

# LOS SEDIMENTOS DE LOS EMBALSES ESPAÑÓLES

**Rafael Cobo**

Laboratorio de Hidráulica  
Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)  
Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3, 28005 Madrid  
rafael.cobo@cedex.es

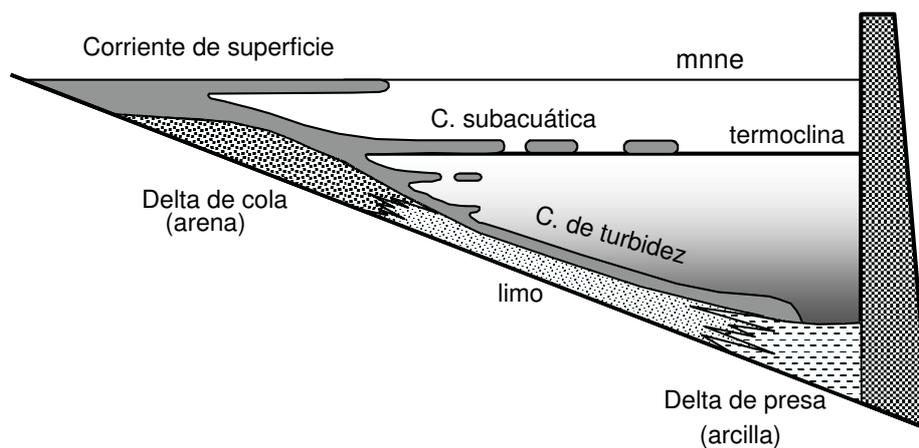
**Resumen:** En el presente trabajo se realiza un estudio general de las principales características de los sedimentos depositados en los embalses: entrada y distribución de los materiales en el vaso, composición y tipología de los mismos, etc. Se analiza a continuación la pérdida de capacidad de cada una de las cuencas hidrográficas en España a partir de los estudios realizados en embalses de las mismas y se extrapola la posible pérdida de capacidad a lo largo de los primeros cincuenta años del presente siglo a partir de dichos estudios. Se repasan, a continuación, las diversas metodologías que se pueden aplicar para evitar o atenuar la pérdida de capacidad de los embalses por acumulación de sedimentos y se finaliza dando criterios para la gestión de los sedimentos en embalses.

## INTRODUCCIÓN

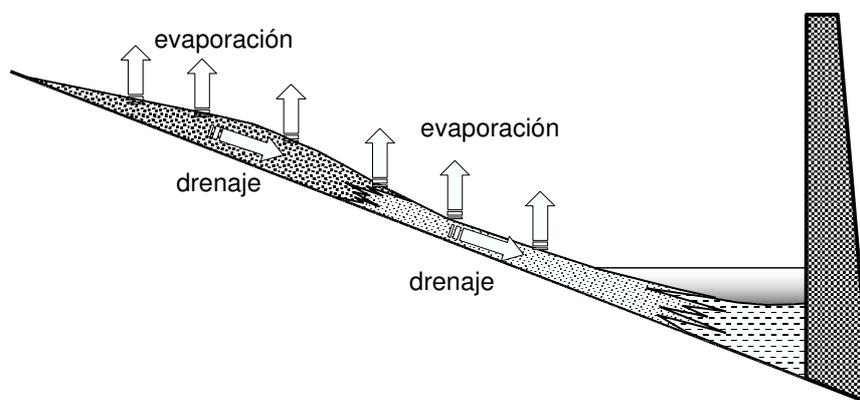
Cuando un curso de agua entra en contacto con el agua embalsada se produce una disminución brusca de su velocidad, se frena, perdiendo en gran medida su capacidad para seguir transportando sedimentos. Como consecuencia de esto, los materiales más gruesos del conjunto de sólidos transportados, se depositan casi inmediatamente, formándose un depósito denominado "delta de cola". En las inmediaciones de la presa el agua queda prácticamente inmóvil, permitiendo la decantación de los materiales más finos, formándose en ocasiones un "delta de presa". Los sólidos de granulometría intermedia se distribuyen por el vaso del embalse según las corrientes existentes en el mismo. Dichas corrientes se deben a varios factores, entre los que se puede citar el efecto Coriolis que genera en las zonas más profundas una corriente circular, ciclónica y ascendente que distribuye los materiales en la zona central del embalse. Otros factores que influyen en la distribución de los sedimentos son la geometría del vaso, la presencia de corrientes de convección y la existencia de aportes laterales (Figura 1). La estratificación térmica de un embalse influye también en la entrada de la carga sólida, produciéndose corrientes de turbidez que tienden a moverse cerca de la superficie cuando tienen una temperatura elevada con respecto al agua del embalse o a moverse en profundidad

si son más frías. Asimismo la termoclina puede actuar como superficie de deslizamiento de corrientes de densidad que pueden avanzar por flotación sobre la misma (Borland 1958 y 1971).

