



# La geología española y las presas. Peculiaridades e invariantes morfológicas

## Spanish geology and dams. Morphological peculiarities and constants

**Clemente Sáenz Ridruejo** (†). Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ldo. en Ciencias Geológicas  
**Clemente Sáenz Sanz**. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
 csaenzs@acciona.es

**Resumen:** Este texto, casi germinal, estaba hace meses destinado a convertirse en uno de más amplio vuelo. Originariamente, con motivo del próximo Congreso del ICOLD de Barcelona. Quedó en «stand-by» debido a la enfermedad de Clemente Sáenz Ridruejo. Se recogen en él los rasgos geológicos principales que condicionan la fisiografía española y las peculiaridades de su red fluvial y cuencas hidrográficas. Que, en definitiva, tienen una incidencia muy importante sobre determinados invariantes en la organización de los aprovechamientos y en la morfología de presas y embalses.

**Palabras Clave:** Fisiografía, Organización hídrica periférica, Desniveles y capturas fluviales, Aprovechamientos, Presas, Centrales

**Abstract:** This preliminary text was destined to become one of far broader scope. The original was prepared with a view towards the forthcoming ICOLD Congress in Barcelona, but was placed on stand-by due to the illness of Clemente Saenz Ridruejo. The text covers the main geological characteristics conditioning Spanish physiography and the peculiarities of its fluvial network and hydrographic basins. This has a considerable effect on certain constants in the organization of water harnessing and the form and structure of dams and reservoirs.

**Keywords:** Physiography, Peripheral hydric organization, Water falls and catchments areas, Harnessing, Dams, Power plants

### 1. Introducción

La literatura dedicada al binomio que nos ocupa es muy abundante: Congresos, libros, multitud de artículos (generalizadores los unos, divulgadores de aspectos concretos y “case histories” una legión).

Desde hace muchos años, aspectos parciales tales como la relación entre presa y tectónica, la de presa y petrografía o litología, la permeabilidad de los terrenos en lo tocante a las cerradas, y en ocasiones a los vasos, los modos de exploración deseables -y la introducción de técnicas novedosas, especialmente en los ensayos *in situ*, las técnicas de corrección (de filtraciones, de refuerzo del terreno, etc, más numerosas estas últimas a medida que las cerradas mejores han sido aprovechadas y las dificultades de elección aumentan), o el empleo de mate-

riales de construcción en ocasiones singulares, se han tratado de forma más o menos monográfica, tanto por los comités locales como por los Congresos internacionales de presas. Y por supuesto, en innumerables comunicaciones en revistas y publicaciones especializadas.

Hacer un compendio, tan siquiera esquemático, es ocioso hoy día. Hace tres décadas, en un libro editado por el Comité Nacional Español de Grandes Presas, Clemente Sáenz Ridruejo trató de hacer una síntesis breve de todo ello, recogiendo la ya entonces larga andadura española en la materia.

Aquí centraremos la relación entre la geología y las presas con un enfoque más general, esforzándonos en mostrar la distribución y características de los diques en función de la estructura del territorio. Como veremos, el español es un laboratorio idóneo a estos efectos, y sus

rasgos físicos y su peculiar modelado permiten explicar en gran medida las soluciones que se adoptan.

## 2. Principales características fisiográficas de la península

Resumiendo de modo muy general, la Península Ibérica presenta ante nuestros ojos los siguientes condicionantes generales:

