



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 – Compartirlqual 4.0. Espanya de Creative Commons.**

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

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

# Capítulo 6

---

## *Ejemplos*

---

- 6.1 [\*\*Introducción\*\*](#)
- 6.2 [\*\*Cuenca del Vallès-Penedès\*\*](#)
  - 6.2.1 [Introducción geográfica y geológica](#)
  - 6.2.2 [Configuración inicial y parámetros introducidos](#)
    - Principales simplificaciones
  - 6.2.3 [Resultados obtenidos](#)
    - Sistema de flujo
    - Distribución de sedimentos
  - 6.2.4 [Discusión de los resultados y conclusiones](#)
- 6.3 [\*\*Embalse de Camarasa\*\*](#)
  - 6.3.1 [Introducción general](#)
    - Contexto Geológico
    - Dinámica del embalse
  - 6.3.2 [Configuración inicial y parámetros introducidos](#)
    - Principales simplificaciones
  - 6.3.3 [Resultados obtenidos](#)
    - Sistema de flujo
    - Distribución de sedimentos
  - 6.3.4 [Discusión de los resultados y conclusiones](#)



[↶ Arriba](#)

## **6.1 Introducción**

En este capítulo se presenta la aplicación del programa SIMSAFADIM-CLASTIC a dos ejemplos diferentes para poder comparar los resultados obtenidos con datos reales observados en el campo y, de este modo determinar las aplicaciones reales y las limitaciones que posee.

El primer experimento se centra en la cuenca del Vallès-Penedès (Catalunya, NE de España) donde, durante el Langhiense se produce una transgresión marina que provoca la coexistencia de materiales clástico-terrágenos y carbonatados. Éste es un buen ejemplo para simular la interrelación entre materiales clástico-terrágenos y carbonatados, y los efectos que se producen en la evolución de la plataforma carbonatada bajo la presencia de estos sedimentos clástico-terrágenos. Por lo tanto, el principal objetivo de este experimento es observar la respuesta de las asociaciones de organismos productores de carbonato bajo la presencia de sedimentos clástico-terrágenos y determinar si la arquitectura deposicional resultante se aproxima a la observada en la realidad.

Para una aplicación más actual, también se modeliza el relleno y comportamiento de sedimentos terrígenos que entran en una cuenca continental artificial. Para este fin, el embalse de Camarasa (Lleida, NW de Catalunya) se ha tomado como patrón para introducir los datos del experimento y poder comparar los resultados obtenidos con datos reales, ya que existen muchos estudios centrados en él. No obstante, hay que tener en cuenta que las limitaciones actuales del programa hacen difícil una modelización correcta de una zona con cambios constantes del nivel del agua como puede ser un embalse. De todos modos, se ha realizado este experimento para comprobar si estas limitaciones son determinantes en los resultados finales y si estos difieren mucho de la realidad.

[↶ Arriba](#)

[Índice](#) 

## 6.2 Cuenca del Vallès-Penedès

### 6.2.1 Introducció geogràfica y geològica

La cuenca del Vallès-Penedès es un semigraben extensional neógeno situado en el margen NE de la Península Ibérica (SW de Europa), dentro de las Cadenas Costeras Catalanas (Figura 6.1). Es una cuenca orientada en dirección NE-SW, de unos 10-14 Km de ancho por más de 100 Km de largo con una morfología asimétrica.

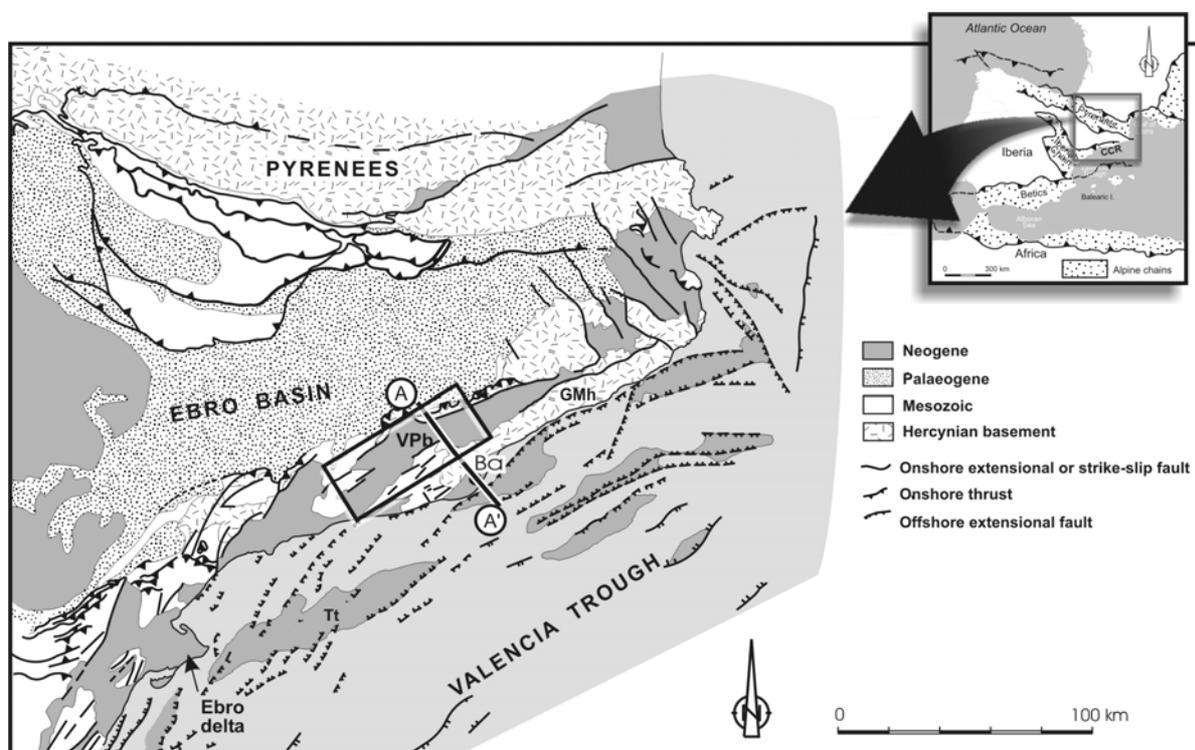


Figura 6.1.- Situación geográfica y contexto geológico de la cuenca del Vallès-Penedès (VPb). Se indica la posición del corte A-A' representado en la figura 6.2. El recuadro negro marca la zona de estudio. GMh: Horst del Garraf-Montnegre; Ba: Barcelona. Modificada de Roca *et al.* (1999).

*Geographic and geological setting of the Vallès-Penedès basin (VPb, black rectangle) located in the central part of the Catalan Coastal Ranges (Catalunya, NE Spain). A-A' indicates the location of the cross-section represented in figure 6.2. GMh: Horst del Garraf-Montnegre; Ba: Barcelona. Modified from Roca *et al.* (1999).*

En el margen NW de la cuenca (figura 6.2) se sitúa el depocentro de la misma ligado a la actividad de la denominada falla principal del Vallès-Penedès que buza hacia

el SE y muestra una dirección ENE-WSW. Esta falla ha experimentado un desplazamiento normal superior a los 4000 metros.

En el margen SE, la cuenca queda limitada por un sistema de altos estructurales (el Horst del Garraf-Montnegre) basculado hacia el NW y afectado localmente por la actividad de fallas menores.

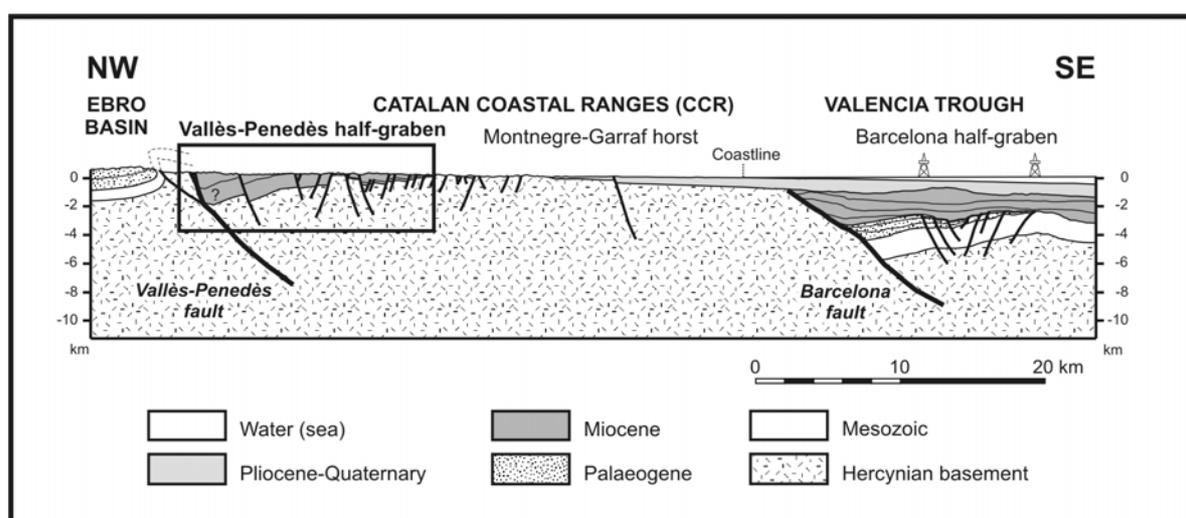


Figura 6.2.- Corte geológico a través del margen NE de Catalunya (ver situación del corte A-A' en la figura 6.1), en la parte central de las denominadas Cadenas Costeras Catalanas (CCR) donde se encuentra la cuenca del Vallès-Penedès (recuadro negro). Notar la asimetría de la cuenca y la posición del depocentro cerca del margen NW de la misma, donde se encuentra la falla principal. Modificada de Roca *et al.* (1999).