Las fluctuaciones del agua en el embalse tienen, asimismo, una influencia muy significativa sobre los sedimentos depositados. Cuando la lámina de agua desciende por debajo de su MNNE (Máximo Nivel Normal de Embalse), pueden quedar sedimentos al descubierto (sobre todo en la zona de cola); en estas circunstancias, tanto el drenaje interno como la evaporación hacen que pierdan agua rápidamente, consolidándose y aumentando su densidad en poco tiempo. Si las aportaciones de agua desaparecen o se ven reducidas al mínimo, como suele suceder en los meses de verano, el agua del embalse se va reduciendo progresivamente, a la vez que aumenta la superficie de sedimentos en contacto con la atmósfera. Al reanudarse los aportes, éstos pueden encontrarse, en un principio, con unos sedimentos en la zona de cola muy consolidados y, por tanto, difícilmente erosionables que pueden actuar incluso como barrera momentánea, reteniendo parte de los sedimentos que llegan. Si por el contrario, los aportes de agua (y sedimento) no se interrumpen, al descender el nivel del embalse el delta de cola se puede erosionar parcialmente y los materiales del mismo son arrastrados hacia el interior del vaso. Si las fluctuaciones del



**Figura 1.** Entrada y distribución de los sedimentos en el vaso de un embalse.  
mnne: máximo nivel normal de embalse



**Figura 2.** Efecto sobre los sedimentos de las variaciones de la lámina de agua

embalse son lo suficientemente rápidas pueden, incluso, impedir la formación del delta de cola. Por último se debe destacar que si un sedimento se mantiene en contacto con la atmósfera un tiempo suficientemente prolongado, no recupera su densidad inicial aunque vuelva a quedar sumergido (Figura 2).

### COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS

Se entiende por composición de un sedimento, el conjunto de sustancias químicas (orgánicas o inorgánicas) que lo constituyen, expresada en términos químicos o mineralógicos. La composición mineralógica de un sedimento aporta información sobre los diferentes ambientes de constitución y de sedimentación por los que ha pasado. La combinación de los datos de los análisis químicos y mineralógicos de un sedimento reflejan la historia del mismo y los parámetros físicos, químicos, físico-químicos, biológicos, etc.;

de los diversos procesos que han dado lugar a su formación.

### Componentes mayoritarios

Tres son los componentes que de forma general constituyen la mayoría del sedimento: el residuo insoluble, que puede ser asimilado al contenido en materiales detríticos no solubles; el carbonato cálcico equivalente y la materia volátil que se asimila al contenido de materia orgánica. La clasificación del sedimento en relación a estos tres componentes se realiza en un diagrama ternario, atendiendo a su mayor o menor capacidad de reacción con el medio. Así la mayor parte del diagrama lo ocupan zonas de existencia de materia orgánica, después le siguen las correspondientes a sedimentos carbonatados y por último las correspondientes a los detríticos no solubles pues son prácticamente inertes con independencia del contenido de la muestra.

---

## TIPOLOGÍA DE LOS SEDIMENTOS

---

Los sedimentos se pueden clasificar en diferentes tipos y subtipos atendiendo a su origen, y composición.

*Por su origen pueden ser:*

**Alógenos.** Son sedimentos cuyos componentes proceden de un lugar distinto al de depósito. En el caso de los sedimentos de un embalse podemos definirlos como aquéllos cuyos componentes se originan fuera del vaso.

**Endógenos.** Son los sedimentos originados en la propia masa de agua del embalse. Generalmente llegan al embalse como dispersiones coloidales o soluciones iónicas. Si en el vaso del embalse se encuentran con condiciones hidrogeoquímicas distintas, flocculan o precipitan.

**Autógenos.** Son generados mediante reacciones producidas en el interior del sedimento una vez depositado, y controlados por factores hidroquímicos y físico - químicos.

*Por su composición pueden ser:*

**Terrígenos.** Son los restos de la roca-origen que han resistido los procesos de alteración y transporte, llegando al área de sedimentación como minerales o como fragmentos de roca. Los minerales más frecuentes son el cuarzo, los feldspatos, las micas, los minerales de arcilla y los minerales pesados.

**Químicos.** Son aquellos componentes que se generan por precipitación de soluciones iónicas. Esta precipitación puede ser de carácter primario cuando se forma a partir de sales o iones disueltos al cambiar las condiciones de estabilidad, produciendo precipitación o floculación de una manera directa. Cuando las soluciones son diluidas pero existen minerales en el sedimento de naturaleza química parecida, éstos pueden actuar como centro de nucleación produciéndose un recrecimiento por precipitación. Por último puede ocurrir que la solución reaccione con algún mineral del sedimento, sustituyendo éste por un precipitado.

**Bioquímicos.** Están constituidos por depósitos formados por la actividad fisiológica de organismos que pueden dar lugar a la aparición de minerales.