- La variedad litológica. En el territorio peninsular quedan representados prácticamente todos los tipos de rocas. Puede decirse que apenas escasean las rocas volcánicas, excepción hecha de los complejos del Campo de Calatrava, los aparatos de Olot y la representación litoral del Cabo de Gata, que no dejan de ser manchones aislados. Tampoco son muy abundantes o reseñables los depósitos de limos. Los del valle del Ebro son de espesores modestos en relación a las acumulaciones de loess bien conocidas del Este de Europa o de China.
- La importancia de los desniveles: es bien conocido que la altura media de España es una de las mayores de Europa, pero más reseñable es que el territorio, por peninsular, muere mayoritariamente a nivel del mar, lo cual acentúa el desnivel relativo, que es en definitiva el interesante a efectos hidráulicos.
- La condición peninsular tiene como lógica consecuencia una organización hídrica "periférica". La distribución de escurrimientos presenta similitudes en las vertientes Norte y Sur: los cauces cortos y desnivelados de la Cornisa Cantábrica y los andaluces de los Montes de Málaga y sierras litorales granadinas y almerienses, afluyen al mar tras recorridos mayoritariamente abruptos (1). Pero es por el contrario muy asimétrica a saliente y a poniente, con divisorias fuertemente orientalizadas si exceptuamos la del Ebro.
- La península se organiza como un anfiteatro amurallado litoralmente; esta circunstancia puede observarse en el Cantábrico, en las costas catalanas, en los fuertes espolones del derrame levantino de la Ibérica y en las agrestes costas alicantinas, de fuertes relieves prebéticos, o en la delgada franja costera que va de Almería a Algeciras, sobre la que se alzan los mantos béticos hasta alturas notables en cortas distancias en planta. Excepción casi única es el valle bajo del Guadalquivir. No existen apenas amplias llanuras litorales, y nuestras albuferas son muy modestas

comparadas con las de la Europa que asoma al Báltico, con ejemplos tan notables como las de la antigua Prusia oriental, en el actual enclave ruso de Kaliningrado.

- Consecuente con los desniveles es el predominio de la erosión sobre el depósito. Los aluviones notables del Guadalquivir, que en tiempos históricos han rellenado el *Lacus Ligustinus*, o los aparatos deltaicos del Ebro y de algunos ríos catalanes son excepcionales.

Estas características tienen directo reflejo en la red fluvial, y por ende sobre la organización de los elementos de aprovechamiento de la misma.

## 3. Consecuencias en la red fluvial

Como consecuencia de la variedad litológica, los ríos españoles se alejan de la forma típica de la hipérbola cóncava, que sería la resultante natural del proceso de erosión y arrastre en cuencas de petrología homogénea y con precipitaciones repartidas. Excepción hecha del valle del Guadalquivir, de los cauces afluyentes al mar del Alborán y de los vertientes al Cantábrico (pues estos dos últimos conjuntos no tienen más que un peldaño posible entre cabecera y desembocadura), los perfiles son escalonados, en sucesión de tablas y toboganes. Ejemplo de las primeras son las grandes cuencas terciarias interiores o algunas depresiones subpirenaicas, y de los segundos los encañonamientos subsiguientes, por ejemplo en los materiales hercínicos de los Arribes, en los colectores que aserran el Prepirineo, o, más modestos, los pasos finales del Ebro aguas abajo de Ascó (2).

La idea de la doble hipérbola de los ríos de la meseta fue descrita en los anexos al Plan de Lorenzo Pardo. Estos perfiles de tablazos y rabiones se conocen y justifican desde Guglielmini, en el siglo XVII.

Por esta misma variedad litológica las plantas de los ríos se cuajan de anchurones y formas divagantes en las llanuras colmatadas de materiales blandos -que anteceden en muchos casos nuevos estrechos-, y aparecen secciones encañonadas y desfiladeros en las rápidas que descarnan las rocas más duras de los cerros fluviales.

El amurallamiento perimetral al que nos hemos referido antes es también responsable de los últimos rápidos de los cursos, muchos de los cuales se encajan en su curso más bajo: Ebro -como ya hemos dicho-, Júcar, Llobregat o Guadalfeo son buenos ejemplos.

(1) Y que dan lugar a parajes tan espectaculares como el desfiladero de los Gaitanes en el Guadalhorce o la "garganta divina" del Cares.