*Geological cross-section across central part of the Catalan Coastal Ranges (CCR, NE of Catalunya, see situation A-A' on figure 6.1) where the Vallès-Penedès basin is located (black rectangle). Note that the half-graben is bounded to the NW by the SE-dipping ENE-WSW-trending Vallès-Penedès fault. Modified from Roca *et al.* (1999).*

El relleno de la cuenca (Cabrera *et al.*, 1991; Bartrina *et al.*, 1992) cuenta con más de 4000 metros de relleno sedimentario, que varía desde depósitos siliciclásticos continentales hasta otros predominantemente marinos, y con una edad comprendida entre el Oligoceno superior(?)-Mioceno inferior hasta el Mioceno superior (figura 6.3 y 6.4). La mitad superior de este relleno sedimentario incluye una macrosecuencia progradante desde depósitos marinos someros de edad Langhiense hasta depósitos aluviales distales y proximales. Durante el Langhiense, una importante transgresión marina dio lugar a un complejo sistema deposicional mixto, carbonatado y terrígeno, con sistemas aluviales relacionados con la actividad de la falla principal del Vallès-Penedès a lo largo del margen NW de la cuenca, y construcciones arrecifales desarrolladas sobre los altos que limitan la cuenca por el SE. Para una descripción detallada de los arrecifes y sedimentos carbonatados presentes en el mioceno de la cuenca del Vallès-Penedès se cita el trabajo de Permanyer (1990).

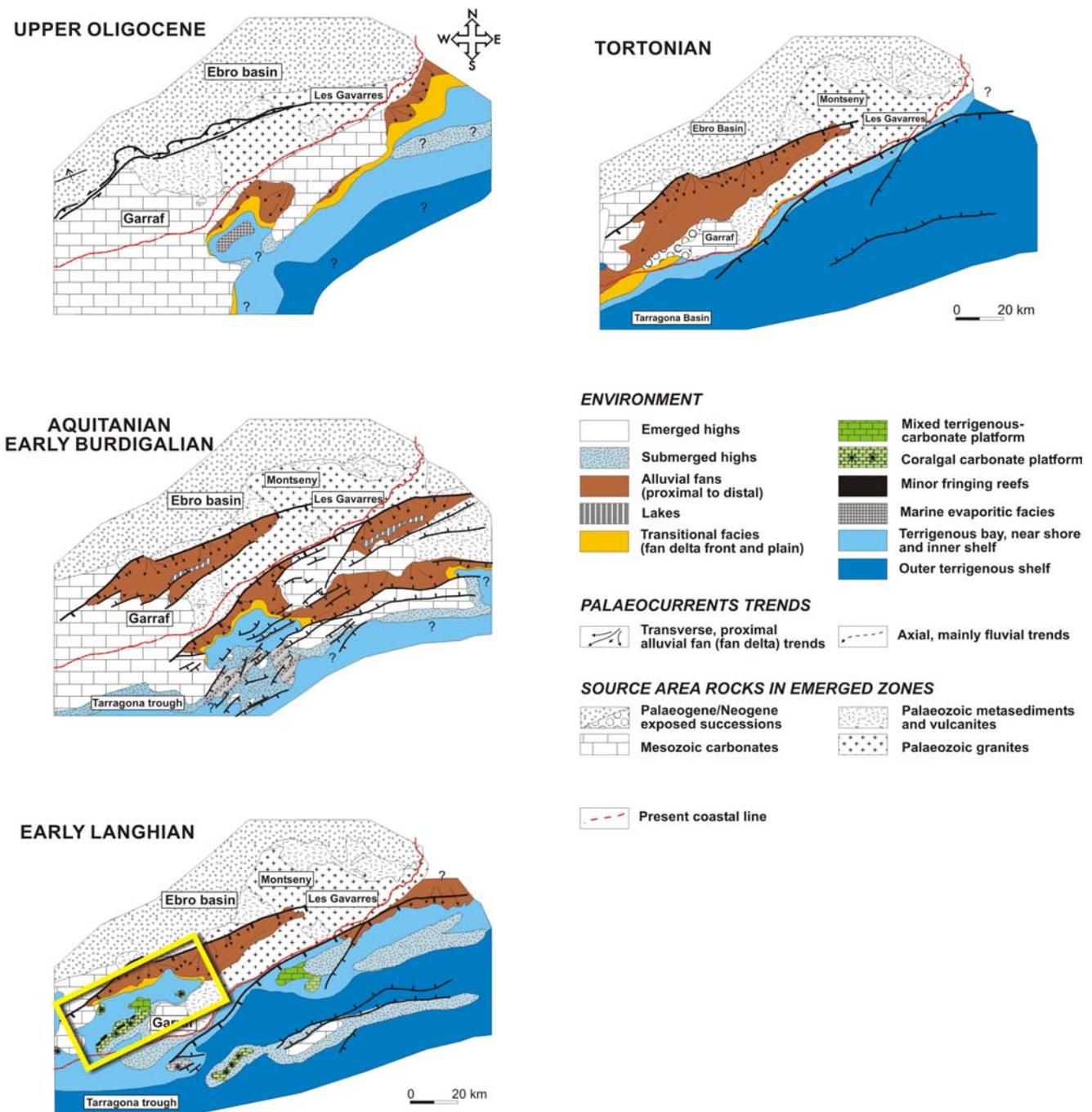


Figura 6.3.- Evolución paleogeográfica de la zona central de las Cadenas Costeras Catalanas. El recuadro amarillo indica la localización de la zona de estudio durante el Langhiense. Modificada de Roca *et al.* (1999).

*Paleogeographic evolution of the central part of the Catalan Coastal Ranges. The yellow rectangle indicates the position of the studied area during Langhian time. Modified from Roca et al. (1999).*

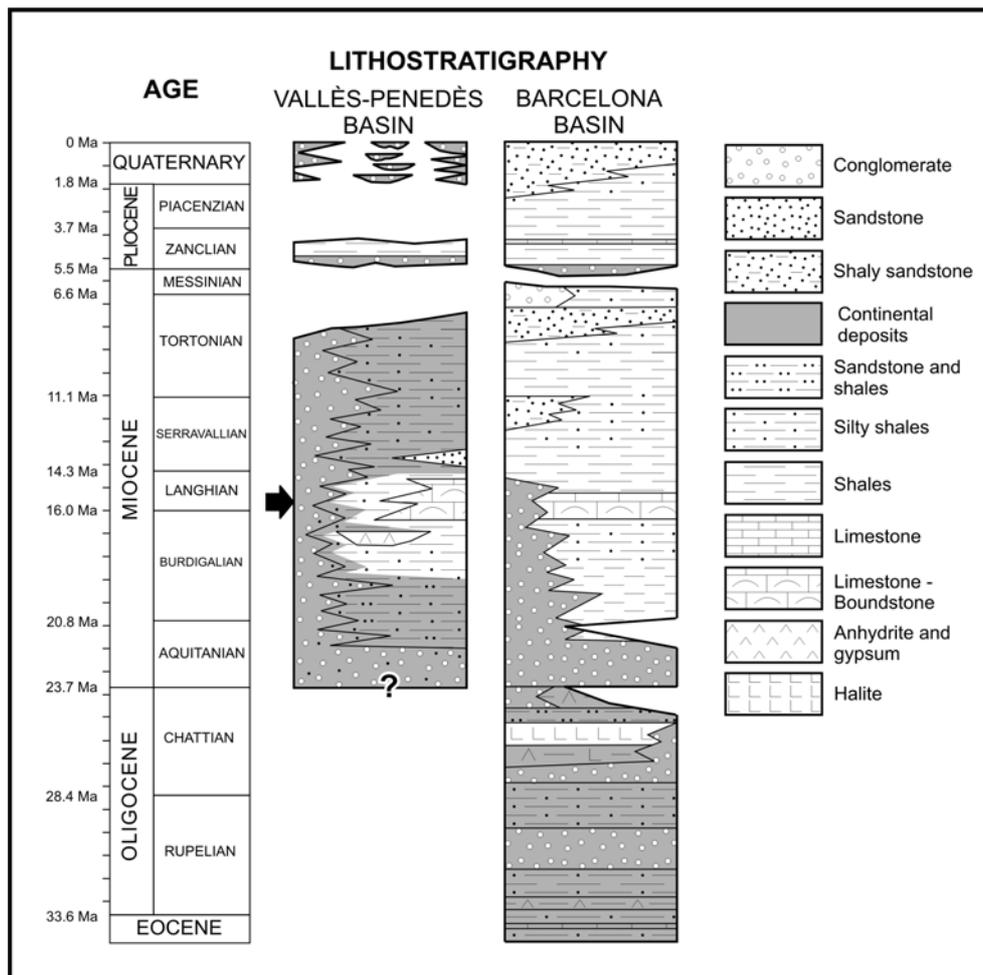


Figura 6.4.- Litoestratigrafía del relleno sedimentario de la cuenca del Vallès-Penedès y la cuenca sumergida de Barcelona en la adyacente plataforma continental. La flecha negra indica el periodo temporal modelizado. Modificada de Roca et al. (1999).