**Orgánicos.** Están constituidos por las partes minerales de organismos y materia orgánica. La materia orgánica se compone principalmente de glúcidos, lípidos, prótidos y ácidos nucleicos que son fácilmente destruibles por oxidación y acción bacteriana; aunque en condiciones adecuadas pueden preservarse, en parte, y, más o menos transformados, incorporarse al sedimento. Las partes minerales de los organismos suelen estar formadas por glúcidos polisacáridos (glucógeno, celulosa, quitina) o por componentes minerales como sílice, carbonato y fosfato cálcico, etc. Estas partes duras se pueden incorporar al sedimento intactas o fragmentadas siendo, en condiciones especiales, casi el único constituyente de los depósitos.

---

## PÉRDIDA DE CAPACIDAD POR ATERRAMIENTO

---

Según el Inventario de Presas Españolas de 1991 la superficie total de los embalses ocupaba unos 2.800 km<sup>2</sup> y el volumen de embalses era de 54,6 km<sup>3</sup> (1 % del total mundial). Este valor corresponde a más del 50 % de la aportación anual en España. En la actualidad en España hay, según datos publicados en el Libro Blanco del Agua en España (2000), 1.133 presas en servicio que conforman 1.040 embalses con un volumen total de 56 km<sup>3</sup>. El 98 % de la capacidad total se concentra en los 300 embalses existentes con capacidad superior a 10 hm<sup>3</sup>. Hasta el momento se ha evaluado la pérdida de capacidad por sedimentación de 121 embalses cuyas cuencas aportadoras suman 220.200 km<sup>2</sup> lo que supone aproximadamente el 45 % del área total del país (505.956 km<sup>2</sup>). Estos datos son una actualización de los presentados por Avendaño *et al.* (1997) y Avendaño (2002). El volumen de sedimentos se obtiene por diferencia entre el volumen inicial del embalse y el volumen en el momento actual. El volumen actual se calcula combinando trabajos de fotogrametría y de batimetría que permiten obtener un plano de curvas de nivel del vaso del embalse y a partir del mismo, la cubicación. En algunos casos el volumen actual es mayor que el inicial. Eso sucede por la imprecisión en la estimación inicial del volumen, sobre todo en embalses antiguos. Por este motivo en las tablas que aparecen a continuación sólo figuran 109 embalses. Los embalses cuyos datos se presentan suponen 17 km<sup>3</sup> de capacidad sobre un total de los 56 km<sup>3</sup> actualmente existentes. Estos embalses se encuentran repartidos en las diferentes cuencas hidrográficas según Tabla 1.

	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento (hm <sup>3</sup> )	años	% Pérdida	% Pérdida anual
<b>C.H. Norte</b>					
Alfilorios	9,400	0,994	4	10,6	2,64
Ibai-Eder	11,310	0,484	7	4,3	0,61
Peñarubia	12,000	3,788	33	31,6	0,96
Rioseco	4,270	0,285	16	6,7	0,42
<b>C.H. Duero</b>					
Agueda	22	6,582	49	29,9	0,61
Burgomillodo	15	2,603	36	17,4	0,48
Linares del Arroyo	58	2,954	29	5,1	0,18
San José	6	0,443	58	7,4	0,13
Santa Teresa	496	13,387	29	2,7	0,09
<b>C.H. Tajo</b>					
Buendía	1520	0,000	26	0,0	0,00
Cazalegas	11	4,052	41	36,8	0,90
El Burguillo	208,609	10,936	60	5,2	0,09
El Pardo	45	2,008	28	4,5	0,16
El Torcón	4,4	0,531	20	12,1	0,60
El Vado	57	0,691	7	1,2	0,17
Entrepeñas	891	5,611	23	0,6	0,03
Gabriel y Galán	924	12,840	291,4	0,05	
Guajaraz	25	5,391	11	21,6	1,96
Navalcán	34	0,057	19	0,2	0,01
Navamuño	13,8	0,166	16	1,2	0,08
Pálmaces	32	0,629	30	2,0	0,07
Riosequillo	48,5	14,024	14	28,9	2,07
Rivera de Gata	48,9	2,420	9	4,9	0,55
San Juan	162	24,258	37	15,0	0,40
<b>C.H. Guadiana</b>					
Cancho del Fresno	15	0,75	12	5,0	0,42
Cijara	1670	138,111	27	8,3	0,31
Peña del Aguila	8,2	0,05	93	0,6	0,01
Torre de Abraham	60	3,15	14	5,3	0,38
Valuengo	20	2,131	26	10,7	0,41
Villar del Rey	133	2,69	14	2,0	0,14
Zújar	309,02	7,122	5	2,3	0,46
<b>C.H. Guadalquivir</b>					
Bembazar	347	4,899	31	1,4	0,05
Bermejales	104	1,395	20	1,3	0,07
Bornos	215	14,815	29	6,9	0,24
Cala	59	3,603	57	6,1	0,11
Cubillas	21	2,299	34	10,9	0,32
Doña Aldonza	23	22,439	22	97,6	4,43
El Tranco de Beas	500	3,675	45	0,7	0,02
Gergal	36	1,305	6	3,6	0,60
Guadalcacín	77	11,972	52	15,5	0,30
Guadalén	173	5,042	44	2,9	0,07
Guadalmena	347	1,07	20	0,3	0,02
Iznájar	101	14,908	42	14,8	0,35
La Bolera	56	2,828	12	5,1	0,42
La Breña	116	15,869	56	13,7	0,24
La Minilla	60	3,64	28	6,1	0,22
Pedro Marín	19	17,893	23	94,2	4,09
Puente Nuevo	286,704	4,97	22	1,7	0,08
Torre del Aguila	70	5,643	45	8,1	0,18

