre-Würm Glaciations of the Iberian Peninsula. *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 3:85-97
- CAPOTE, R., DE VICENTE, G. & GONZÁLEZ CASADO, J.M. 1990. Evolución de las deformaciones alpinas en el Sistema Central Español (S.C.E.). *Geogaceta*, 7: 20-22.
- CAPOTE, R., VILLAMOR, P. & TSIGE, M. 1996. La tectónica alpina de la Falla de Alentejo-Plasencia (Macizo Hespérico). *Geogaceta*, 20(4): 921-924.
- CARRASCO, R. M. 1997. *Estudio geomorfológico del Valle del Jerte (Sistema Central español): secuencia de procesos y dinámica morfogenética actual*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 343 págs. (Inédita)
- CARRASCO, R. M. & PEDRAZA, J. 1991. Historia morfo-dinámica de la falla de Plasencia en el Valle del Jerte. *Boletín Universitario. Actas de Gredos*, 11: 17-29.
- CENTENO, J. D. 1983. *Síntesis y clasificación del relieve de un sector de la Sierra de Guadarrama*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. U. Complutense de Madrid. (Inédita).
- CENTENO, J. D., PEDRAZA, J. & ORTEGA, L. I. 1983. Estudio geomorfológico, clasificación del relieve de la Sierra de Guadarrama y nuevas aportaciones sobre su morfología glaciár. *Boletín de la Real Sociedad Española Historia. Natural, (Geol)*, 81(3-4):153-171.
- DE VICENTE, G., GONZÁLEZ CASADO, J. M., CALVO, J. P., MUÑOZ MARTÍN, A., GINER, J. & RODRÍGUEZ PASCUA, M. 1994. Evolución y estructuras alpinas en la zona del centro peninsular. *Cuadernó Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 19: 175-190.
- FRÄNZLE, O. 1959. Glaziale und periglaziale Formbildung im östlichen Kastilichen Scheidegebirge (Zentralspanien). *Bonner Geographische Abhandlungen*, 26:1-80.
- KLEBELSBERG, R. 1948-1949. *Handbuch der Gletscherkunde und Glacialgeologie*. 2 vol. Viena.
- MACPHERSON, J. 1901. Ensayo de la historia evolutiva de la Península Ibérica. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, serie II, 10: 123-165.
- MARTÍN ESCORZA, C. 1977. Aplicación de las imágenes Landsat al estudio de las relaciones entre la "Raña" y la tectónica pliocena en la Meseta Central española. *Tecniterrae*, 20: 1-15.
- OBBERMAIER, H. & CARANDELL, J. 1916. *Los glaciares cuaternarios de la Sierra de Guadarrama*. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Ser. Geología), 85 págs., Madrid.
- PEDRAZA, J. 1976. Algunos procesos morfogenéticos recientes en el valle del río Alberche (Sistema Central español): la depresión de Aldea del Fresno-Almorox. *Boletín Geológico y Minero*, 87 (1): 1-12.
- PEDRAZA, J. 1978. *Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central español)*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 459 págs. (Inédita)

- 1981. El borde de la zona de transición entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Ibérico); evolución morfotectónica reciente. *Cuadernos de Geología Ibérica*, **7**: 667-681.
- 1994. El Periglaciario del Sistema Central Español. In: *Periglaciario en la Península Ibérica, Canarias, y Baleares*, A. GÓMEZ ORTIZ, M. SIMÓN & F. SALVADOR (Eds.), págs., 147-164. Universidad de Granada.
- 1994. El Sistema Central Español. In: *Geomorfología de España*, M. Gutiérrez Elorza (coord.), págs. 63-100. Editorial Rueda, Madrid.
- PEDRAZA, J., CENTENO, J. D., & ACASO, E. 1989. Macizo de Peñalara. 2ª Reunión del Cuaternario Ibérico, Madrid 25-29 de septiembre de 1989. Guía de la Excursión C-1, 19 págs., AEQUA-GTPEQ, Madrid.
- PEDRAZA, J. & CARRASCO, R. M. 1999. Morfotectónica del Sistema Central Español: ideas actuales. *Studia Geologica Salmanticensis*, **7**: 51-71.
- PEDRAZA, J., BARDAJÍ, T., CENTENO, J. D. & FERNÁNDEZ, P. 1991. *Mapa Geológico de Segovia (Geomorfología y Cuaternario)*. Hoja nº 483 del Mapa Geológico Nacional 1:50000 (MAGNA). ITGE, Madrid.
- PORTERO, J. M. & AZNAR, J. M. 1984. Evolución morfotectónica y sedimentación terciarias en el Sistema Central y cuencas limítrofes (Duero y Tajo). *Actas del I Congreso Español de Geología*. Tomo 3, págs., 253-263.
- RIVAS MARTÍNEZ, S., (coord.). 1987. *Mapa de las series de vegetación de España, escala 1:400.000*. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- SANZ HERRAIZ, C. 1977. Morfología glaciar en la sierra de Guadarrama. El modelado de las áreas glaciares y periglaciares (Peñalara-Los Pelados). V *Coloquio de Geografía*, págs., 49-55. Granada
- 1988. *El relieve del Guadarrama Oriental*. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. 574 págs., Madrid
- SCHWENZNER, J. E. 1943. La morfología de la región montañosa central de la Meseta española. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.* **41**:121-124. Traducción y síntesis, realizada por C. Vidal-Box, del trabajo original publicado en 1936 en *Geographische Abhandlungen*, **10** (3).
- SOLÉ SABARÍS, LL., (coord.). 1952 Geografía Física de España. In: *Geografía de España y Portugal, Tomo I*, M. DE TERÁN (dir.), págs 1-500. Montaner y Simón. Barcelona
- VEGAS, R. 1974. Las fallas de desgarre del SO de la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, **85** (2): 153-156.
- VEGAS, R., VÁZQUEZ, J. T., SURIÑACH, E. & MARCOS, A. 1990. Model of distributed deformation, block rotations and thickening for the formation of the Spanish Central System. *Tectonophysics*, **184**: 367-378.
- WARBURTON, J. & ÁLVAREZ, C. 1989. A thrust tectonic interpretation of the Guadarrama Mountains, Spanish Central System. In: *Libro homenaje a R. Soler*. Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo (AGGEP), págs. 147-155, Madrid.