(2) Atraviesa dos ramas de la litoral catalana, separadas por una pequeña depresión terciaria, en Mora de Ebro. Los estrechos finales son los de Cherta; del azud allí existente hubiese partido la rama Sur del tan denostado Trasvase al Levante.



Paisajes acusadamente erosivos, como este badland murciano labrado en margas, cercano a la Rambla del río Chícamo (cuya singularidad es su agua dulce, en una región dominada por los cursos salobres), son característicos de la combinación déficit hídrico-precipitaciones torrenciales. Foto: Clemente Sáenz, 2003.

Otra invariante castiza, fruto de los grandes desniveles apuntados, es la gran clavazón prevalente en los valles, y el consiguiente predominio de la erosión sobre el depósito. Salvo en el caso de las rías costeras cegadas por los aluviones o en los "cazaderos" de yesos (3), los máximos espesores de depósito rara vez superan la veintena de metros. Se superan sin embargo en circos glaciares, tales como el de Pineta, pero quedan fuera de nuestros propósitos.

La planta casi insular y la localización a modo de tapón entre Atlántico y Mediterráneo (sólo aliviada por la brecha del Estrecho) es motivo de situaciones hídricas muy variadas, y, como es bien conocido y pa-

decido en la actualidad, contrastantes: a la humedad del cuadrante Noroccidental se opone la acusada aridez y déficit permanente del Sudeste peninsular. Las precipitaciones son intermitentes, y muchas veces violentas (4). Rieras y ramblas son el trasunto castellano de los *ueds* árabes, que designan cauces no permanentes (5).

A su vez, y como ha quedado anotado, la divisoria de ambos mares está fuertemente orientalizada, pues la Península está "basculada" a Occidente. De este modo las cuencas atlánticas son mucho más grandes que las mediterráneas. En resumen, llueve más y en mayor área (6).

(3) Existen grandes espesores debidos a acumulaciones locales ligadas a cubetas de subsidencia posteriormente colmatadas por acarrees en el Manzanares a la altura de su confluencia con el Jarama, que no pueden proceder tan sólo de la modesta capacidad del "aprendiz de río". También el Ebro, aguas arriba de Zaragoza, ha dejado espesos depósitos ligados a procesos de disolución y hundimiento.

(4) Hemos tenido ocasión de leer recientemente la descripción que hizo Hans Christian Andersen de una inundación en las Ramblas de Barcelona (en los años 60 del siglo XIX), que no ahorra detalles acerca de la virulencia del episodio y lo funesto de sus resultados: viandantes y animales arrastrados y devorados por las aguas y por los sumideros, puestos callejeros destruidos, el lodazal resultan-

te. Ver la reedición de su "Viaje a España". Alianza Editorial, 2005. No es el único pasaje del libro que contiene referencias a estos desastres, entonces habituales año tras año.

(5) La voz rambla procede de «ramla» (en árabe, arenal). El hidrónimo oued ha quedado sin embargo fosilizado en el idioma castellano, asociado a los cursos permanentes (Quad-), cuando no es éste su origen.

(6) La relación de superficies entre las cuencas vertientes al Atlántico y las que lo hacen al Mediterráneo es de 2,2 (si contamos Portugal). Sin embargo, la relación de las aguas drenadas superficialmente y a los acuíferos de ambas vertientes es de 4. Si quitamos el Ebro de los ríos que desaguan al Mediterráneo, dicha relación es de 8.

El azud de Cherta en el último estrecho del Ebro. Se aprovecha como toma de los canales terminales del Delta.



A ello hay que unir otros factores que diferencian los cursos vertientes a poniente de los levantinos, ligados a la petrología: estos últimos presentan huidas directas de las aguas pluviales al mar, por infiltración en rocas cuya permeabilidad es mucho mayor (7). También la calidad de las aguas es consecuencia directa de este hecho, pues no sólo las aguas son más duras, sino que se establecen relaciones entre aguas salobres y dulces que hacen muy vulnerables los acuíferos más costeros.

