



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

## **SIMSAFADIM-CLASTIC: Modelización 3D de transporte y sedimentación clástica subacuática**

Òscar Gratacós Torrà



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – Compartir Igual 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – Compartir Igual 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0. Spain License.**

## **6.3 Embalse de Camarasa**

El objetivo de este experimento se centra en la modelización parcial de un sistema sedimentario artificial actual y la comprobación de los resultados obtenidos. El hecho de ser un ejemplo muy estudiado por el GRC-Geociencias Marinas de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona (Casamor, 1992; González, 2001; Rasós, 2002) y la Universidad Autónoma de Barcelona (Costa, 2003), hace del embalse de Camarasa, un buen objeto de estudio donde corroborar los resultados extraídos, teniendo en cuenta las limitaciones que posee el programa en la actualidad.

### **6.3.1 Introducción general**

El embalse de Camarasa se encuentra situado al NW de Catalunya (NE de España), al sur de la comarca del Pallars Jussà y, geológicamente, entre dos de los cabalgamientos frontales (Serres Marginals y Montsec) que configuran la zona Surpirinenca central. Se alimenta del río Noguera Pallaresa y se sitúa en el tramo más bajo del mismo, a poca distancia de su confluencia con el río Segre (figura 6.20). Aguas arriba, hacia el Norte, el embalse de Camarasa viene precedido por dos embalses (Sant Antoni y Cellers) que condicionan su comportamiento y funcionamiento.

La cuenca hidrográfica de la Noguera Pallaresa tiene una extensión de 2821 km<sup>2</sup>, de los cuales, 304 km<sup>2</sup> drenan directamente al embalse de Camarasa. El embalse fue construido en 1922 y su periodo de funcionamiento, hasta la actualidad, ha sido de 82 años, explotado como fuente de energía hidráulica. Tiene una morfología alargada e irregular, con una longitud de unos 22 km y 1,3 km de ancho y alcanza una superficie máxima de 6,24 km<sup>2</sup>. La profundidad máxima en el embalse es ligeramente superior a los 60 m, con una profundidad media de las aguas de 23,4 m. La zona más profunda se localiza entre la presa y la parte media del embalse (zona de La Massana), que además coincide con la más ancha. La zona de la cola (región de la Baronía de Sant Oïisme) se encuentra separada de la parte media de La Massana por un segmento estrecho, sinuoso y con fuertes pendientes en sus laderas (figura 6.20). En esta zona de la cola las profundidades son menores (25 m) y el sistema está dominado principalmente por la dinámica fluvial y por los cambios continuos del nivel del agua.

La capacidad inicial del embalse era de 146,048 Hm<sup>3</sup>, aunque ésta se ha visto reducida por la sedimentación del material sólido aportado. Por ello, en el año 2000 (Rasós, 2002), su capacidad se había reducido a 137,9 Hm<sup>3</sup>. Esta disminución supone una reducción anual de la capacidad en un 0,25%.

El régimen de explotación del embalse está regulado prácticamente de forma constante de manera que no depende de la precipitación. Los caudales medios de entrada y salida son, respectivamente, 34,16 m<sup>3</sup>/s y 34,58 m<sup>3</sup>/s.

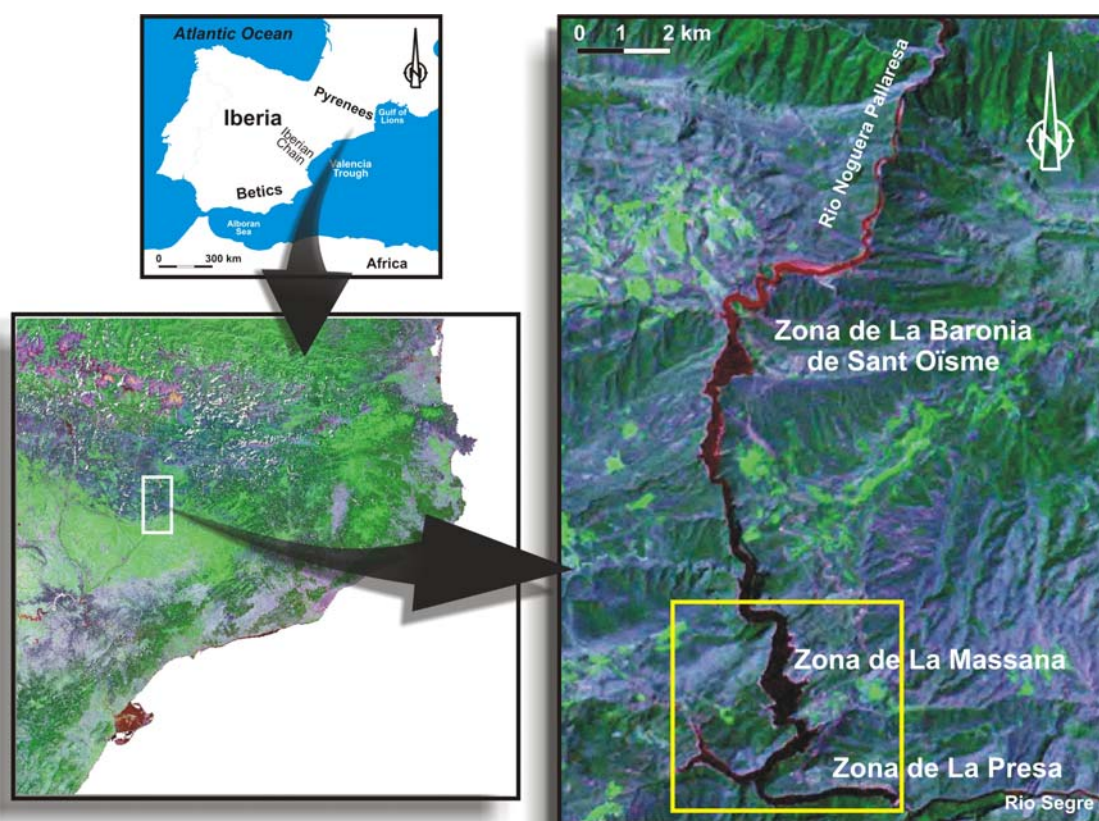


Figura 6.20.- Situación del Embalse de Camarasa. El recuadro amarillo indica la zona de estudio (ver figura 6.21 y 6.23)

*Location of the Camarasa reservoir. The yellow rectangle shows the studied area (see figure 6.21 and 6.23)*

- **Contexto Geológico**

Los materiales geológicos que afloran en la zona del embalse son básicamente mesozoicos (figura 6.21). Al sur del embalse pueden reconocerse materiales triásicos del Keuper que representan el nivel de despegue de la lámina cabalgante de Serres Marginals. Están constituidos principalmente por margas multicolores que alternan con

yesos, calizas y dolomías. Las sucesiones jurásicas de la zona no tienen una potencia homogénea debido a la discordancia situada en la base del Cretácico superior. En la zona de la presa y hacia el oeste, aflora una serie dolomítica del Dogger bien estratificada y oscura y que genera relieves destacados en el paisaje. La base del cretácico superior está constituida por depósitos lateríticos con intercalaciones de arenas y conglomerados. El Cretácico superior (Campaniense) se encuentra representado por una potente serie carbonatada organizada en secuencias de orden decamétrico que es recubierta discordantemente por una sucesión de margas y pelitas del Maastrichtiense. Estos materiales son los que afloran en el sector central del embalse de Camarasa. Los sedimentos oligocenos (arenas y conglomerados) afloran, discordantemente, en el sector medio y bajo del embalse.

La estructura y la litología de los materiales que afloran en la zona, favorecen un aporte de sedimento principalmente axial hacia el embalse y una contribución de los aportes laterales de escasa consideración.