*Lithostratigraphic sections of the Vallès-Penedès and Barcelona basins. Sediment thickness is large than 4000 m. The black arrow indicates the simulated time window. Modified from Roca et al. (1999).*

↶ Arriba

### 6.2.2 Configuración inicial y parámetros utilizados

Los límites de la zona de estudio se han establecido dentro de la parte de la cuenca del Vallès-Penedès que fue sumergida bajo el agua debido a la transgresión marina ocurrida durante el inicio del Langhiense (figura 6.5).

La configuración inicial propuesta y utilizada para el experimento viene definida por la profundidad de agua existente en la zona y por una concentración nula de sedimento en cada punto de la cuenca (figura 6.5). La batimetría inicial propuesta se ha deducido a partir de la estructura conocida de la cuenca y de la paleogeografía establecida para el inicio del Langhiense.

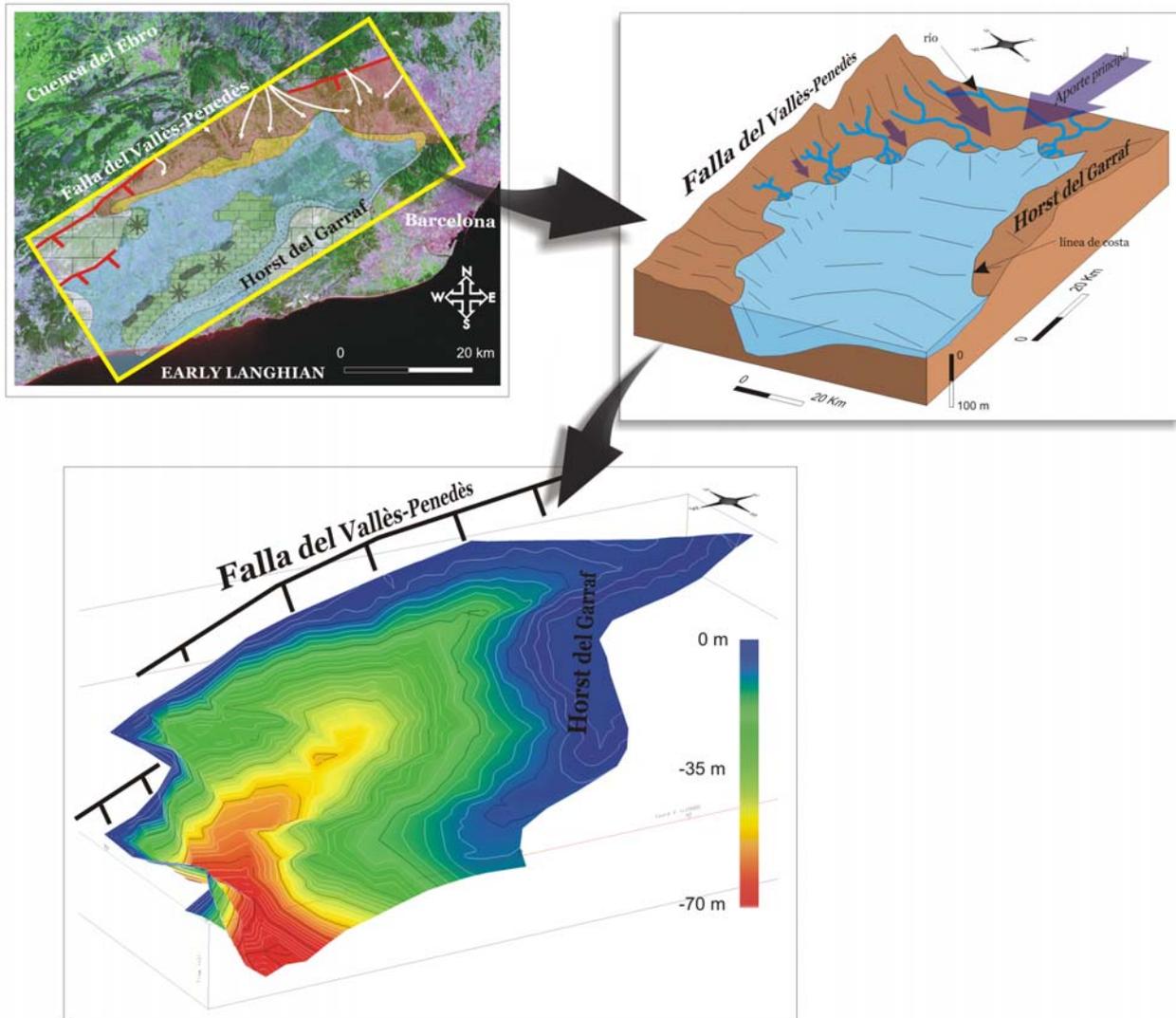


Figura 6.5.- Propuesta de configuración inicial de la cuenca del Vallès-Penedès a partir de la paleogeografía establecida para el Langhiense.

*Early Langhian configuration of the basement in the Vallès-Penedès basin based on the available geological and paleogeographical data.*

Según el objetivo principal de este experimento, en la discretización temporal se ha considerado suficiente un período total de cálculo de 20000 años, distribuidos en 20 intervalos de tiempo de una duración de 1000 años cada uno.

La discretización espacial de la zona de estudio que configura la malla de elementos finitos contiene 18 filas por 20 columnas, lo que representa un total de 360 nodos que definen 646 elementos (figura 6.6).

Las condiciones de contorno establecidas para la malla de elementos finitos (figura 6.6) definen las zonas de entrada (desembocaduras de los sistemas fluviales distributivos) 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. En general, los puntos de entrada de agua se sitúan en los márgenes NW y NE debido a la actividad de la falla principal y al desarrollo de los diferentes sistemas aluviales asociados. Los puntos de salida (mar abierto) se sitúan en el margen S. La mayor entrada de agua se produce en el margen NE respondiendo a un transporte mayoritariamente axial dentro de la cuenca y debido a un área de drenaje importante situada en dirección NE. Los flujos de agua procedentes de los relieves producidos por la falla principal y más próximos al margen NW, se han considerado de menor entidad que el axial (debido a unas áreas de drenaje más próximas a la cuenca y de tamaño más reducido, Roca *et al.*, 1999).

La condición de contorno para el transporte viene definida por una tasa de entrada de sedimento (en  $Tn/s$ ). Se han introducido tres tipos de sedimento clástico diferentes, el denominado clástico 5 que corresponde al sedimento clástico terrígeno más fino, el 7 al medio y el 8 al más grueso. Siguiendo el mismo razonamiento utilizado para la entrada de agua, se ha considerado una mayor entrada de sedimento clástico por el margen NE. Este volumen de sedimento definido se va reduciendo a medida que la entrada de sedimento se sitúa más al NW donde, además, existe una proporción mayor de sedimento grueso (tipo 8) debido a la proximidad de los relieves y de la falla.

En lo que hace referencia a las asociaciones de organismos productores de carbonato, para la realización de este experimento se han tenido en cuenta las dos asociaciones principales presentes en el mioceno del Vallès-Penedès (según Permanyer, 1990). Estas dos asociaciones corresponden a la **facies arrecifal** que se agrupa dentro del programa en la denominada asociación de organismos tipo 2 y cuyo componente principal son los corales; y la **facies de rampa carbonatada** (asociación de organismos tipo 1) compuesta principalmente por moluscos, algas, briozoos y corales esporádicos aislados.

Los valores y parámetros principales que definen los tres tipos de sedimento clástico y las dos asociaciones de organismos productores de carbonato introducidos en el experimento pueden verse reflejados en la tabla 6.1. Los diferentes ficheros que contienen todos los parámetros introducidos pueden consultarse en el CD adjunto (igual que todos los ficheros con los resultados de los experimentos).