La existencia de rocas muy permeables y los grandes desniveles inducen trasvases subterráneos, algunos muy notables en la divisoria de Atlántico y Mediterráneo (11). Otra consecuencia es la existencia de capturas fluviales, de las cuales existe en España un variadísimo muestrario, que no debemos exponer aquí.

#### 4. Consecuencias para la ingeniería hidráulica

En primer lugar, es de reseñar **el escalonamiento canónico** de los aprovechamientos: las cabeceras nivales

(7) Caso extremo es el de la isla de Mallorca, en la cual no se puede considerar que exista cauce permanente alguno.

de muchos ríos españoles favorecen saltos de manométrica importante, en cuencas de pequeña extensión y con caudales modestos. Frecuentes son los aprovechamientos de lagos glaciares. Hoy en día, consideraciones ecológicas paralizarían probablemente tales proyectos, lo cual no es óbice para que muchos de los *estany*s "fossilizados" mediante cierres delanteros aporten un valor añadido significativo a los parajes en que se implantan.

La tabla fluvial subsiguiente suele contener el gran vaso regulador de cabecera de cuenca, cuya presa se cierra en la embocadura del cañón fluvial subsiguiente. Inmediatamente después, los rabiones significan pendientes medias importantes; en términos hidráulicos, un nuevo salto, partiendo de la presa anterior, que resulta de gran aprovechamiento, al combinar caudales muy importantes con alturas notables. Las centrales hidroeléctricas que se benefician de estas rápidas se ubican en las salidas de los estrechos; la reposición se aprovecha en contraembalse, con el que se adaptan los canales de regadío a los horarios hidroeléctricos.

Habitualmente, el esquema que venimos describiendo acaba en un gran llano, de amplias extensiones –costero o de cualquier modo terminal–, que es el que abastecen los canales antecitados.



La modesta presa de cabecera del Ebro, cercana a Reinos, que regula una cuenca de apenas 500 km<sup>2</sup> del joven cauce se levanta 34 metros sobre cimientos. En un estrecho portillo (el desarrollo por coronación es ligeramente mayor de 200 m) es capaz sin embargo de anegar un área de más de 6.000 Ha, y genera un cubo de 540 Hm<sup>3</sup>. Foto MMA.

Ejemplos de esta sucesión los tenemos incontables: el del Ebro, en portillos sucesivos, que rematan en los canales de sus márgenes aguas abajo de Tortosa; el Aragón, cuyo gran embalse es Yesa, en trance de ampliarse, desde donde se riegan las Bardenas y las Cinco Villas; Cinca y Segre con sus portillos prepirenaicos (cerrados en Mediano, El Grado u Oliana), Guadalhorce (con el trío que confluye en el Gaitanejo), Júcar y Cabriel (con la huerta valenciana como objetivo final), Guadiana, la subsierra de Madrid...

La lucha entre valles desnivelados se aprovecha según idéntico esquema: los tirantes desiguales (así, el mediterráneo frente al atlántico, en virtud de la disimetría de la divisoria) dan lugar a infinidad de capturas. Actualmente, mayor es la disputa territorial que la de los cauces propiamente dichos.

La regulación en el valle colgado (captado), el salto hidroeléctrico en el tramo de captura, y el regadío subsiguiente es un esquema muy extendido. El Guadalhorce podría ser un caso paradigmático; todas las capturas en conchas intrapirenaicas dan lugar a presas con salto (en uso o no): la Peña, Yesa, Mediano - Grado, Escalles - Canelles, Camarasa, etc. Y regadíos en derivación: Bardenas, La Violada, Monegros, Urgell...

Las modestas cerradas de la subsierra oriental madrileña, refugiadas tras la cinta de calizas cretácicas de Torrelaguna (El Atance, Alcorlo, El Pontón, Beleña, Pedrezuela) atienden los regadíos del Henares. El Ebro captaba la depresión de La Virga, y a su salida se puso la presa de Lorenzo Pardo, cuya relación entre volumen de embalse y de presa es altísima. El mismo colector, arrebatando la cubeta de Trespaderne y Medina de Pomar, se cierra en el estrecho de Sobrón. La presa de Las Rozas de Sil se ubicó justo antes de donde este río captase la cabecera del Luna en Villablino, ejemplo fluvial que está en todos los libros.