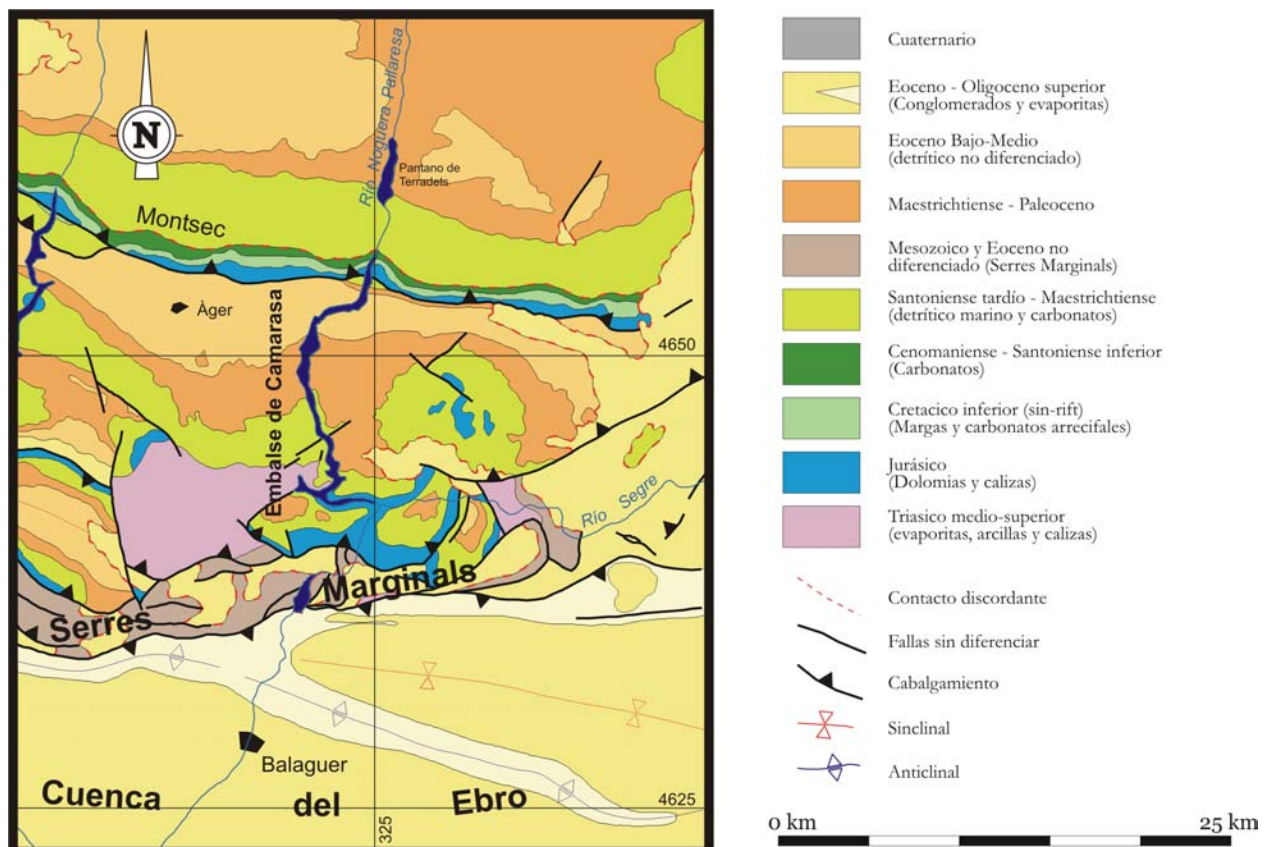


Figura 6.21.- Mapa geológico de la zona del embalse de Camarasa. Modificado de Fernández (2004).

Geological map of the studied area near the Camarasa reservoir. Modified from Fernández (2004)

## • Dinámica del embalse

Debido a la morfología del fondo del embalse (área y desnivel) y a la acción solar, en el embalse de Camarasa se puede distinguir una estratificación térmica de la columna de agua (figura 6.22) en tres capas diferenciadas (superficial, intermedia y profunda), que rigen el transporte y la sedimentación dentro del mismo (Casamor, 1992).

La capa más superficial, con unos 2-5 m de potencia, responde a las variaciones diarias de temperatura y presenta zonas con movimientos convectivos. Esta capa contiene parte del sedimento que entra en el embalse y permite un transporte

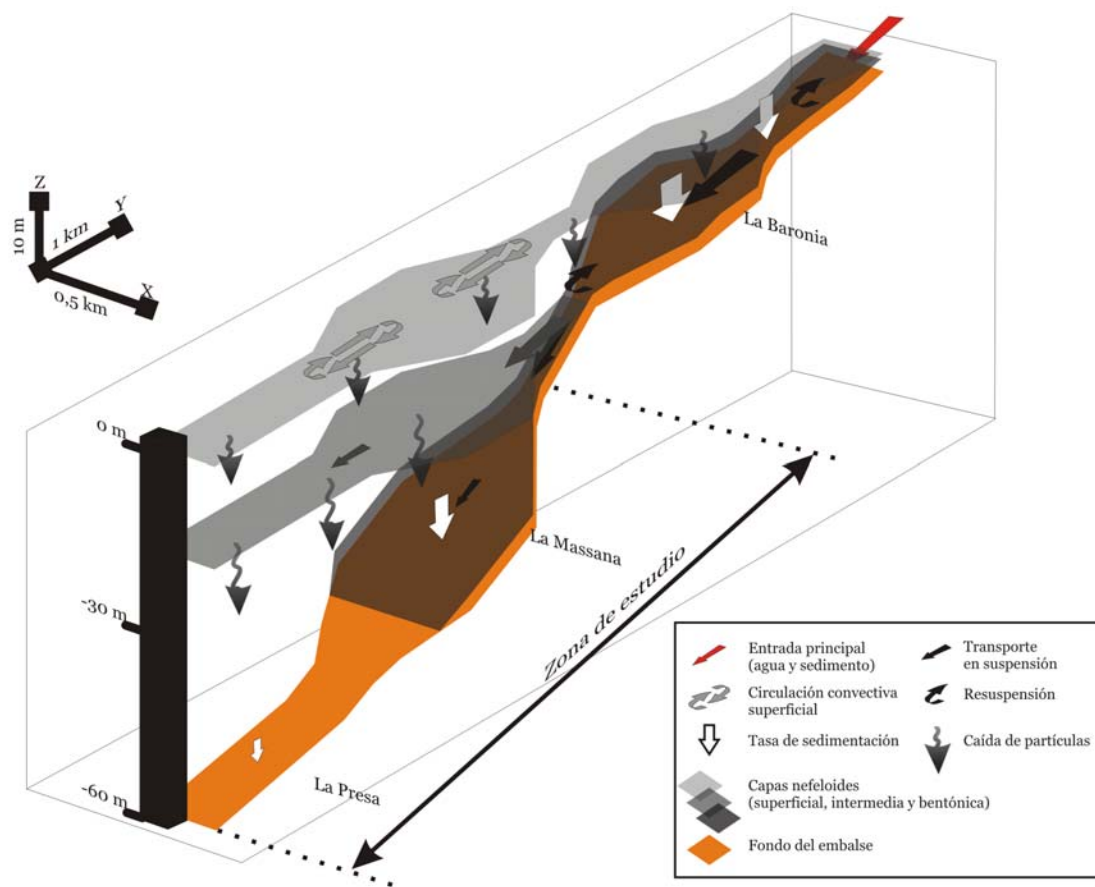


Figura 6.22.- Esquema tridimensional de la estratificación observada en las aguas del embalse de Camarasa (capas nefeloides) que definen el modelo de transporte y sedimentación según Casamor (1992). Se ha representado la superficie del fondo del embalse (superficie naranja) y la anchura media de cada tramo (en dirección X). Nótese el cambio de pendiente cerca de la zona media del embalse y que provoca la división de la capa más profunda y la formación de la capa intermedia. La densidad de la trama indica la mayor o menor concentración del sedimento en suspensión en cada capa. El tamaño de las flechas representa la magnitud del proceso considerado. Se indica la zona que se ha tenido en cuenta en los experimentos presentados. Modificada de Casamor (1992).

*Three-dimensional sketch of the water stratification observed in the Camarasa reservoir. The layers define the transport and sedimentation model according to Casamor (1992). The orange surface is the bottom of the reservoir and the magnitude in X direction denotes the average width for every section. Note the abrupt slope increase near La Massana zone that causes the divergence of the lower layer and the generation of the middle layer. The intensity of the shaded surface shows the sediment concentration. The symbol sizes represent the magnitude of the process considered. The modelled area is indicated. Modified from Casamor (1992).*

superficial hasta zonas alejadas de la zona de entrada, a veces próxima a la presa. Es en esta capa donde se produce una actividad biológica primaria más elevada (Casamor, 1992).

La capa intermedia, con un espesor superior a los 5 metros y en cuya base se sitúa la termoclina principal (a unos 20-25 m de profundidad) transporta un 45% del sedimento en suspensión. Esta capa se observa a partir de la zona media del embalse en dirección a la presa y aparece coincidiendo con un aumento brusco de la profundidad (este cambio de pendiente, junto con la posición de la toma de agua en la presa a unos 20-25 m de profundidad, provocaría la división de la corriente más profunda en dos, generando esta capa intermedia). Esta capa también está influenciada por la estacionalidad anual: se refuerza más en verano y es más tenue en invierno (Casamor, 1992).