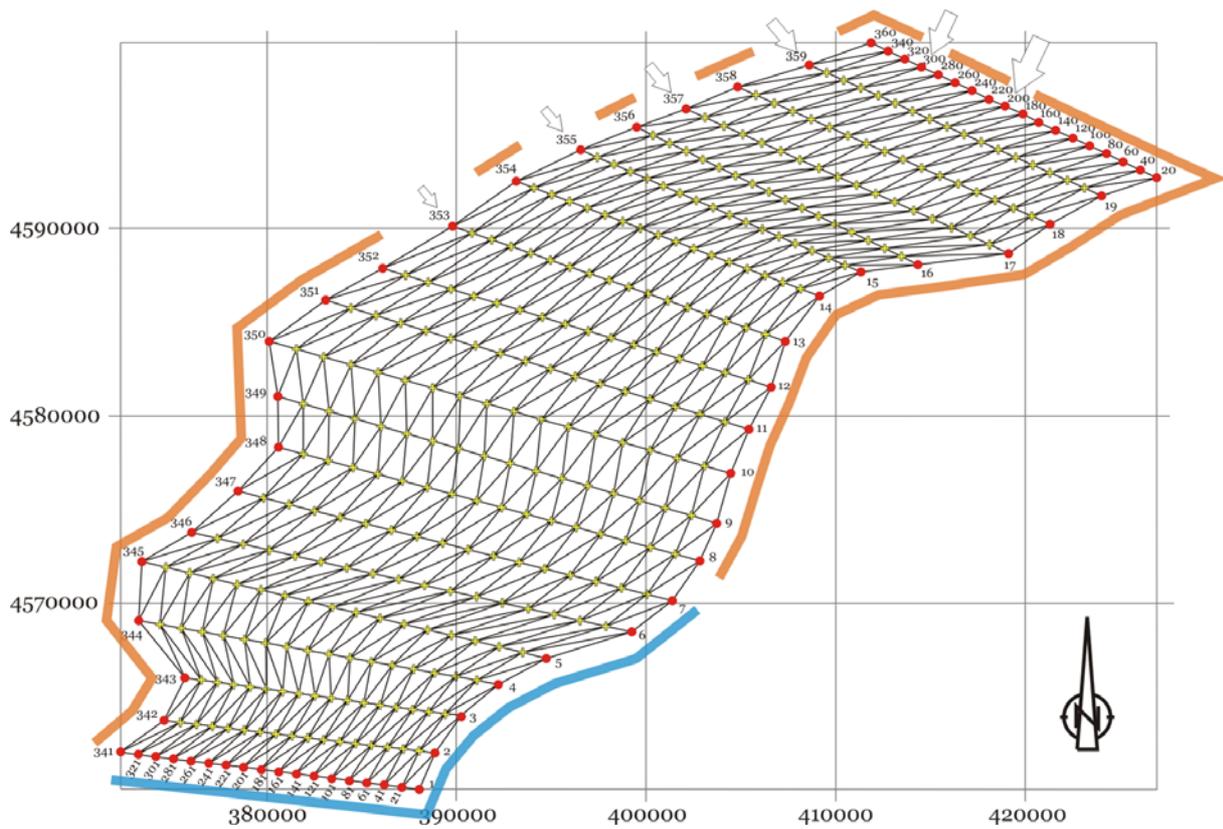
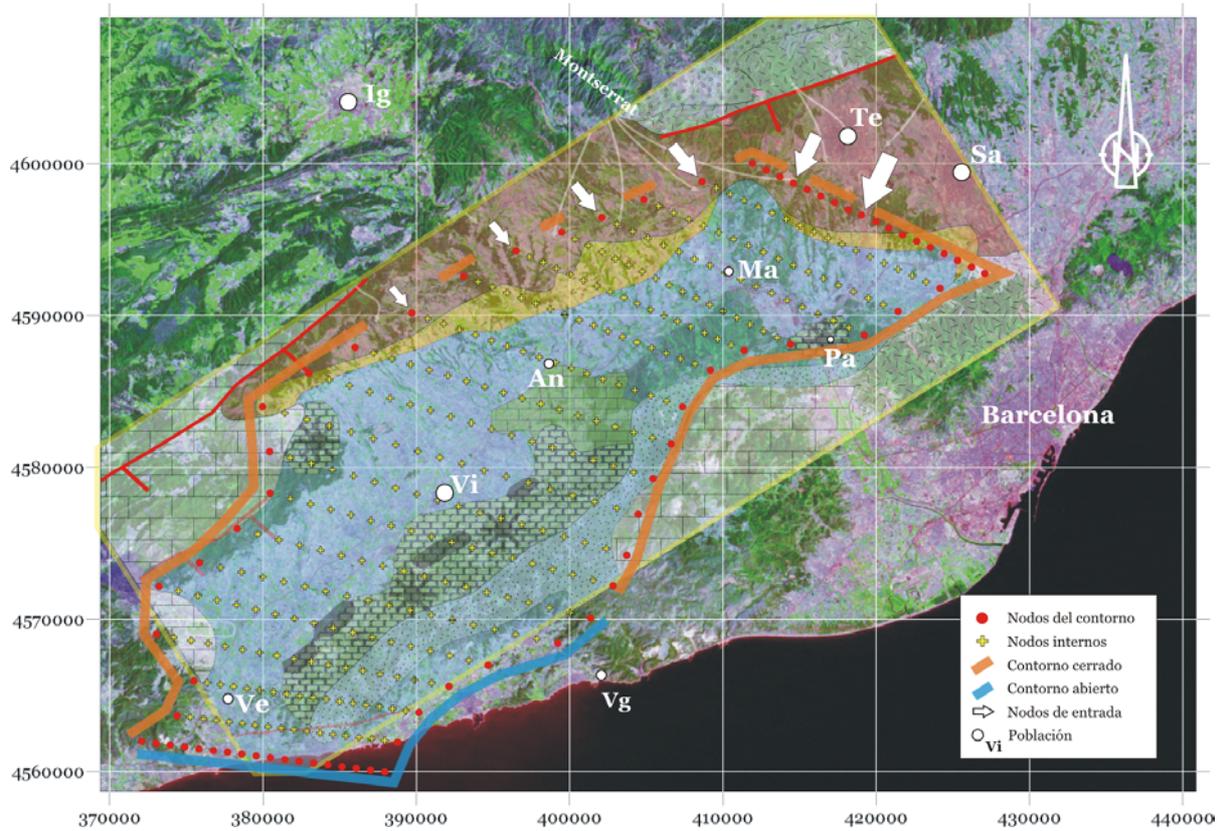


Tabla 6.1.- Valores introducidos en el experimento y referentes a los parámetros de sedimentación, transporte y contorno de la malla de elementos finitos. También se incluyen los parámetros que definen las dos asociaciones consideradas de organismos productores de carbonato.

*Parameters introduced for the experiment defining sedimentation, transport and boundary conditions for the finite element mesh. The parameters defining the two considered associations of producing carbonate organisms are included.*

### Sedimento clástico

	<b>Nodos definidos</b>	<b>Clástico 5 (fino)</b>	<b>Clástico 7 (medio)</b>	<b>Clástico 8 (grueso)</b>	<b>Clástico 6 (carbonato clástico)</b>
Entrada de sedimento (Tn/s)	200	0,0042	0,0018	0,0015	-
	300	0,0019	0,0012	0,00045	
	359	0,0002	0,0003	0,00039	
	357	0,00018	0,00028	0,00036	
	355	0,00016	0,00026	0,00034	
	353	0,00014	0,00015	0,00016	
Velocidad de deposición (m/d)	-	0,026	0,049	0,067	0,03
Velocidad crítica de deposición (m/d)	-	8,25	20,35	70,5	25,25
Dispersividad longitudinal (m)	-	950	950	950	950
Dispersividad transversal (m)	-	950	950	950	950
Difusión, coeficientes $G_0$ y $G_1$	-	10,09 y 0,1	6,87 y 0,1	4,59 y 0,1	6,87 y 0,1

### Flujo de agua

		<b>Nodos</b>
Entrada de agua (m <sup>3</sup> /s)	3,5	200
	2,8	300
	2,2	359
	2,0	357
	1,8	355
	1,6	353
Contorno abierto	(definidos por potencial fijo)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 21, 41, 61, 81, 101, 121, 141, 161, 181, 201, 221, 241

### Sedimento carbonatado

	<b>Asociación de organismos tipo 1 (facies de rampa)</b>	<b>Asociación de organismos tipo 2 (facies arrecifales)</b>
Nacimiento	0,01	0,02
Mortandad	0,01	0,02
Profundidad máxima (m)	55	30
Producción máxima (m/a)	0,015	0,025
Mortandad por fango	0,01	0,02
Mortandad por clásticos (tipo 5, 7, 8 y 6 respectivamente)	0,06 0,09 0,11 0,03	0,09 0,11 0,21 0,04
Producción de fango	0,008	0,006

Figura 6.6.- (página anterior) Discretización espacial de la zona de estudio. En la parte inferior se han representado los elementos triangulares que componen la malla de elementos finitos. Los límites NW y NE se han situado cerca de la línea de la paleocosta para el Langhiense considerando una situación de HST. La leyenda para el mapa geológico se puede ver en la figura 6.5. La magnitud de las flechas indica el volumen de agua y sedimento que ingresa. **An.** Sant Sadurní d'Anoia; **Ig.** Igualada; **Ma.** Martorell; **Pa.** El Papiol; **Sa.** Sabadell; **Te.** Terrassa; **Ve.** El Vendrell; **Vi.** Vilafranca; **Vg.** Vilanova i La Geltrú.