**Tabla 1.** Pérdida de capacidad por entrada de sedimentos en las diferentes cuencas hidrográficas

	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento (hm <sup>3</sup> )	años	% Pérdida	% Pérdida anual
<b>C.H. Sur</b>					
Benínar	70	11,159	18	15,9	0,89
Béznar	54,584	2,45	15	4,5	0,30
Conde de Guadalhorce	77,612	11,051	70	14,2	0,20
Cuevas de Almanzora	169	7,692	10	4,6	0,46
Guadalhorce	134,4	3,97	19	3,0	0,16
La Viñuela	170	1,799	8	1,1	0,13
Limonero	170	4,641	15	2,7	0,18
Renegado	1,8	0,154	18	8,6	0,48
<b>C.H. Segura</b>					
Alfonso XIII	42,8	20,792	79	48,6	0,61
Anchuricas (Miller)	8	1,759	22	22,0	1,00
Argos	11,722	1,666	21	14,2	0,68
Cenajo	472	6,403	32	1,4	0,04
La Cierva	7,5	2,429	58	32,4	0,56
La Fuensanta	235	25,273	58	10,8	0,19
La Pedrera	235	27,901	68	11,9	0,17
Puentes	250	5,26	21	2,1	0,10
Santomera	31,56	18,726	101	59,3	0,59
Talave	10	0,91	8	9,1	1,14
Valdeinferno	25	13,851	98	55,4	0,57
<b>C.H. Júcar</b>					
Alcora	2	0,075	18	3,8	0,21
Amadorio	16,55	0,723	31	4,4	0,14
Arenós	137,73	0,793	15	0,6	0,04
Arquillo de San Blas	22	0,965	28	4,4	0,16
Benageber	228	6,663	37	2,9	0,08
Beniarrés	30,835	3,831	20	12,4	0,62
Buseo	8	0,807	68	10,1	0,15
Contreras	872	19,595	19	2,2	0,12
Embarcaderos	9	7,539	31	83,8	2,70
Forata	39	1,664	31	4,3	0,14
Guadalest	16	3,008	24	18,8	0,78
La Toba	11	2,174	45	19,8	0,44
María Cristina	20	1,553	81	7,8	0,10
Regajo	7	0,326	20	4,7	0,23
Sichar	52	2,729	16	5,2	0,33
<b>C.H. Ebro</b>					
Alloz	84	17,58	67	20,9	0,31
Arguis	3	0,76	42	25,3	0,60
Barasona	71	24,76	61	34,9	0,57
Cueva Foradada	28,7	6,62	66	23,1	0,35
Gallipué	4	0,84	52	21,0	0,40
La Estanca de Alcañiz	14	7,13	27	51,0	1,89
La Tranquera	84,38	0,12	34	0,1	0,00
Las Torcas	9	3,20	33	35,5	1,08
Mediano	438	12,15	37	2,8	0,07
Mequinenza	1.530	92,82	16	6,1	0,38
Moneva	8	0,63	70	7,9	0,11
Oliana	101	14,91	42	14,8	0,35
Pena	21,5	3,62	59	16,8	0,29
Ribaroja	219	12,22	13	5,6	0,43
Santa María de Belsué	13	1,74	49	13,4	0,27
Santolea	48,853	1,85	61	3,8	0,06
Sotonera	189	7,29	23	3,9	0,17
Talarn-Tremp	258	69,59	74	27,0	0,36
Valdabra	3	1,65	15	55,1	3,68
Yesa	471	20,78	26	4,4	0,17

Tabla 1. Continuación.

	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento (hm <sup>3</sup> )	años	% Pérdida	% Pérdida anual
<b>C.I. Cataluña</b>					
Foix	5,640	1,912	72	33,9	0,47
La Baells	115,000	5,570	25	4,8	0,19
Riudecañas	3,242	0,182	63	5,6	0,09
San Pons	25,000	2,591	11	10,4	0,94
Sau	177,000	11,740	38	6,6	0,17
Siurana	12,430	0,213	29	1,7	0,06

Tabla 1. Continuación.