La capa más profunda es la que transporta más sedimento en suspensión ya que su principal fuente de sedimento es el aporte directo del propio río y las resuspensiones del sedimento previamente depositado, debido a un aumento del flujo o a una oscilación del nivel del agua. Su espesor es de 4-5 m y está presente desde la zona de entrada hasta, aproximadamente, la zona de La Massana, donde parece diluirse. La concentración en esta capa disminuye gradualmente en dirección a la presa debido a la deposición del sedimento. Esta capa también recibe el sedimento que proviene de las capas superiores que, por decantación, alcanza el fondo (Casamor, 1992).

[↶ Arriba](#)

### **6.3.2 Configuración inicial y parámetros utilizados**

La zona de estudio se ha localizado en la parte terminal del embalse de Camarasa y próxima a la presa, como se puede observar en la figura 6.20 y 6.22, ya que ésta es la zona del embalse que presenta una dinámica de sus aguas más parecida a un sistema lacustre (Rasós, 2002).

La configuración inicial del experimento (figura 6.23) viene definida por la batimetría existente en la zona y por una concentración nula de sedimento en cada punto del embalse. La batimetría se ha obtenido gracias a los datos facilitados por el GRC-Geociencias Marinas de la Facultad de Geología (Universidad de Barcelona).

La discretización espacial de la zona de estudio que configura la malla de elementos finitos contiene 5 filas por 33 columnas, lo que representa un total de 165 nodos, que definen 256 elementos (figura 6.24). La discretización temporal contiene 10 intervalos de tiempo de una duración de 8 años cada uno, que suman un tiempo total de 80 años (próximo a los 82 años que lleva en funcionamiento el embalse).

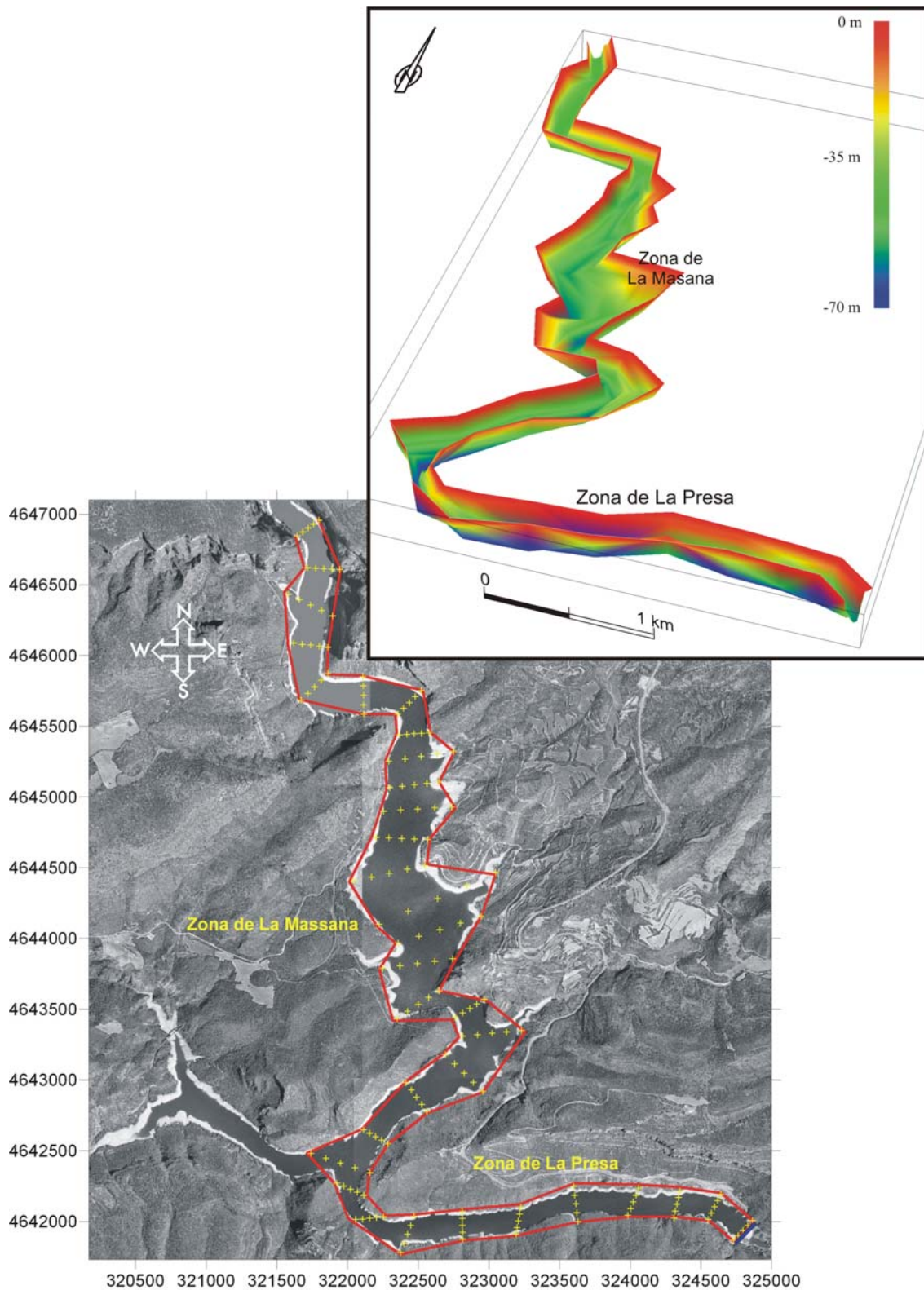


Figura 6.23.- Configuración inicial de la zona de estudio, situada en la parte terminal del embalse (véase recuadro amarillo en la figura 6.20). La línea roja y las cruces amarillas marcan el contorno y la discretización utilizada. En el recuadro superior se puede observar la batimetría inicial del embalse. La escala vertical está exagerada cuatro veces.

Initial configuration of the studied area, located in the lower part of the reservoir (see yellow rectangle in figure 6.20). The red line and the yellow crosses show the contour and the nodes of the finite element mesh. The initial reservoir bathymetry is indicated in the upper image. Vertical exaggeration 4x.

Las condiciones de contorno establecidas para la malla de elementos finitos definen las zonas de entrada y de salida del agua del experimento. Las zonas de entrada se han definido a partir de un flujo de agua entrante (en  $m^3/s$ ) y las zonas de salida por un potencial fijo. Se han introducido tres tipos de sedimento clástico diferentes, el denominado clástico 5 que corresponde al sedimento clástico terrígeno más fino (arcilla), el 7 al medio (limo) y el 8 al más grueso (arena). En proporción, se ha considerado una mayor entrada de sedimento clástico fino ya que la mayor parte del sedimento más grueso queda depositada en la zona de entrada del embalse (no considerada en los experimentos) y, sobre todo, en los embalses precedentes de Sant Antoni y Cellers. Sólo la erosión del sedimento previamente depositado o la contribución desde los barrancos laterales menores puede hacer llegar este sedimento más grueso a la zona terminal del embalse.

### • Principales simplificaciones

La imposibilidad de modelizar la dinámica fluvial con el programa SIMSAFADIM-CLASTIC ha llevado a centrar los experimentos en la parte del embalse donde las variaciones del nivel de agua no afectan tanto la dinámica de transporte y sedimentación dentro del mismo. Por este motivo, también se ha mantenido el nivel del agua estático.

La principal simplificación que contempla el experimento es el cálculo del sistema de flujo en dos dimensiones. Como se ha indicado anteriormente, en realidad existe una estratificación de las aguas que provoca velocidades de flujo muy distintas en función de la profundidad y que, actualmente, no pueden ser diferenciadas. Relacionado con este punto, tampoco es posible modelizar la dinámica producida por la existencia de la presa y la apertura de la misma. Esta apertura (a unos 20-25 m de profundidad) favorece el movimiento de la capa de agua intermedia y provoca que las aguas de la capa más profunda permanezcan quietas o sin grandes movimientos aún estando la compuerta abierta. Por este motivo se han realizado dos experimentos según dos configuraciones diferentes. Un primer experimento contempla el contorno situado en la presa siempre abierto para la salida del agua. El segundo experimento considera el mismo contorno abierto aunque no en todos los intervalos de tiempo **jt** establecidos, sino que se intercalan intervalos de tiempo que consideran situaciones alternativas abiertas-cerradas, hasta cumplir todos los intervalos de tiempo fijados.