*(previous page) Spatial discretization of the studied area. The triangular elements of the finite element mesh are represented in the lower part. The NW and NE boundaries are situated near the paleocoastal line considering a HST situation. Arrow sizes indicates water and sediment volume supply. See legend of the geological data in figure 6.5. **An.** Sant Sadurní d'Anoia; **Ig.** Igualada; **Ma.** Martorell; **Pa.** El Papiol; **Sa.** Sabadell; **Te.** Terrassa; **Ve.** El Vendrell; **Vi.** Vilafranca; **Vg.** Vilanova i La Geltrú.*

Para completar el modelo y poder analizar mejor la respuesta de las asociaciones de organismos productores de carbonato bajo la presencia de sedimentos clástico-terrágenos, también se ha realizado un segundo experimento con los mismos valores anteriores aunque sin considerar la entrada de sedimento terrígeno dentro de la zona de estudio.

- **Principales simplificaciones**

Debido a la imposibilidad para modelizar ambientes continentales (o subaéreos) se ha considerado una situación de máximo nivel eustático (HST) sin que el nivel del mar cambie su posición (estático).

En este experimento no se ha tenido en cuenta la modelización de la facies más profunda y correspondiente a la **facies de talud distal o de cuenca** (denominada facies Castellet o facies Bellveí). Tampoco se ha considerado la modelización de las facies evaporíticas (Bitzer, 2004).

La entrada de agua y sedimento es constante durante todo el experimento, sin tener en cuenta avenidas o eventos puntuales.

No se han considerado movimientos tectónicos por fallas ni subsidencia tectónica o térmica.

Se han utilizado tasas de sedimentación inferiores a las reales. Esta simplificación se ha realizado para poder extraer geometrías más realistas y se debe a que, como se ha comentado, el modelo de flujo utilizado atribuye una velocidad del flujo que no cambia en la vertical. Por lo tanto, el valor del flujo atribuido a un punto puede ser superior al real, sobretodo si se observa la zona más próxima al fondo y con una velocidad menor debido a la fricción con el fondo.

[↶ Arriba](#)

### **6.2.3 Resultados obtenidos**

- **Sistema de flujo**

El sistema de flujo obtenido para el primer y el último intervalo de tiempo (intervalos 001 y 020 respectivamente) para la zona del Vallès-Penedès según el modelo por potencial se ha representado en la figura 6.7.

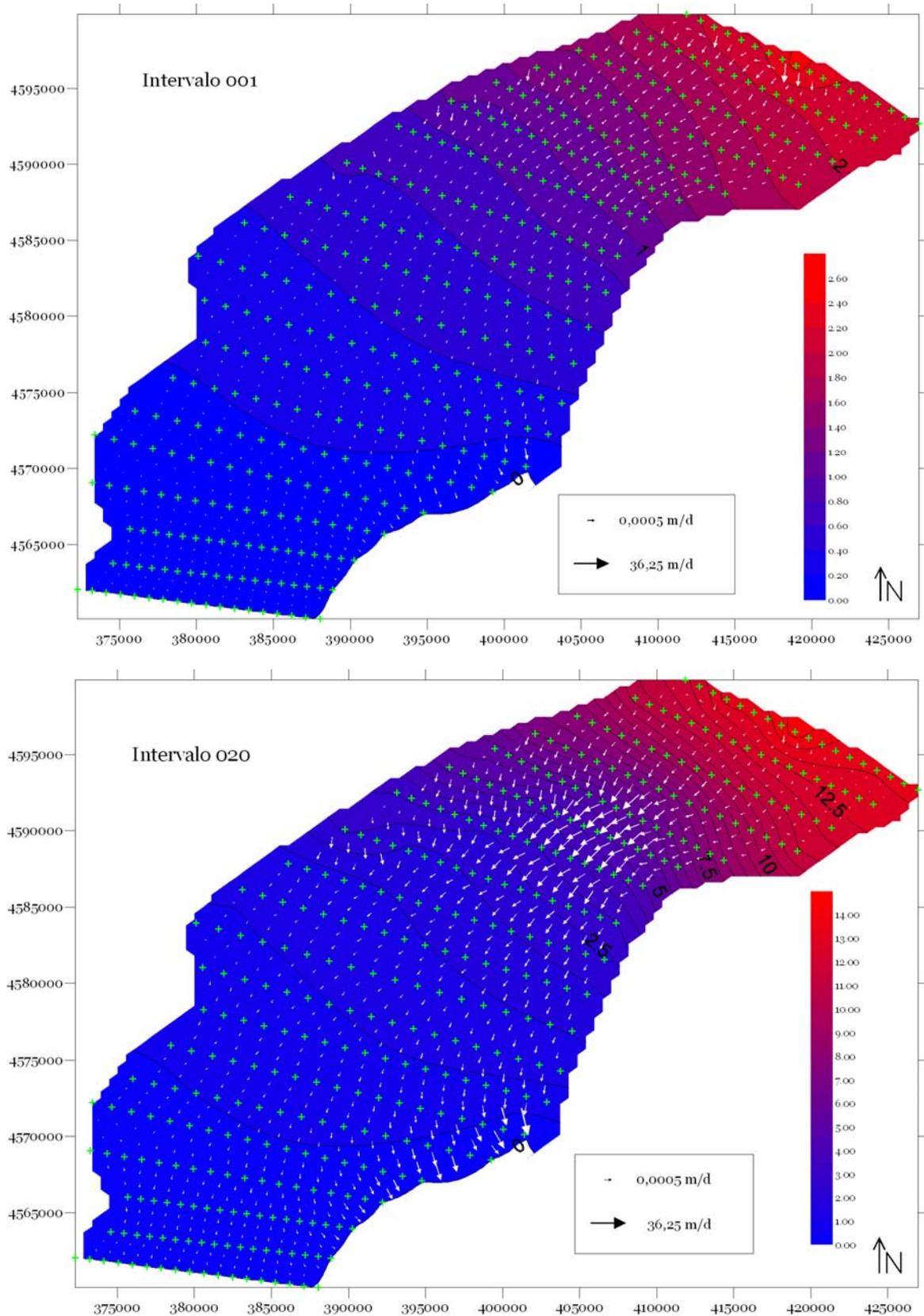


Figura 6.7.- Representación de la superficie potencial (mapa de contornos) y del sistema de flujo (flechas blancas) obtenidos para los intervalos de tiempo 001 y 020 correspondientes a 1000 y 20000 años respectivamente. Notar el cambio de escala en la superficie potencial (valores en metros). Las cruces verdes indican los nodos que configuran la malla de elementos finitos.

Flow velocity (white arrows) and potential surface (colored contour map) obtained for time steps 001 (upper figure) and 020 (lower figure), corresponding to 1000 and 20000 years. Note the change in potential surface scale (in meters). Green crosses show the position of the nodes of the finite element mesh.

Como se puede apreciar, en el primer intervalo de tiempo se establece un flujo de agua principalmente desde el margen NE hacia el margen S, donde se sitúa la zona de salida del agua y sedimento del modelo. El valor de velocidad máximo obtenido en este primer intervalo de tiempo es de 20 m/d y se sitúa en el nodo de entrada principal (en el margen NE).

Para el último intervalo de tiempo, correspondiente a los 20000 años totales del experimento, se puede apreciar como la velocidad máxima ha aumentado y se ha desplazado hacia el centro de la cuenca. En este caso, las velocidades máximas son de unos 36 m/d y se obtienen también en el margen NE, donde se localiza la zona principal de entrada de agua. Esta entrada se ha desplazado hacia el centro de la cuenca a medida que la sedimentación rellena el espacio de acomodación y provoca la progradación de los sistemas sedimentarios, desplazando la zona de entrada hacia el SW. También existe un aumento de la velocidad del flujo en el margen SE debido a la sedimentación y consecuente reducción de la sección vertical en la columna de agua.

En los dos intervalos de tiempo representados también puede apreciarse el flujo que proviene del margen NW (que corresponde al margen más próximo a la falla principal) aunque con una contribución menor.