### Situación en 2003

Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento en 2003 (hm <sup>3</sup> )	Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento en 2003 (hm <sup>3</sup> )
1 Norte			6 Med. Andaluza	1.319	74,20
2 Duero	7.667	496,09	7 Segura	1.223	124,97
3 Tajo	11.135	430,88	8 Júcar	3.349	188,32
4 Guadiana	9.619	1.228,40	9 Ebro	7.702	917,50
5 Guadalquivir	8.867	796,65	10 C.I. Cataluña	772	77,90

Sobre un total de 51.653 hm<sup>3</sup> se habían perdido 4.335 hm<sup>3</sup>

Tabla 2. Situación en 2003

### Situación en 2025

Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento en 2025 (hm <sup>3</sup> )	Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento en 2025 (hm <sup>3</sup> )
1 Norte			6 Med. Andaluza	1.319	139,13
2 Duero	7.667	700,26	7 Segura	1.223	148,54
3 Tajo	11.135	637,88	8 Júcar	3.349	293,69
4 Guadiana	9.619	1.878,68	9 Ebro	7.702	1.330,75
5 Guadalquivir	8.867	1.137,35	10 C.I. Cataluña	772	118,16

Sobre un total de 51.653 hm<sup>3</sup> se habrán perdido 6.384 hm<sup>3</sup>

Tabla 3. Situación en 2025

Como queda de manifiesto, la mayoría de los embalses (98) tiene una pérdida de capacidad anual inferior al 1%, 4 embalses tienen una pérdida de capacidad comprendida entre 1-2%, 2 embalses entre 2-3%, 1 embalse entre 3-4% y 5 embalses entre 4-5%. Desde el punto de vista de la pérdida de capacidad absoluta vemos que 64 embalses han perdido menos del 10% de su capacidad, 36 embalses han perdido entre 10-50% y 10 embalses han perdido entre 50-100%.

#### Estimación de la pérdida de capacidad en el siglo XXI

A partir de los datos conocidos, en cada uno de los embalses estudiados se puede realizar una

extrapolación a lo largo del presente siglo, para estimar la pérdida de capacidad que van a tener las diferentes cuencas hidrográficas. Esto supone que los aportes de sedimentos se van a mantener a lo largo de este periodo, que los embalses estudiados son representativos de la cuenca y que el régimen de explotación de los embalses no va a variar significativamente. La posible disminución de aportes hídricos, y como consecuencia, el menor aporte de sedimentos, como consecuencia del cambio climático, puede verse compensada por la mayor intensidad de los procesos.

En este trabajo no se han tenido en cuenta los embalses de la C.H. del Norte porque el número estudiado no tienen la suficiente representatividad.

### Situación en 2050

	Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento en 2050 (hm <sup>3</sup> )		Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm <sup>3</sup> )	Aterramiento en 2050 (hm <sup>3</sup> )
1	Norte			6	Med. Andaluza	1.319	216,44
2	Duero	7.667	943,33	7	Segura	1.223	194,77
3	Tajo	11.135	884,30	8	Júcar	3.349	419,14
4	Guadiana	9.619	2.652,82	9	Ebro	7.702	1.822,72
5	Guadalquivir	8.867	1.542,96	10	C.I. Cataluña	772	166,89

Sobre un total de 51.653 hm<sup>3</sup> se habrán perdido 8.843 hm<sup>3</sup>

**Tabla 4.** Situación en 2050

### GESTIÓN DE SEDIMENTOS

La gestión de sedimentos en un embalse ICOLD (1999), se puede dividir en dos grandes apartados: medidas preventivas y actuaciones. Las medidas preventivas tienen por objeto disminuir la aportación de sedimentos al embalse y/o impedir que se depositen en el mismo. Las actuaciones tienen como objetivo eliminar el sedimento una vez que se ha depositado.

Las medidas preventivas, a su vez, pueden efectuarse en la cuenca del embalse o en el propio embalse. En la cuenca del embalse se pueden realizar actuaciones tales como la restitución de la cubierta vegetal, corrección de torrentes, estabilización y conservación de suelos, construcción de presas de retención etc. En el embalse se pueden efectuar tres tipos de acciones: a nivel de proyecto se puede prever un "embalse muerto" que será ocupado por los sedimentos, o se pueden proyectar canales o túneles de desvío de las aguas de crecida cargadas de sedimento. Otro tipo de actuaciones son las hidráulicas que consisten fundamentalmente en realizar vaciados parciales o totales del agua del embalse a través de los desagües de fondo para arrastrar sedimento y evacuarlo fuera del vaso. O aprovechar las corrientes de densidad que se puedan producir para canalizarlas hacia los desagües de la presa. Por último se pueden efectuar acciones *mecánicas* tales como excavaciones *mecánicas*, o dragados bien sea por succión o por bombeo.