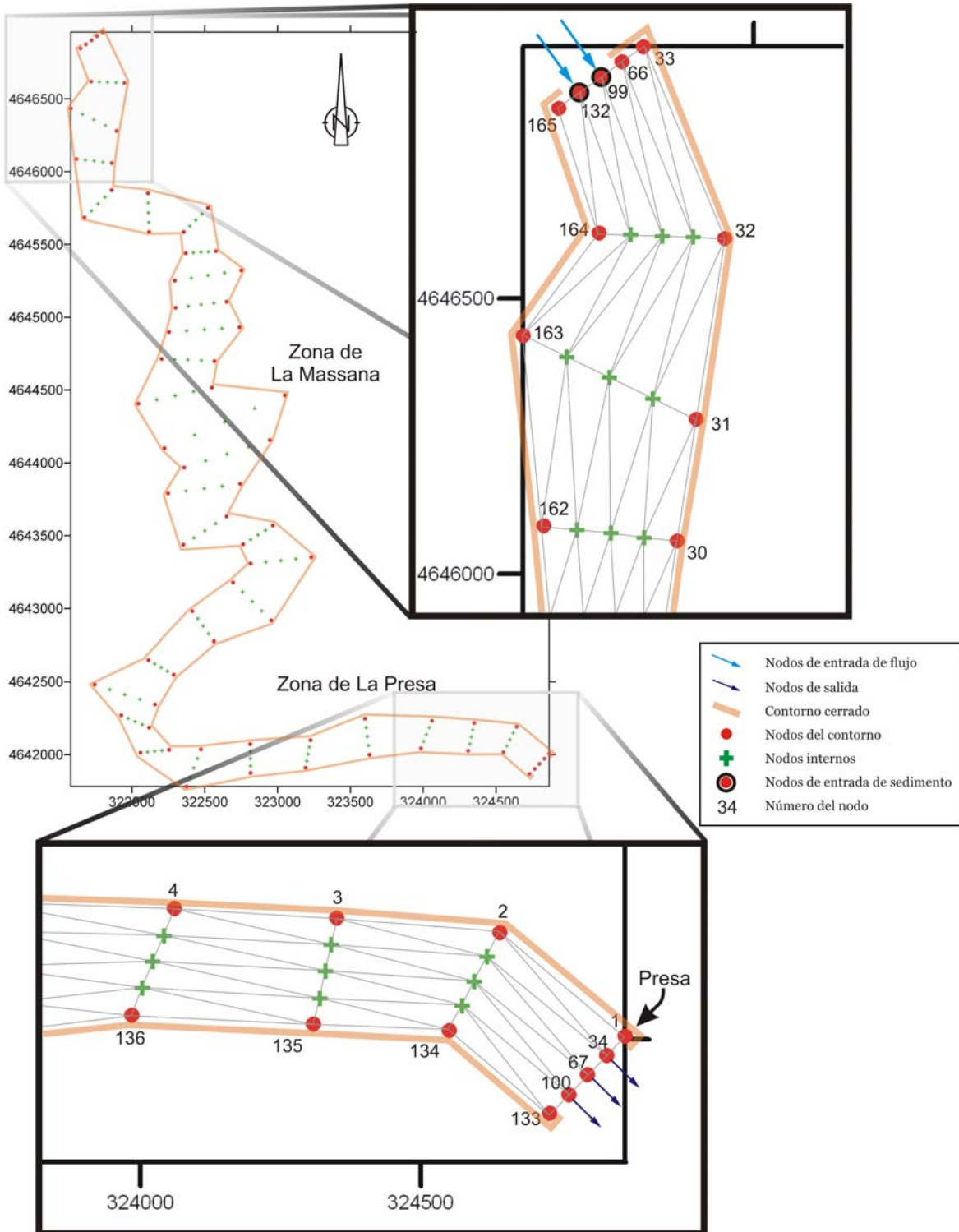


Figura 6.24.- Discretización de la zona de estudio en 5 filas por 33 columnas. En detalle pueden verse las zonas de entrada y de salida (de agua y sedimento) del embalse y los nodos definidos para tal efecto. También se aprecian los contornos definidos sin flujo (cerrados) y los nodos y elementos triangulares de la malla de elementos finitos.

*Spatial discretization of the studied area with 5 rows and 33 columns. In the upper image the blue arrows show the defined flow rate boundary; in the lower image the blue arrows show the fixed potential boundary. Red dots are the boundary nodes, and green crosses denote the internal nodes. Red line corresponds to boundary without flow.*

Los valores introducidos en el experimento para los dos experimentos diferentes realizados se indican en la tabla 6.2. Además, los diferentes ficheros que contienen todos los parámetros de entrada utilizados y los resultados que se han obtenido, pueden consultarse en el CD adjunto.

Tabla 6.2.- Valores introducidos en los dos experimentos y referentes a los parámetros de sedimentación, transporte y contorno de la malla de elementos finitos.

*Parameters introduced in each experiment that define sedimentation, transport and boundary conditions for finite element mesh.*

#### Parámetros comunes a los dos experimentos

	<i>Clástico 5 (fino)</i>	<i>Clástico 7 (medio)</i>	<i>Clástico 8 (grueso)</i>	<i>Nodos definidos</i>
Entrada de sedimento (Tn/s) por nodo	0,0035	0,0006	0,00002	99 y 132
Velocidad de deposición (m/d)	0,085	0,12	0,25	-
Velocidad crítica de deposición (m/d)	35,0	70,0	140,0	-
Dispersividad longitudinal (m)	500	500	500	-
Dispersividad transversal (m)	45	45	45	-
Difusión, coeficientes $G_0$ y $G_1$	1,09 y 0,1	0,87 y 0,1	0,59 y 0,1	-

#### Parámetros específicos para el primer experimento: contorno abierto

		<i>Nodos</i>
Entrada de agua	1 m <sup>3</sup> /s cada nodo	99 y 132
Contorno abierto	(definidos por potencial fijo)	34, 67, 100

#### Parámetros específicos para el segundo experimento: contorno abierto-cerrado

		<i>Intervalos de tiempo</i>	<i>Nodos</i>
Entrada de agua	1 m <sup>3</sup> /s cada nodo	2, 4, 6, 8 y 10	99 y 132
	0,4 m <sup>3</sup> /s cada nodo	1, 3, 5 y 7	99 y 132
Contorno abierto	(definidos por potencial fijo)	2, 4, 6, 8 y 10	34, 67, 100
Contorno cerrado	-	1, 3, 5 y 7	-