- **Distribución de sedimentos**

Al final de cada intervalo de tiempo se pueden visualizar los mapas de distribución, o mapas de facies, del sedimento mayoritario presente en cada punto de la zona de estudio (el programa atribuye un número y un color en función del sedimento que presenta un porcentaje mayor). Como este número y color se atribuye sin tener en cuenta la potencia de sedimento total depositado en cada punto, es importante comparar estos mapas con la deposición total de la zona en estudio y, de este modo, poder determinar la importancia relativa de cada facies. En las figuras siguientes (6.8 a 6.11), se han representado los mapas de facies y la deposición total de sedimento correspondiente para los intervalos de tiempo 001, 007, 014 y 020 (1000, 7000, 14000 y 20000 años respectivamente)

En la figura 6.8, correspondiente a  $t=1000$  años, se aprecia como existen dos regiones diferenciadas. Una, situada en la región N, donde predominan los sedimentos clástico-terrágenos. La otra región, que ocupa la mayor parte de la cuenca aunque principalmente se concentra en la zona S, se caracteriza por un predominio de los sedimentos carbonatados (en colores azules).

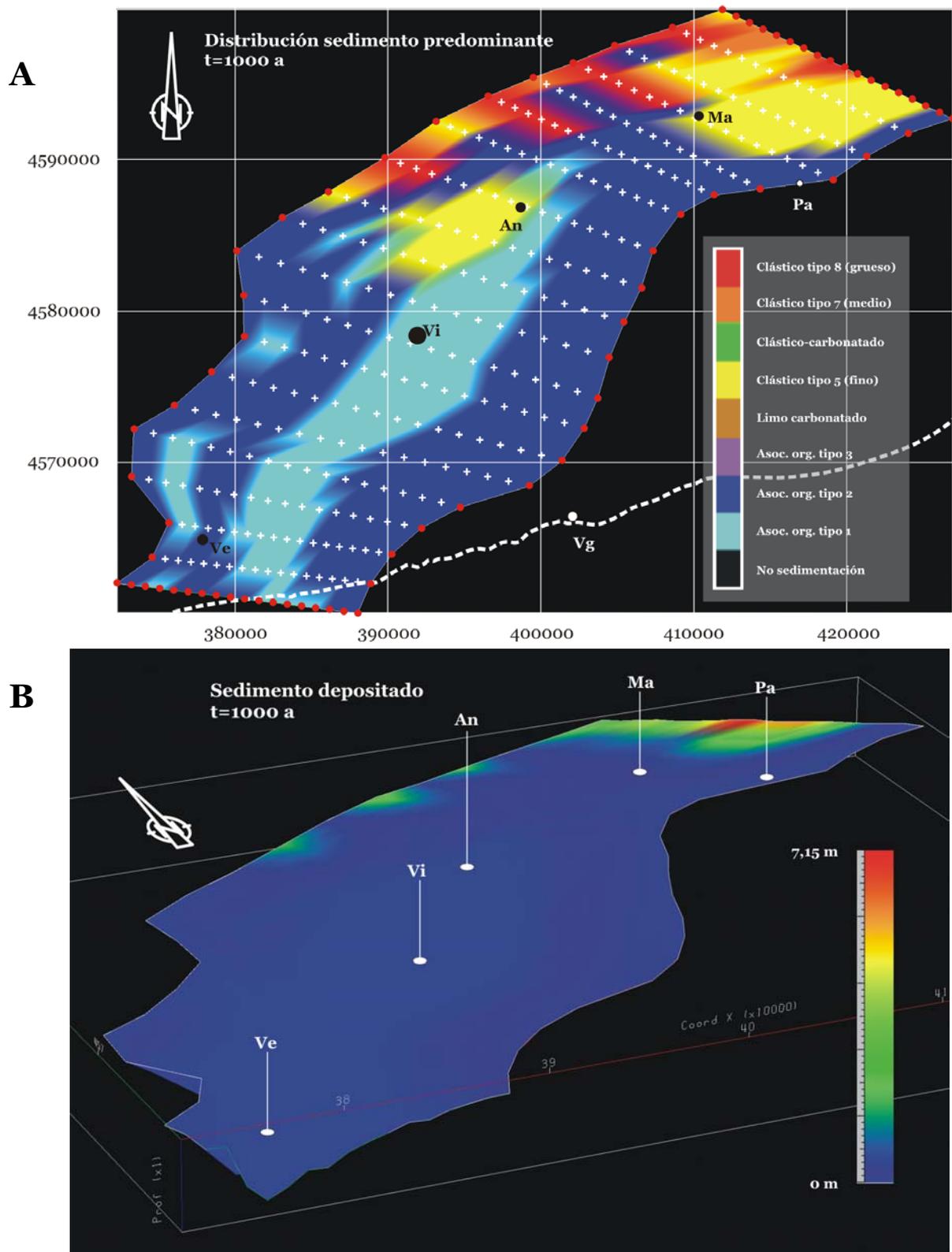


Figura 6.8.- Mapa de facies (A) y potencia de sedimento total depositado (B) obtenido al cabo de 1000 años (intervalo de tiempo 001). La escala vertical está exagerada 50 veces. Para una mejor localización, se han situado diferentes poblaciones (siguiendo el mismo código de la figura 6.7) y la línea de costa (línea blanca discontinua). En este experimento no se ha considerado una tercera asociación de organismos productores de carbonato (tipo 3).

Facies (A) and total sediment deposited (B) maps during time step 001 (1000 y). Vertical exaggeration 50x. White dots show the location of some towns (see code in figure 6.7) and the present coastal line is indicated by white broken line. Association of organisms type 3 was not considered in this experiment.

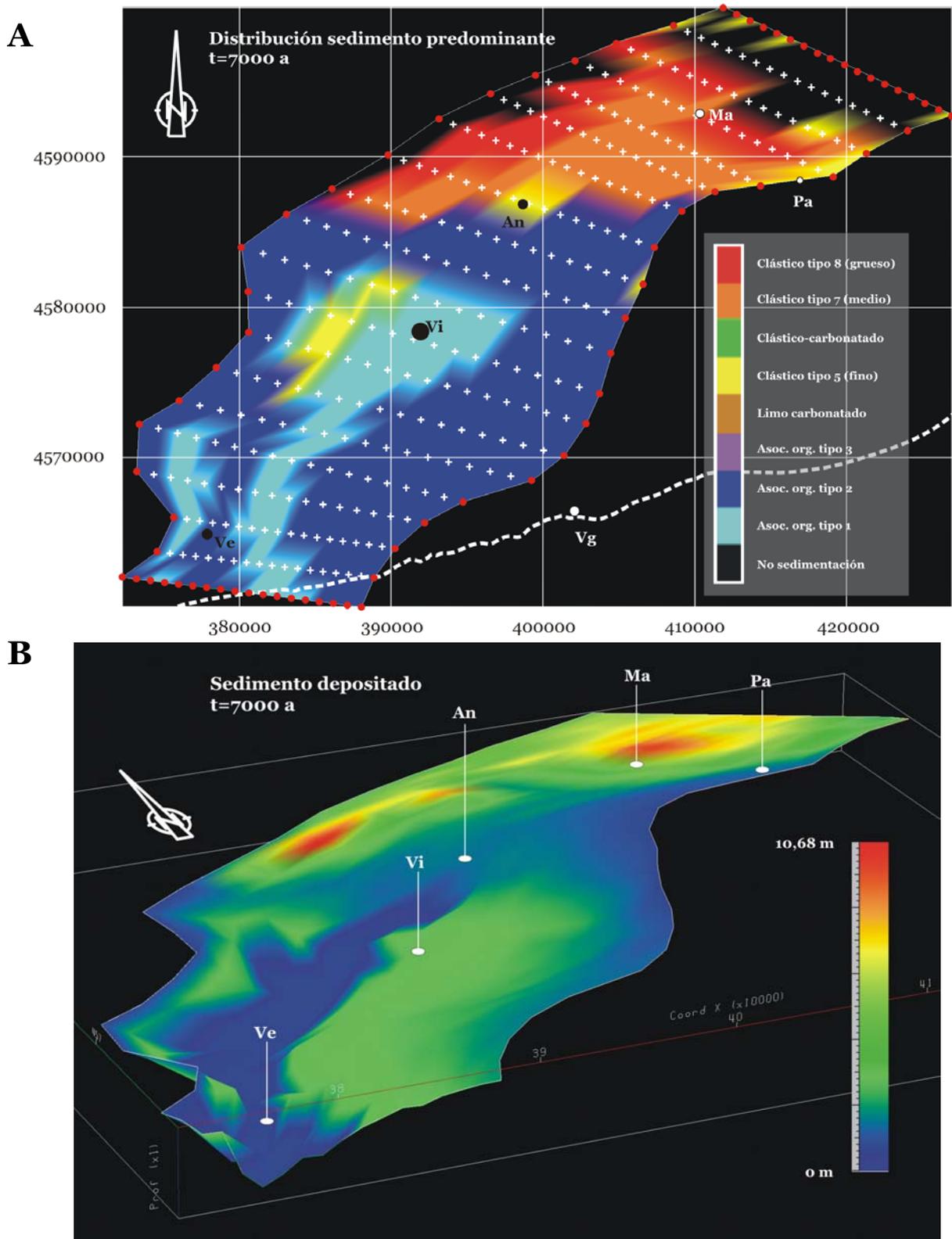


Figura 6.9.- Mapa de facies (A) y potencia de sedimento total depositado (B) obtenido al cabo de 7000 años (intervalo de tiempo 007). La escala vertical está exagerada 50 veces. Nótese el cambio de escala en el mapa de potencias respecto al de la figura anterior.