### Dos ejemplos de vaciado de embalses

En España el vaciado de embalses para eliminar sedimentos es una práctica antigua que ha tenido gran importancia sobre todo en la zona mediterránea (embalses de Puentes, Almansa, Tibi, Elche, Valdeinfierno, etc.). El procedimiento seguido en los siglos XVIII y XIX consistía en abrir las compuertas de fondo el tiempo suficiente para que comenzara a salir el sedimento removido por el agua.

Vamos a comentar dos casos: el vaciado del embalse de Joaquín Costa (Barasona) y el del embalse de María Cristina.

El embalse de Barasona se encuentra situado en el río Esera, en la cuenca del Ebro y entró en funcionamiento en 1932; su presa es de gravedad de 65 metros de altura y 80 metros de anchura en coronación. Desde su puesta en carga hasta 1993, se depositaron en el vaso unos 25 hm<sup>3</sup>. La altura del sedimento sobre el fondo del embalse junto a la presa era de 24 m. Los desagües de fondo se encuentran en dos túneles laterales. El río Esera, aguas debajo de la presa discurre por un estrecho congosto de 6 km de longitud hasta su desembocadura en el río Cinca.

El embalse de María Cristina se encuentra en el cauce de la Rambla de la Viuda, en la C.H. del Júcar. Tiene una presa de gravedad de 59 metros de altura y 318 m de longitud de coronación que comenzó a funcionar en 1920. Su capacidad inicial era de 20 hm<sup>3</sup> y en 2000 se habían depositado en su vaso 1,55 hm<sup>3</sup> de sedimentos con un espesor junto a la presa de 18 m. La Rambla de la Viuda discurre a través de un valle poco escarpado.

El vaciado de María Cristina se produjo por la rotura del sellado de la toma de un antiguo canal de riego. La toma tenía 1m<sup>2</sup> de sección y, ante la imposibilidad de volverlo a sellar mientras estuviera saliendo el agua, se dejó que el embalse se vaciara lentamente a lo largo de varios días (Figura 3).

Cuando el embalse se vació completamente, se pudo comprobar que no se había movilizado prácticamente nada de sedimento. Esto se debió a que, afortunadamente, el caudal evacuado era muy pequeño y no tenía capacidad de arrastre suficiente como para removilizar el sedimento. La afección al medio ambiente aguas abajo de la presa fue prácticamente nula. Esta experiencia puso de manifiesto que para remover el sedimento hay que generar caudales significativamente elevados y, como consecuencia de esto,



**Figura 3.** Foto izquierda: detalle de la fuga de agua en el paramento de aguas debajo de la presa. Foto derecha: estado del embalse después de su vaciado total

que se puede evacuar agua a través de los desagües de fondo sin arrastrar sedimento siempre que se regule el flujo de salida por debajo de un caudal crítico de arrastre.

El vaciado del embalse de Joaquín Costa (Barasona) comenzó un 12 de octubre de 1995 a las 3 h. y terminó a las 20 h. Es decir, duró unas 17 horas. Durante este tiempo la concentración de sólidos en suspensión fue inferior a 1 g/l. Inmediatamente después de que terminara de salir el agua embalsada, y antes de que el río Esera estableciera un cauce, el sedimento acumulado junto a los desagües de fondo, comenzó a deslizarse a través de los mismos. En el punto de control, inmediatamente aguas abajo de la presa, se midió un pico de concentración de 600 g/l. A continuación el río Esera comenzó a establecer un cauce, erosionando los sedimentos del embalse y arrastrándolos a través de los desagües de fondo. En el mismo punto de control se midieron valores de concentración de entre 80 y 100 g/l. para unos caudales de salida de entre 140 m<sup>3</sup>/s y 180 m<sup>3</sup>/s. En las inmediaciones de la presa el sedimento fue totalmente removido y arrastrado en una cantidad que se estimó en unos 4 hm<sup>3</sup> (Figuras 4 y 5).

En este caso el gran caudal de agua y la rapidez con que se produjo la salida del mismo fue capaz de movilizar una cantidad significativa de sedimento, aunque hay que destacar que sólo se movilizó cuando el embalse se encontraba prácticamente vacío como puede apreciarse en el gráfico adjunto. En los dos siguientes años se realizaron otros dos vaciados. Se estima en 9 hm<sup>3</sup> el volumen de sedimentos extraído en los tres vaciados.