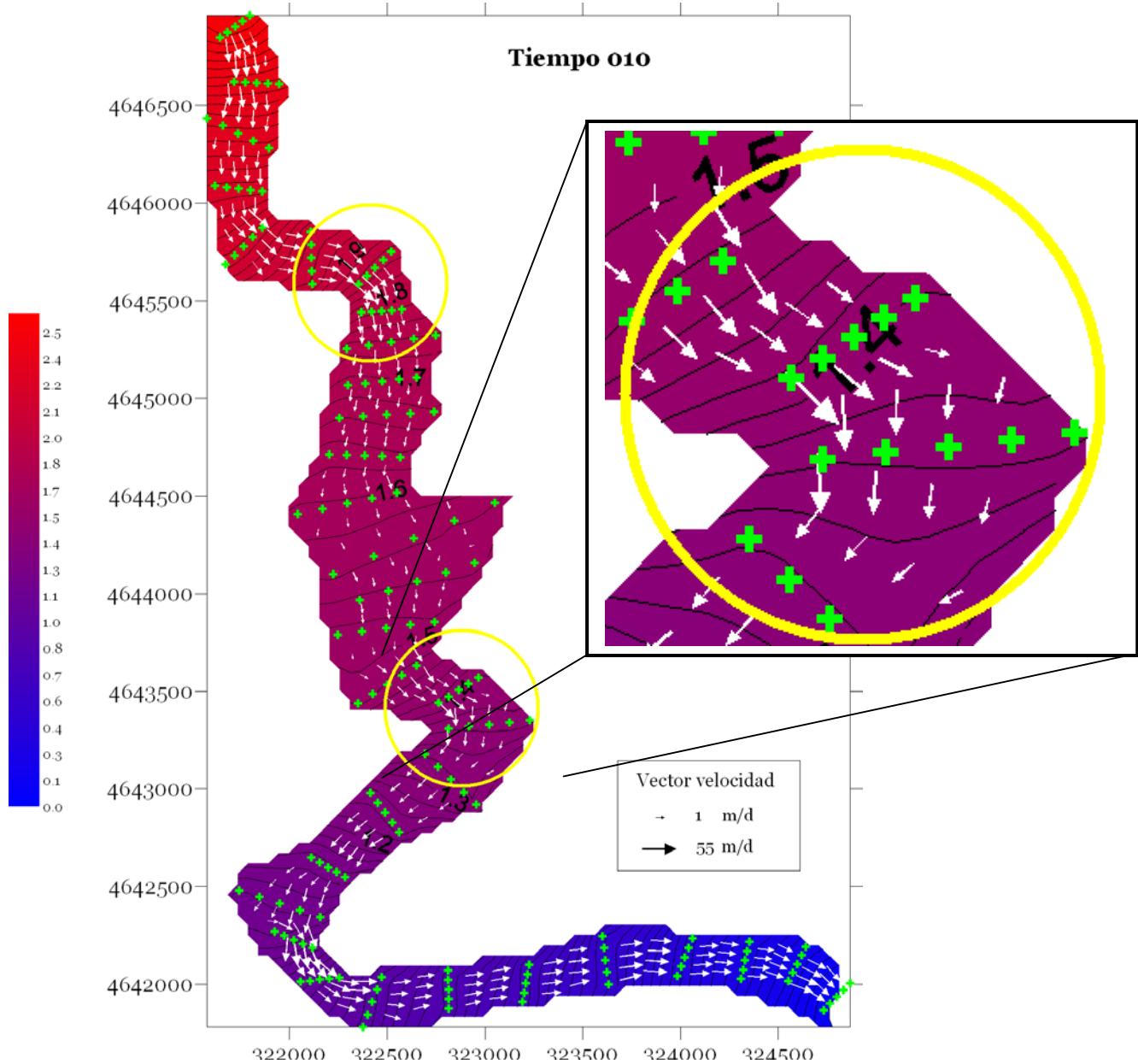
 Arriba

### 6.3.3 Resultados obtenidos

#### • Sistema de flujo

El sistema de flujo obtenido en los dos experimentos (presa abierta o presa alternativamente abierta y cerrada) a partir de la superficie potencial se ha representado en las figuras 6.25 y 6.26 respectivamente. Como se puede apreciar, este sistema de flujo es coherente con dicha superficie aunque, en ciertos puntos, no lo es con la realidad (círculos amarillos en la figura 6.25). Estos puntos o zonas problemáticas son las situadas en las partes del embalse estrechas y en forma de “codo” donde se obtiene una velocidad del flujo menor en la zona exterior del mismo, cuando en realidad tendría que ser al revés. Esto es debido a la configuración de la malla de elementos finitos, ya que en estas zonas genera elementos triangulares más pequeños en la parte interna que en la externa, produciendo un gradiente mayor en la zona interna y, por lo tanto, una velocidad del flujo superior. Para el primer experimento se han calculado velocidades de

flujo máximas de 55 m/d en la zona de entrada del agua, y las velocidades mínimas corresponden a 1 m/d, sobre todo en la zona de La Massana, debido al ensanchamiento que esta zona presenta.



*Figura 6.25.-* Mapa de contornos para el último intervalo de tiempo del primer experimento donde se representa la superficie potencial a partir de la cual se calcula el sistema de flujo (flechas blancas). La escala de color (valores en metros) corresponde a la altura de la superficie potencial. Las cruces verdes marcan los nodos de la malla de elementos finitos. Los círculos amarillos marcan las zonas del embalse donde existen problemas con el sistema de flujo obtenido (véase explicación en el texto).

*Flow velocity (with arrows) and potential surface (colored contour map in meters) on time step 010 (80 years). Green crosses are nodes of the finite element mesh. Yellow circles show the location of the detailed images where discrepancy with the general flow system occur, due to differences in the triangular elements that cause a different slope between the inside and outside zones.*

Si se observan los resultados para el segundo experimento (figura 6.26), se puede ver como el gradiente que existe entre la zona de la cola del embalse y la de la presa es menor si se considera que el sistema no tiene zona de salida (embalse cerrado, intervalo de tiempo 009 en la figura 6.26). En estos casos, se obtienen velocidades de flujo máximas de 22 m/d y velocidades mínimas de 1 m/d.

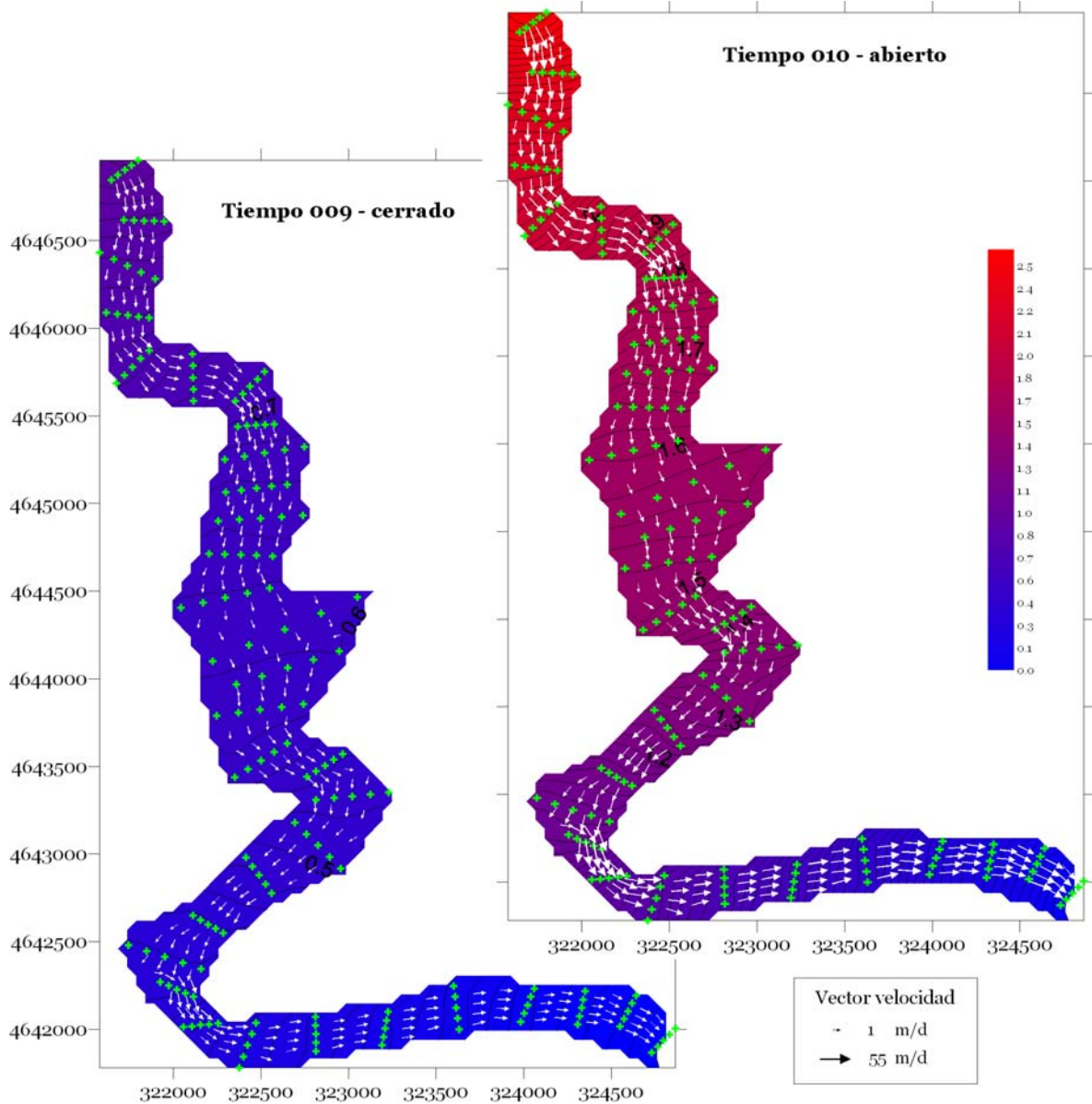


Figura 6.26.- Mapa de contornos para el segundo experimento donde se representa la superficie potencial para el último y penúltimo intervalo de tiempo (abierto y cerrado respectivamente). La escala de color (valores en metros) corresponde a la altura de la superficie potencial. Las cruces verdes marcan los nodos de la malla de elementos finitos. Nótese la diferencia entre las dos superficies obtenidas en función de si el contorno está abierto o cerrado.