Muy propias de estas peculiaridades son las centrales hidroeléctricas subterráneas: a la vista de los esquemas que hemos denominado "canónicos" se entiende que en una presa puesta en la estrecha bocana (8) de un subsiguiente cañón fluvial puedan confluir en la angostura tanto los desagües ordinarios como los de las turbinas, y, en ocasiones, las grandes crecidas evacuadas por el aliviadero de superficie. Poco espacio queda en tales casos para implantar la central a pie de presa.

Se han ideado por ello variados dispositivos, como el de dotar a la fábrica de una especie de abdomen a su pie, que embute la central. Pionera fue el Gaitanejo -en

Vista de la presa de Salime, en el asturiano río Navia. Foto MMA.



Panorámica aérea de la presa de Mediano, sobre el Cinca. En la sucesión calcárea que tan bien se aprecia a vista de pájaro se hubo de buscar la ubicación de la central, en las profundidades del macizo del estribo izquierdo, en unas calizas con alveolinas muy sanas. Aguas abajo -no se llega a ver- el río se encaja en las umbrías del estrecho de Entremont. Por arriba, por el contrario, el valle se abre en las margas azules eocenas, donde se ubicaba el anegado pueblo que da nombre al embalse. Foto MMA.

pequeña escala, ideada por don Rafael Benjumea-. A mayor escala tenemos la de Salime, proyectada y construida por don Enrique Beceril.

La solución más socorrida es alojar la central en caverna, excavada en uno de los macizos de estribo. Una vez en funcionamiento no se percibe la magnitud de la obra, pues la división horizontal en pisos -de turbinas, alternadores, etc.- impide apreciar los volúmenes de tan catedralicias excavaciones.

La entidad de estas aperturas subterráneas ha dado lugar a sustanciales intervenciones geológicas, algunas francamente complejas. En Aldeadávila (la más potente productora de energía de la Europa Occidental), un potentísimo filón descompuesto obligó a reubicar la posición de la central. Igualmente complicado resultaría años más tarde prolongar la caverna para duplicar el salto, excavando sin parada de máquinas.

También en el anteproyecto de la central subterránea de Belesar, pues una falla -que cortaba dos veces el granítico cimienta merced a la gran curvatura de la bóveda- iba a dar en el hueco previsto para la central. Parecido problema tuvimos en la caverna de Puente Bibey, derivada de la presa del Bao.

Un caso curioso de encaje (casi de bolillos) fue el de la usina en caverna de Mediano. Al recrecer la presa se construyó la central, y en el estrecho subsiguiente del Entremont las capas competentes son tan exiguas que se hubo de hacer una maqueta especial, para meter el vaciado "con calzador". ♦

(8) Respecto a las vicisitudes de detalle de este tipo de obras véase el mencionado libro del C.N.E.G.P. de 1976.

#### Referencias:

- (1) Sáenz Ridruejo, C. et al. "Ámbito geológico de la presa" en "Grandes Presas. Experiencias españolas en su proyecto y construcción". Comité Español de Grandes Presas, 1976.
- (2) Sáenz García, C. "Las formaciones geológicas de España en relación al aprovechamiento de sus ríos". Anexo nº 10 al Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Madrid, 1933.
- (3) Sáenz Ridruejo, C. e Higes Rolando, V. "Avance para un mapa de espesores de acarreo en los cauces fluviales españoles". Asoc. Portuguesa para el Progreso de las Ciencias. XXIX Congreso Luso Español. T II, págs. 17 y ss.
- (4) Sáenz García, C. "Peculiaridades morfológicas de los ríos españoles". 1959.