*Facies (A) and total sediment deposited (B) maps for time step 007 (7000 y). Vertical exaggeration 50x. Note the change of the scale limits of the thickness map in relation to the previous figure.*

La distribución de los sedimentos clástico-terrágenos marca muy bien las zonas de entrada del sedimento en los márgenes NE y NW y el desarrollo de los sistemas deltaicos correspondientes. El núcleo de cada uno de ellos está compuesto principalmente por el sedimento más grueso (rojo) pasando distalmente a las facies más finas (amarillas). De todos ellos, el sistema deltaico desarrollado en el margen NE es el de mayor entidad y el que ocupa una área más amplia, respondiendo a una entrada de agua y sedimento mayor debido a un aporte principalmente axial. Las potencias totales de sedimento depositado en esta región varían entre los 3 m, aproximadamente, de los sistemas deltaicos del margen NW a los 7,15 m máximos del sistema deltaico principal situado en el margen NE.

Los sedimentos carbonatados aunque son los que ocupan una región más amplia, son los de menor potencia con valores de sedimento depositado inferiores a 1 m. Como se puede apreciar, la asociación de organismos tipo 2 (correspondiente a los corales biohermales) se localiza en las zonas próximas a los márgenes, mientras que la asociación de organismos tipo 1 (moluscos, algas, etc.) lo hace en las zonas más internas y profundas de la cuenca.

En los siguientes intervalos de tiempo representados (figuras 6.9, 6.10 y 6.11) puede verse como esta diferenciación entre una región N y S en función del sedimento que predomina se mantiene, aunque la región N va ganando importancia hasta equipararse a la región S en el último intervalo de tiempo, donde las dos regiones ocupan cada una aproximadamente el 50% de la zona de estudio.

En el intervalo de tiempo 007 (figura 6.9) se observa como los sistemas deltaicos desarrollados en los márgenes NW y NE progradan hacia el interior de la cuenca (nótese la zona sin sedimentación justo al lado de los márgenes debido a una colmatación de dichas zonas). En este intervalo de tiempo los sistemas carbonatados ya han adquirido importancia y presentan potencias próximas a los 4 m, aunque siguen siendo los sistemas deltaicos los que presentan una mayor potencia (10,68 m).

En el intervalo de tiempo 014 (14000 años, figura 6.10), los sistemas deltaicos ya han cubierto y fosilizado parte de los sistemas carbonatados depositados previamente y sus partes más distales se sitúan cerca de la población de Vilafranca (Vi). En el último intervalo de tiempo (figura 6.11), estos sistemas deltaicos no han progradado mucho más ya que es una zona más profunda y, por lo tanto, con más espacio de acomodación, lo que provoca una progradación más lenta. En este estadio final, la potencia máxima que presentan los sistemas deltaicos es de 20,87 m, mientras que los sistemas carbonatados no superan los 15 m en total.

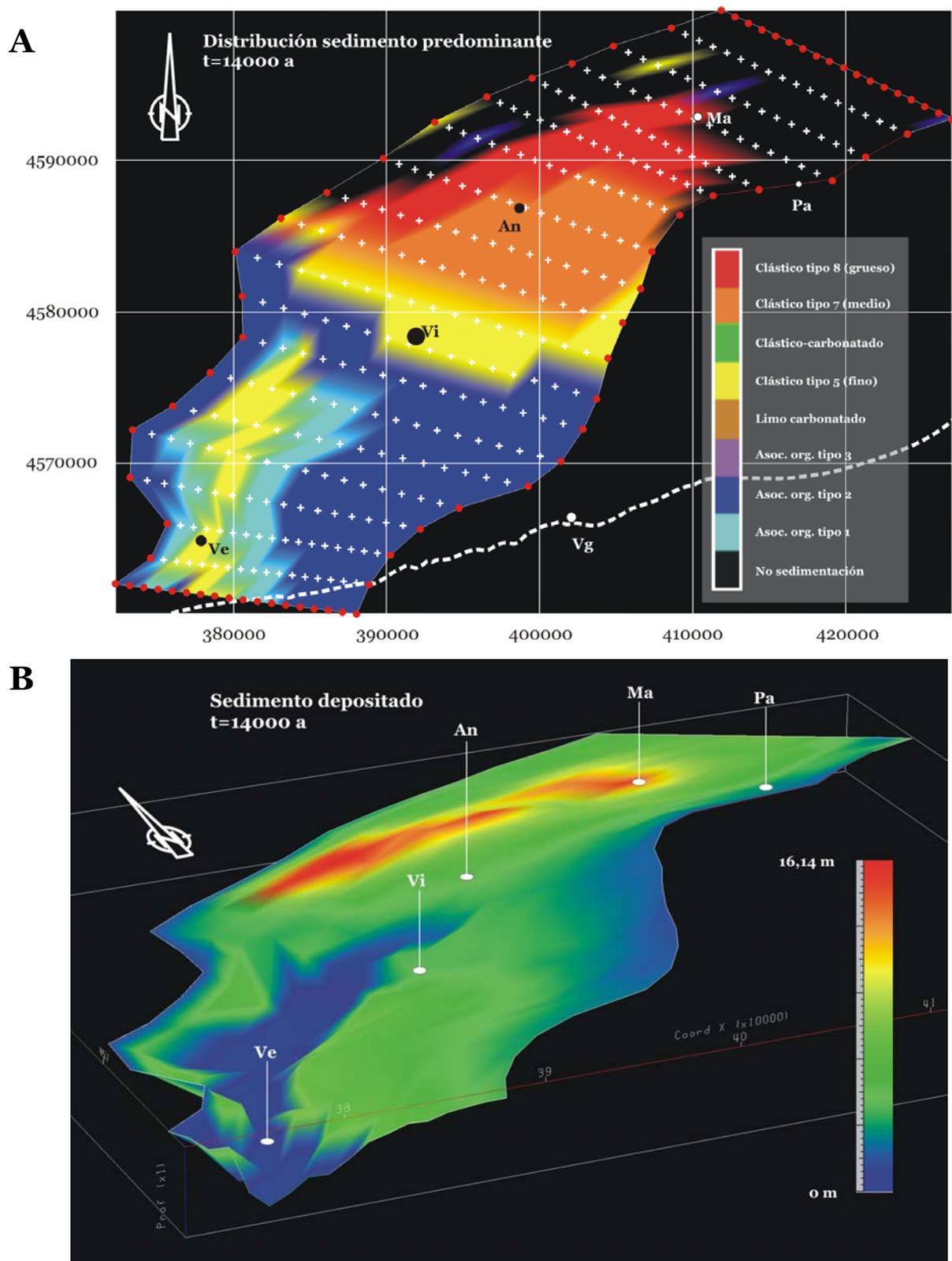


Figura 6.10.- Mapa de facies (A) y potencia de sedimento total depositado (B) obtenido al cabo de 14000 años (intervalo de tiempo 014). La escala vertical está exagerada 50 veces. Nótese el cambio de escala en el mapa de potencias respecto al de la figura anterior.

Facies (A) and total sediment deposited (B) maps for time step 014 (14000 y). Vertical exaggeration 50x. Note the change of the scale limits of the thickness map in relation to the previous figure.