*Flow velocity (with arrows) and potential surface (colored contour map in meters) on time step 009 (closed boundary) and 010 (open boundary) for the second experiment. Note the difference between both surfaces due to the opposite closed versus open boundary scenarios in the dam zone (southern part).*

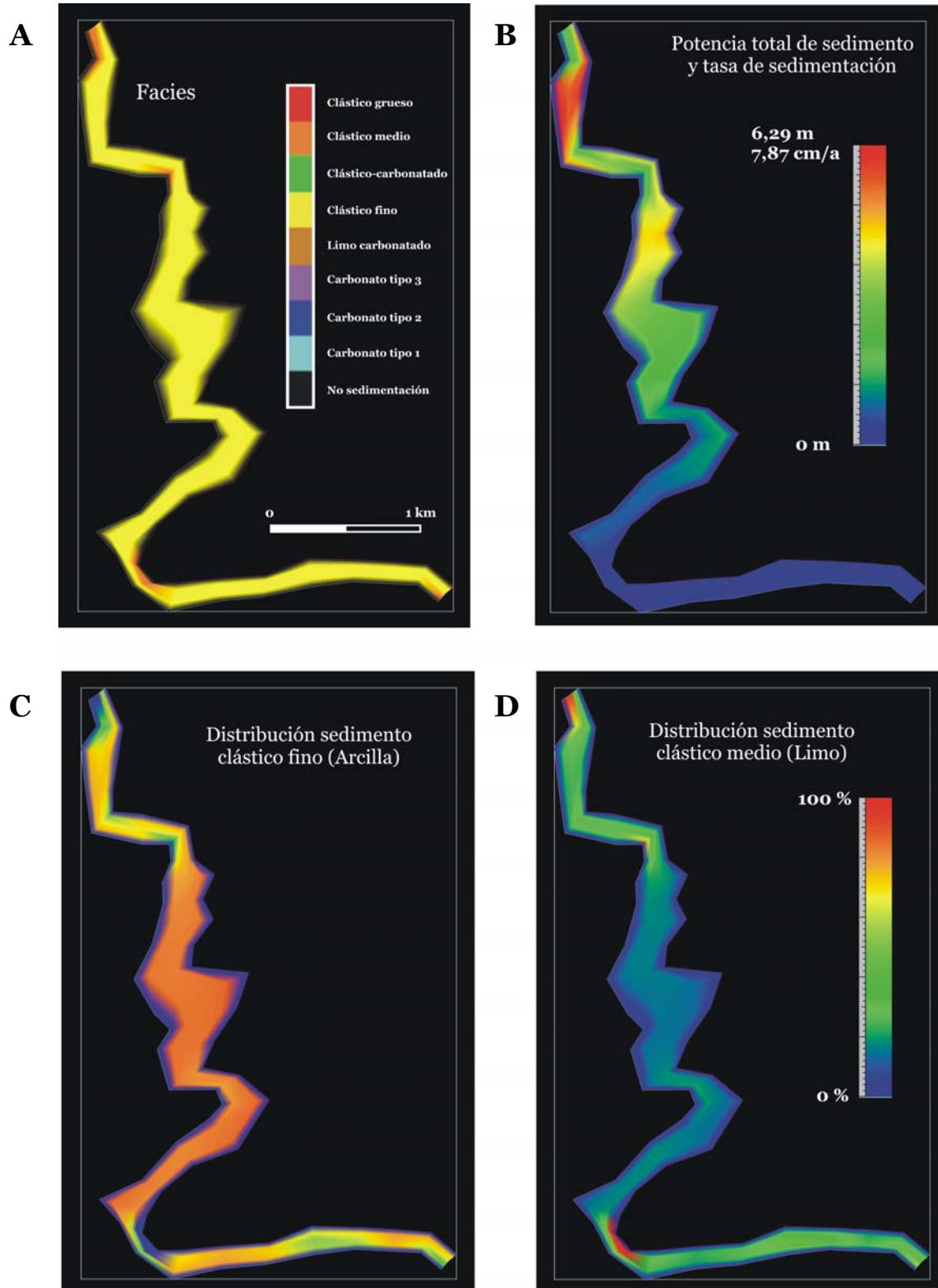
Si se considera que sí existe una zona de salida (embalse abierto, intervalo de tiempo 010 en la figura 6.26), la superficie potencial y las velocidades obtenidas son muy similares a las del primer experimento.

- **Distribución de sedimentos**

Los resultados obtenidos al finalizar el primer experimento (figura 6.27) denotan una distribución de facies coherente con el sistema de flujo calculado y los diferentes tipos de sedimentos clástico-terrestres considerados. De este modo, en el mapa de distribución de facies puede apreciarse como sólo existen dos de los tres tipos de sedimento clástico considerados y que corresponden a las fracciones más finas. El sedimento más fino (correspondiente a la arcilla) es el que tiene una distribución mayor por toda la zona de estudio (con porcentajes superiores al 60% en la mayor parte del embalse), aunque preferentemente se concentra en la zona de La Massana (porcentaje superior al 80%) y en las zonas donde la velocidad del flujo es menor. Para el sedimento intermedio (limo) se puede apreciar una distribución concentrada principalmente en las zonas más estrechas del embalse (porcentajes entre el 30 y 70%) donde la velocidad del flujo es mayor y sólo es posible la deposición del sedimento tipo limo o arena. Este último tipo de sedimento (el de mayor tamaño de grano) no se ha representado por tener un porcentaje muy bajo (inferior al 5%) y concentrado en la zona de entrada.

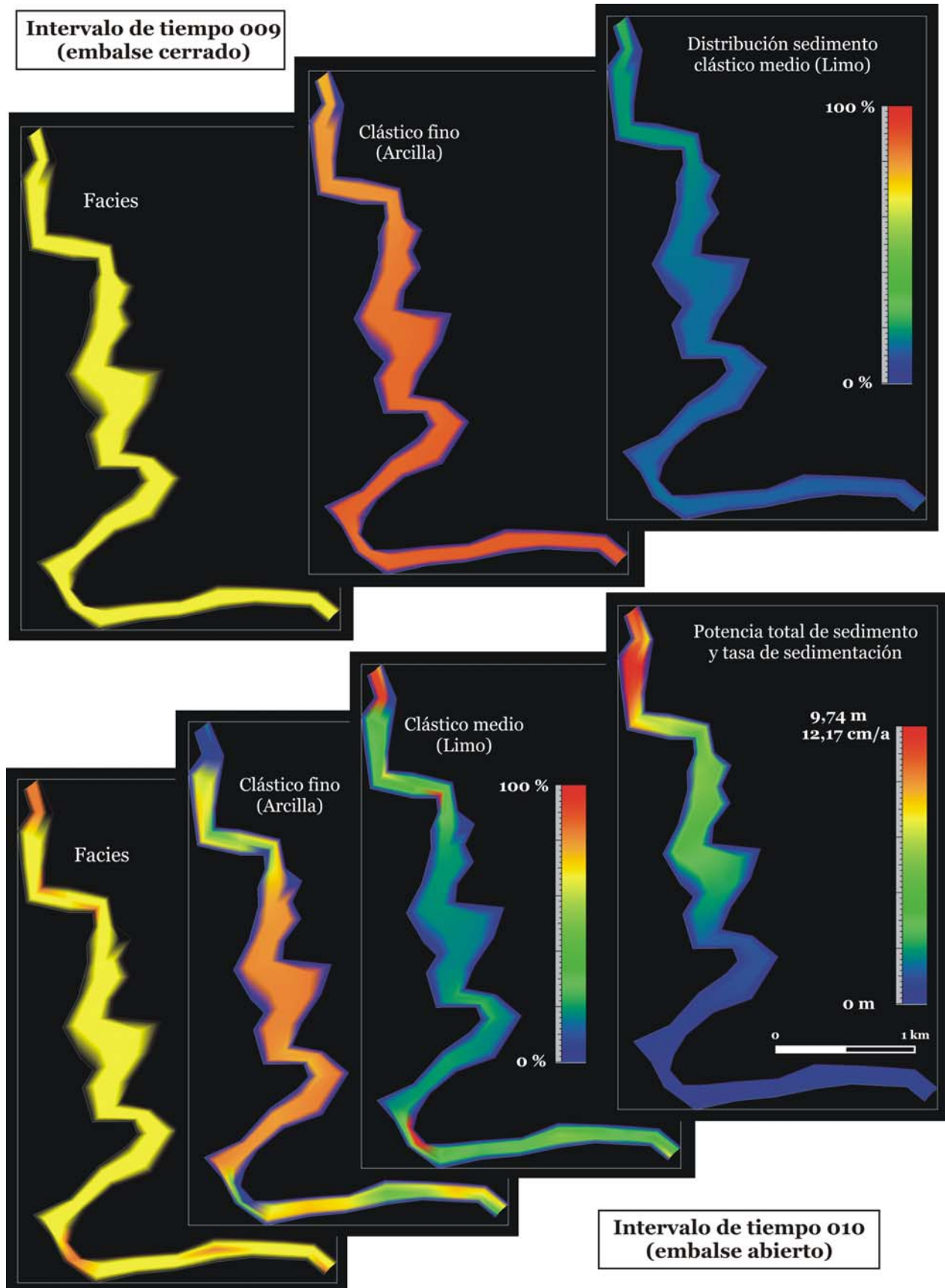
En función de la deposición total observada al cabo de 80 años, puede apreciarse como la mayor parte del sedimento se deposita en la zona más próxima a la zona de entrada (con 6,29 m de potencia máximos) y en la zona de La Massana (entre 2 y 3 m de potencia). En la zona de entrada, el sedimento de relleno corresponde principalmente al sedimento medio, mientras que en la zona de La Massana, existe una bimodalidad entre el sedimento más fino y el medio. La tasa de sedimentación máxima que se obtiene para este experimento corresponde a 7,87 cm/a y se sitúa en la zona de entrada. La tasa de sedimentación media para todo el embalse es de 1,209 cm/a.