### Actuaciones mecánicas en embalses

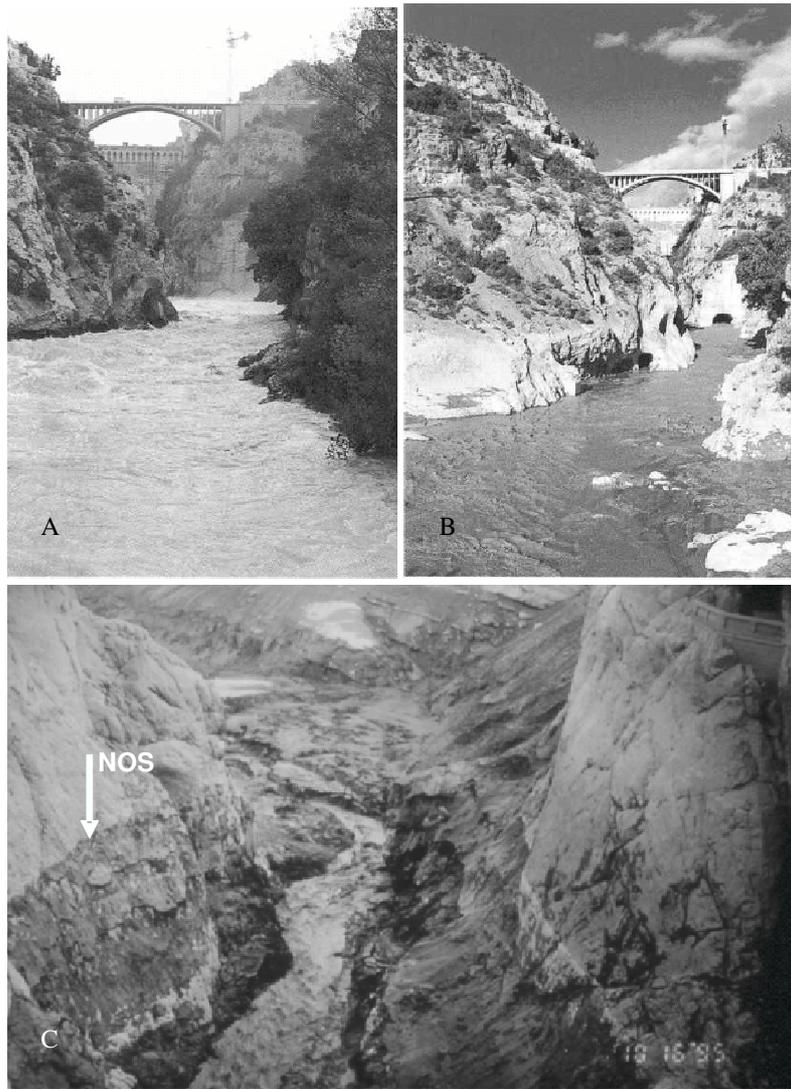
Consideraremos en primer lugar actuaciones que se realizan con el embalse vacío. En estas condiciones se emplean los métodos usuales para el movimiento de tierras, es decir, empleando, por ejemplo, una pala oruga con cuchara de 1,5 m<sup>3</sup> (rendimiento de unos 90 m<sup>3</sup>/h) y camiones. Se debe considerar la distancia de transporte del material extraído, pues como norma general, una distancia superior a 2,5 km puede encarecer excesivamente el trabajo. También debe señalarse que este método se ve la mayoría de las veces restringido a la zona de cola de los embalses donde se encuentra el material más arenoso debido a que hacia el interior el material tarda mucho tiempo en adquirir la consistencia necesaria para permitir el paso de vehículos pesados.

A embalse lleno o parcialmente lleno, se deben emplear dragas, bien sean de succión o con bomba sumergida, bien mediante carga de agua. En cualquier caso este método suele ser caro, sobre todo por los bajos rendimientos que se obtienen.

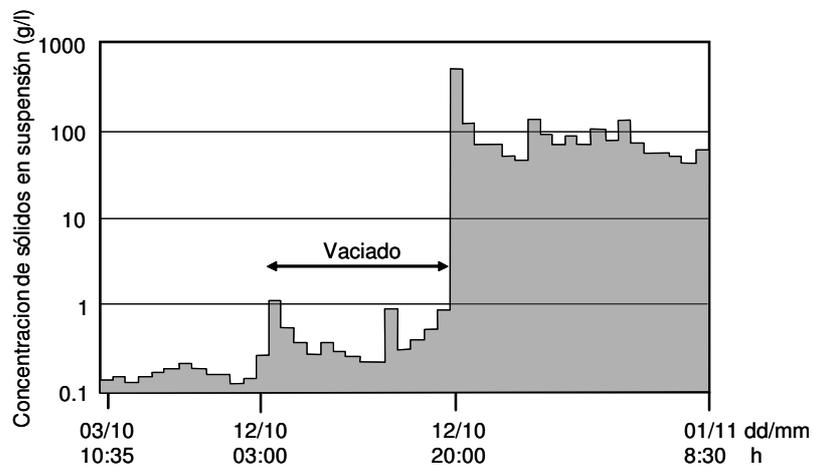
### Dragado por succión

Se realiza desde una embarcación o pontona equipada con una pluma en cuyo extremo se monta una cabeza cortadora para disgregar el sedimento y facilitar su mezcla con el agua. A continuación una bomba de succión impulsa la mezcla agua-sedimento hasta el exterior, donde se retira mediante barcas de transporte o mediante una tubería.

El rendimiento suele estar en torno a 6-8 m<sup>3</sup> de agua por cada m<sup>3</sup> de sedimento movilizado.