Considerando los resultados obtenidos para el segundo experimento (figura 6.28), puede apreciarse alguna diferencia en la distribución de facies en función del intervalo de tiempo y de si en éste se considera un sistema abierto o cerrado. Si se considera que el sistema está abierto (intervalo de tiempo 010), el mapa de facies obtenido es prácticamente igual que el obtenido en el primer experimento. En cambio, si se considera que el sistema está cerrado (intervalo de tiempo 009), sólo existe una facies, la del sedimento más fino, que domina en todo el embalse.



*Figura 6.27.-* Resultados obtenidos para el primer experimento. Se ha representado la distribución de facies al final del experimento (**A**), así como la distribución (en porcentaje) de los dos sedimentos clásticos mayoritarios (**C** y **D**). No se ha representado el sedimento clástico más grueso ya que su porcentaje es muy bajo. También se incluye la deposición total en el embalse y la tasa de sedimentación que representa (**B**).

*Results for the first experiment (open boundary in the dam zone). Distribution facies map on  $t=80$  years (**A**). Distribution of finest and middle siliciclastic sediments in percentage (**C** and **D**). Total deposition and sedimentation rate (**B**).*



Teniendo en cuenta la distribución de cada tipo de sedimento, se aprecia que, si el sistema está cerrado, el sedimento se distribuye de manera más homogénea por todo el embalse y predomina el sedimento más fino (con un porcentaje entre el 80 y 90% en todo el embalse). El sedimento intermedio en este intervalo de tiempo se sitúa entre el 10 y el 20% en todo el embalse, adquiriendo los valores mayores cerca de la zona de entrada. Igual que en el primer experimento, no se ha visualizado el sedimento más grueso ya que representa un porcentaje inferior al 5%.

Si se considera un sistema abierto (intervalo de tiempo 010), la distribución de los dos sedimentos mayoritarios sigue el mismo patrón descrito en el primer experimento para la arcilla y el limo.

La deposición máxima obtenida para el segundo experimento es superior a la del primero, con 9,74 m de sedimento depositado en la zona de entrada y unos 3-3,5 m en la zona de La Massana. La tasa de deposición máxima es de 12 cm/a, y la tasa media calculada para todo el embalse se sitúa a 2,1 cm/a.

Teniendo presente que en los dos experimentos entra el mismo volumen de sedimento dentro del embalse, se puede ver como en el segundo experimento existe más sedimento depositado al final del experimento (figura 6.29) ya que es el que ha perdido menos volumen de sedimento por el contorno abierto situado en la presa.

---

*Figura 6.28.-* (página anterior) Resultados obtenidos para el segundo experimento y para los intervalos de tiempo 009 (arriba) y 010 (abajo) correspondientes a una situación de embalse cerrado y abierto respectivamente. Se ha representado la distribución de facies, así como la distribución (en porcentaje) de los dos sedimentos clásticos mayoritarios para los dos intervalos de tiempo. Igual que en la figura anterior, no se ha representado el sedimento clástico más grueso. También se incluye la deposición total en el embalse y la tasa de sedimentación que representa. La escala de color correspondiente a las facies puede verse en la figura 6.27.

---

*(previous page) Results for the second experiment: open boundary situation at time step 009 (upper part) and closed boundary situation at time step 010 (lower part). The facies distribution map, the percentage of the siliciclastic sediments, the total deposition and the sedimentation rate for each time step are shown. See the legend for facies distribution maps on colour scale and the percentage scale for distribution of each sediment type.*



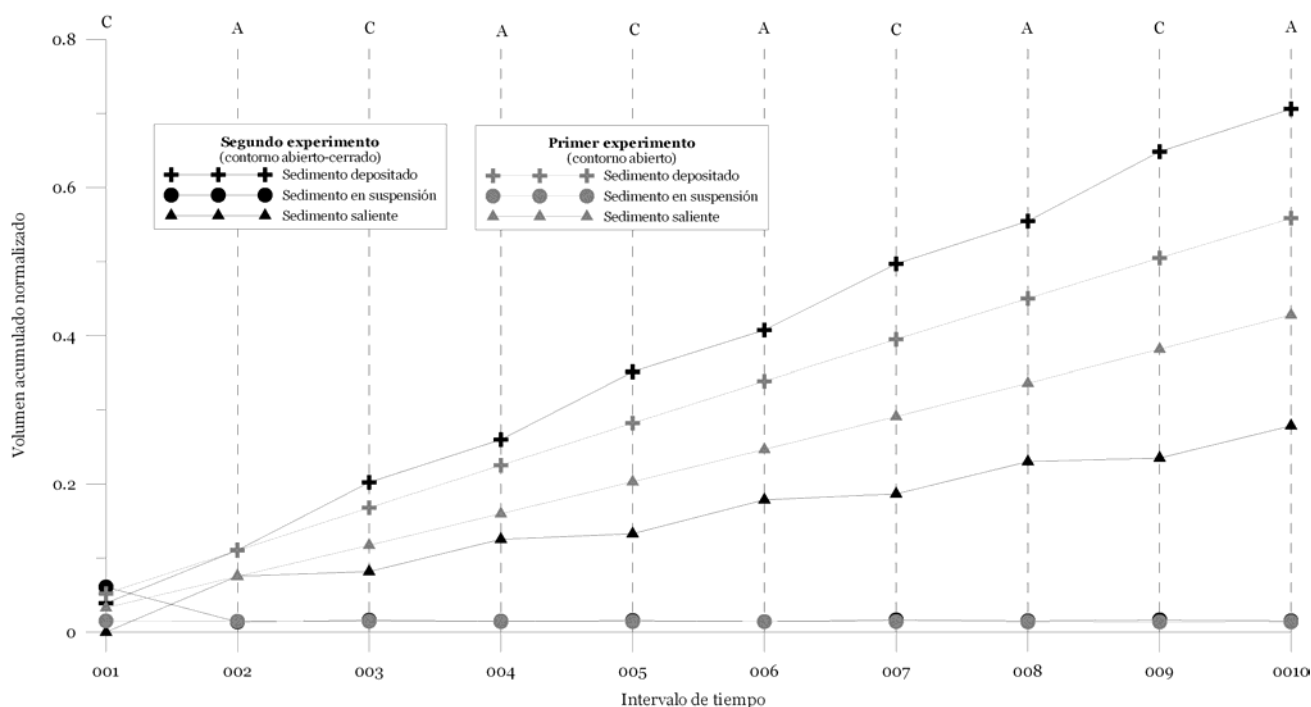


Figura 6.29.- Representación del volumen de sedimento acumulado (normalizado) que ha quedado depositado, en suspensión y que ha salido de la zona en cada intervalo de tiempo. **A** indica un intervalo de tiempo abierto y **C**, cerrado (sólo para el segundo experimento). Nótese como, en el segundo experimento, los intervalos de tiempo considerando un contorno abierto contienen un volumen de sedimento depositado menor que en los intervalos cerrados y un volumen de sedimento mayor que ha salido, mientras que en el primer experimento la tendencia es lineal sin existir diferencias entre los diferentes intervalos de tiempo.

*Total accumulated volume of sediment (normalized values for the deposited, in suspension and outflowing sediment) for each time step and for the two experiments (first experiment in grey and second in black). A. Open boundary time step. C. Closed boundary time step (only for second experiment). Note that the volume of deposited sediments in A is lower than in C. The outflowing volume is higher for A. Volume increases linearly for the first experiment.*

Arriba

### 6.3.4 Discusión de los resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos en los experimentos presentados marcan diferencias generales con los valores reales (Casamor, 1992; González, 2001; Rasós, 2002; Costa, 2003) aunque, en ciertas zonas, no se alejan mucho de la realidad. La principal limitación que contiene el modelo generado es el cálculo del sistema de flujo como un proceso bidimensional. Este hecho condiciona el transporte que se puede realizar dentro

del embalse por las dos capas de agua más superficiales y que permiten la llegada del sedimento cerca de la presa sin que éste se deposite en zonas anteriores. Aún así, la distribución obtenida en los dos experimentos es muy parecida a la distribución que se obtiene en la realidad mediante el transporte producido sólo por la capa más profunda e importante. Es decir, en función de la capa de agua que domina en el transporte y sedimentación del sedimento en cada segmento del embalse, el resultado es más o menos parecido a la realidad.

La capa de agua más profunda está muy condicionada por el aporte sólido directo del río y por la propia morfología del nivel del fondo que provoca una pérdida importante de la carga en suspensión en la zona de La Massana debido al ensanchamiento del embalse que provoca una drástica disminución de la velocidad del flujo. Este comportamiento queda bien representado en los resultados obtenidos por el modelo donde el sedimento que entra queda depositado, como máximo, en la zona de La Massana sin que pueda llegar a la zona de la presa. La tasa de sedimentación (figura 6.30) para la zona de La Massana según Costa (2003) se sitúa a  $1,46 \pm 0,07$  cm/a, un

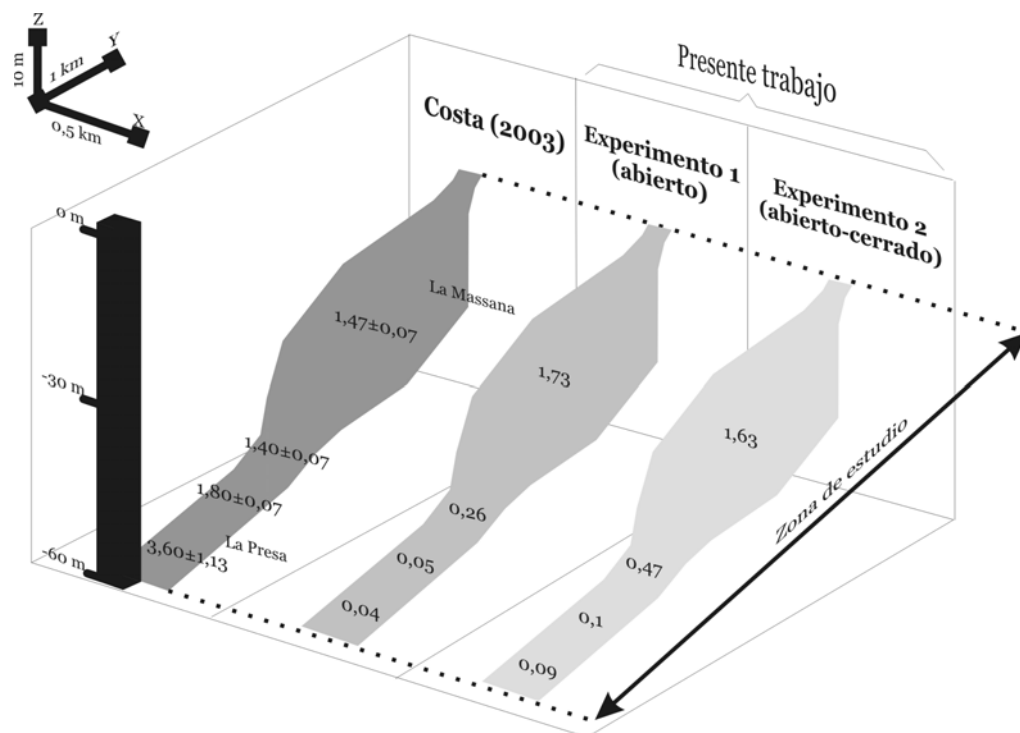


Figura 6.30.- Tasas de sedimentación (en cm/a) obtenidas en los dos experimentos realizados considerando la presa siempre abierta (exp. 1) o abierta-cerrada alternativamente (exp. 2). También se incluyen los valores según Costa (2003) para su comparación.

*Sedimentation rate (cm/y) for each experiment in comparison with values obtained by Costa (2003). Note that only in the La Massana zone the value is similar to experimental data. This is due to consider the fluid flow as a 2D system and to not include water depths changes. This fact prevents to model properly the observed stratified water column.*

valor parecido a los valores medios obtenidos en los presentes experimentos para dicha zona (1,73 cm/a según el primer experimento y 1,63 cm/a según el segundo). Esta zona es la que presenta una mayor similitud con los valores de Costa (2003) debido, principalmente, a un transporte en el modelo calculado que se asimila al transporte producido por la capa más profunda.

Aunque las tasas de sedimentación más elevadas se obtienen en la zona de entrada, éstas no han podido ser comparadas con valores reales ya que, al ser valores muy elevados, en el trabajo anterior de Costa (2003) no pudo ser aplicada ninguna técnica para su cálculo. Los otros valores calculados y que sí pueden ser comparados, son muy inferiores a los reales, aunque se aprecia un aumento en el segundo experimento que se explica por una distribución más homogénea por todo el embalse del sedimento en suspensión durante los intervalos de tiempo que la presa se mantiene cerrada (figura 6.28, intervalo de tiempo 009).

Estos valores tan bajos obtenidos en la zona de la presa se debe a la consideración de un sistema hidrodinámico no estratificado. Cabe decir también que ésta es la zona del embalse donde existe una mayor producción biológica primaria que aporta un volumen representativo de sedimento al depósito, hecho que no puede ser modelizado mediante el programa SIMSAFADIM-CLASTIC. Otro proceso a tener en cuenta y que puede hacer aumentar la tasa de sedimentación en ciertas zonas del embalse es la sedimentación por corrientes de turbidez (Costa, 2003) que no han sido incluidas en el modelo.

Una solución para poder modelizar un sistema estratificado como el aquí estudiado pasa por realizar los cálculos de transporte y sedimentación mediante dos o tres submodelos (según las capas que quieran modelizarse) superpuestos en la vertical. El volumen de sedimento depositado en cada punto para cada submodelo sería el volumen de entrada de sedimento en el mismo punto para el submodelo inmediatamente inferior, y así hasta el último y más próximo al fondo del embalse.

Comparando los resultados entre el primer y segundo experimento, se extrae la conclusión de que, cuando la presa está cerrada, la distribución de sedimento es más homogénea y la diferencia entre la velocidad del flujo en la zona de entrada y en la presa es menor (al igual que la velocidad máxima), provocando una deposición más elevada y próxima a la zona de entrada y que disminuye gradualmente hacia la presa. Cuando la presa está abierta, existe una mayor diversidad de ambientes hidrodinámicos en función del tramo del embalse y se produce una mayor diversidad en los depósitos resultantes. En estos casos, la deposición también es mayor en la zona de entrada, pero no disminuye gradualmente hacia la zona de la presa.

Para finalizar, destacar que, según Rasós (2002), la variación del nivel del agua es la que produce el principal aporte de sedimento. Estos cambios del nivel del agua

pueden hacer que exista más sedimento transportado a causa de la resuspensión de sedimento previamente depositado; o puede provocar que el sedimento se deposite más cerca o más lejos de la zona de la presa. Este factor no ha podido ser modelizado mediante el programa SIMSAFADIM-CLASTIC por no poder considerar nodos en ambientes subaéreos.

[↶ Arriba](#)

[Índice ↴](#)