**Figura 4.** A: momento de salida del máximo caudal de agua durante el vaciado. B: momento de salida de los sedimentos. C: estado del vaso aguas arriba de la presa después del vaciado. NOS: nivel original de los sedimentos (24 m aprox.)



**Figura 5.** Gráfico de concentración de sedimento durante el vaciado del embalse Joaquín Costa. Los datos corresponden a sólidos en suspensión

### Dragado con bomba sumergida

Este sistema ofrece sobre el anterior una mayor facilidad para el transporte del equipo y la posibilidad de mantener un caudal de salida uniforme. También permite operar a mayor profundidad donde las dragas por succión no pueden operar.

### Dragado mediante carga de agua

Es similar al dragado por succión pues, igual que en aquel, el sedimento se disgrega mediante una cabeza cortadora o una fresa. Se diferencia en que la mezcla agua-sedimento se extrae mediante una conducción o tubo flexible, sostenida a la profundidad requerida mediante flotadores, en el que se aprovecha la carga de agua del propio embalse para impulsar dicha mezcla fuera del embalse.

La limitación del método se encuentra en la velocidad de impulsión necesaria para evitar la sedimentación del sedimento dentro de la conducción. Dicha velocidad no debe ser inferior a 4 m/s.

---

### CRITERIOS DE ACTUACIÓN

---

No se pueden dar "recetas" de actuación de forma rígida, pues la toma de decisión, en cuanto a que medida o medidas adoptar para la mejor gestión de los sedimentos, depende de múltiples factores, variables tanto en el espacio como en el tiempo, que deben ser valorados de forma individual y en sus respectivas interacciones. No obstante, sí se pueden apuntar pautas de actuación que, de manera general, tienen que contemplarse en todos los casos.

- Si la cuenca del embalse está muy degradada, es necesario, con independencia de otras actuaciones, proceder a su restauración, realizando, si fuera necesario, obras complementarias (azudes de corrección y/o de retención, por ejemplo) para la defensa del embalse.
- Si la cuenca está poco o nada degradada y, por tanto, bien protegida frente a la erosión, las actuaciones deberán concentrarse en el propio embalse.
- Si decidimos actuar en el embalse vacío se deberá ponderar muy detalladamente el tiempo de que se dispone hasta que se vuelva a embalsar.

- Si la actuación es a embalse lleno, además de los costos y el rendimiento del dragado, sea cual sea el método elegido, se debe considerar la relación entre la aportación anual de agua y la demanda. Esta relación nos permitirá conocer el volumen de agua de que disponemos para extraer sedimentos.
- La distribución de las aportaciones a lo largo del año hidráulico es de suma importancia a la hora de elegir y plantear un cronograma de trabajo, sobre todo en cuencas degradadas, con aportaciones escasas e irregulares, típicas de las cuencas semiáridas.

---

### CONCLUSIONES

---

En las próximas décadas la principal fuente de agua potable, los embalses, van a sufrir una pérdida de capacidad más o menos importante en función de la cantidad de sedimentos que lleguen a sus vasos. Aunque a nivel de grandes cuencas hidrográficas la pérdida de capacidad es moderada o incluso baja, en algunos embalses la pérdida de capacidad puede ser de suficiente entidad como para poner en serio peligro la posibilidad de atender a las demandas.

Debido a la casi imposibilidad de construir el suficiente número de presas para compensar las pérdidas estimadas, se hace inevitable la gestión adecuada de los aportes de sedimentos, tanto en las zonas donde se producen como en el propio embalse donde se depositan.

La experiencia en este campo permite poder estimar la metodología y la actuación más adecuada en cada caso, aunque se debe resaltar que muchas actuaciones, sobre todo las que implican extracción de sedimentos, pueden suponer un coste tan enorme, en medios y tiempo, que deben contemplarse como último recurso.

---

### REFERENCIAS

---

- Avendaño, C., Cobo, R., Sanz, E. y Gómez, J.L., (1997). Capacity situation in spanish reservoirs. Nineteenth International Congress on Large Dams, Florence, Italy, Vol. III, pp. 849–862.
- Avendaño, C., (2002). Situación de los embalses españoles. Jornadas SEPREM sobre Sedimentación en embalses, pp. 17–32.
- Borland, D.C., (1958). Distribution of sediment in Large Reservoirs. Journal of the Hydraulic Division ASCE, Vol. 84, N. HY84, Proc. Paper 1587.

Borland, D.C., (1971). Reservoir sedimentation. Cap 9 de River Mechanics, H.W. Shen, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado.

ICOLD: International Commission on Large Dams, (1999). Dealing with reservoir sedimentation. Guidelines and case studies,

Bulletin 115, 102 pp.

Inventario de presas españolas, (1991). Ministerio de Obras Públicas y Transporte (Actualmente Fomento).

Libro Blanco del Agua en España, (2000). Ministerio de Medio Ambiente.