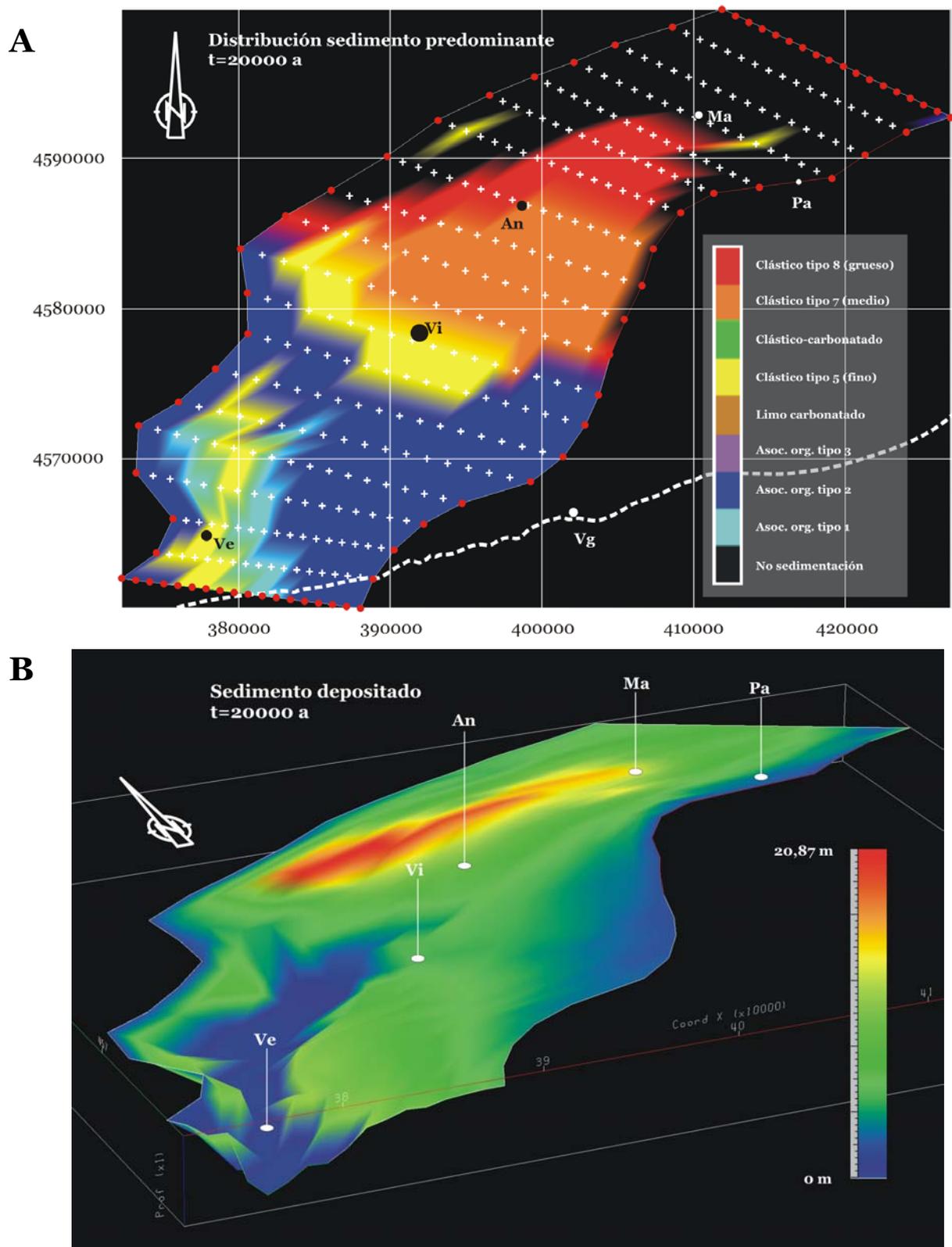


Figura 6.11.- Mapa de facies (A) y potencia de sedimento total depositado (B) al final del experimento (20000 años, intervalo de tiempo 020). La escala vertical está exagerada 50 veces. Nótese el cambio de escala en el mapa de potencias respecto al de la figura anterior.

Facies (A) and total sediment deposited (B) maps for time step 020 (20000 y). Vertical exaggeration 50x. Note the change of the scale limits of the thickness map in relation to the previous figure.

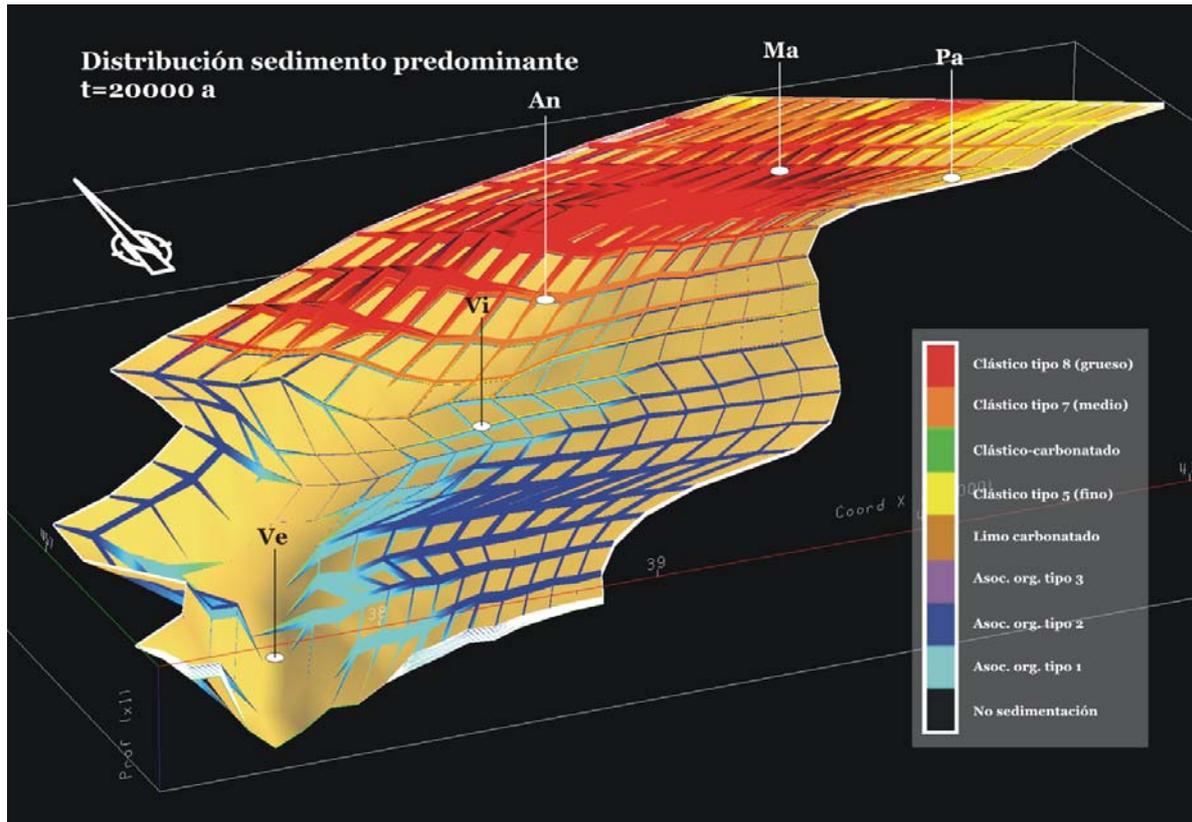


Figura 6.12.- Representación en 3D de la distribución de facies al final del experimento. La escala vertical está exagerada 50 veces.

*Fence diagram showing the facies distribution at time step 020 (20000 y). Vertical exaggeration 50x.*

En la figura 6.12 se ha representado la distribución de facies en 3D al final del experimento mediante una serie de perfiles que siguen la malla de nodos que discretiza la zona de estudio. En esta figura se pueden apreciar las dos zonas (N y S) descritas anteriormente y las relaciones existentes entre los diferentes sedimentos depositados.

Esta distribución de facies puede resultar engañosa por el hecho de representar en cada punto de la cuenca un solo color, el del sedimento mayoritario. Por este motivo, esta distribución de facies debe compararse con la distribución de cada tipo de sedimento en porcentaje (figuras 6.13, 6.14 y 6.15). De este modo, se aprecia perfectamente la proporción exacta de cada tipo de sedimento y la importancia relativa de cada uno de ellos.

En la figura 6.13 se aprecia la distribución del sedimento correspondiente a las asociaciones de organismos productores de carbonato tipos 1 y 2, y que, básicamente, se concentran en la región S. En concreto, la asociación tipo 2 (corales biohermales, figura 6.13-B) se concentra en la zona próxima a los márgenes y comprendida entre los 2 y los 20 m de profundidad. Su porcentaje disminuye en dirección NE y también a medida que aumenta la profundidad. Esta disminución en profundidad coincide con el aumento de la asociación de organismos tipo 1 (moluscos, algas, bivalvos, etc., figura 6.13-A) que adquiere su máximo porcentaje entre los 25 y 50 m de profundidad. A partir de esta profundidad, su potencia y su porcentaje disminuye drásticamente hasta desaparecer.

El limo carbonatado producido *in situ* (figura 6.14-A) coincide con la zona descrita anteriormente y dominada por los organismos productores de carbonato tipo 1 y 2. Se puede observar como el limo está presente en la región S y entre los 2 y los 50 m de profundidad. Aunque no es evidente, existe un porcentaje ligeramente mayor de limo carbonatado en la zona de predominio de la asociación de organismos productores de carbonato tipo 1 que sugiere una producción mayor de limo por parte de esta asociación. El sedimento clástico-carbonatado no ha sido representado debido a su bajo porcentaje (inferior al 5%).

El sedimento clástico-terrágeno más fino (figura 6.14-B) se distribuye principalmente por la mitad norte de la zona, sobre todo en las partes distales de los diferentes sistemas deltaicos y en las zonas donde la velocidad del flujo es más baja. También se puede encontrar en las zonas más profundas de la cuenca aunque con potencias menores.

Los sedimentos clástico-terrágenos medio y grueso (figura 6.15 A y B) son los que componen el cuerpo principal de los diferentes sistemas deltaicos, concentrándose el sedimento más grueso en las zonas proximales y el medio, en las zonas intermedias.

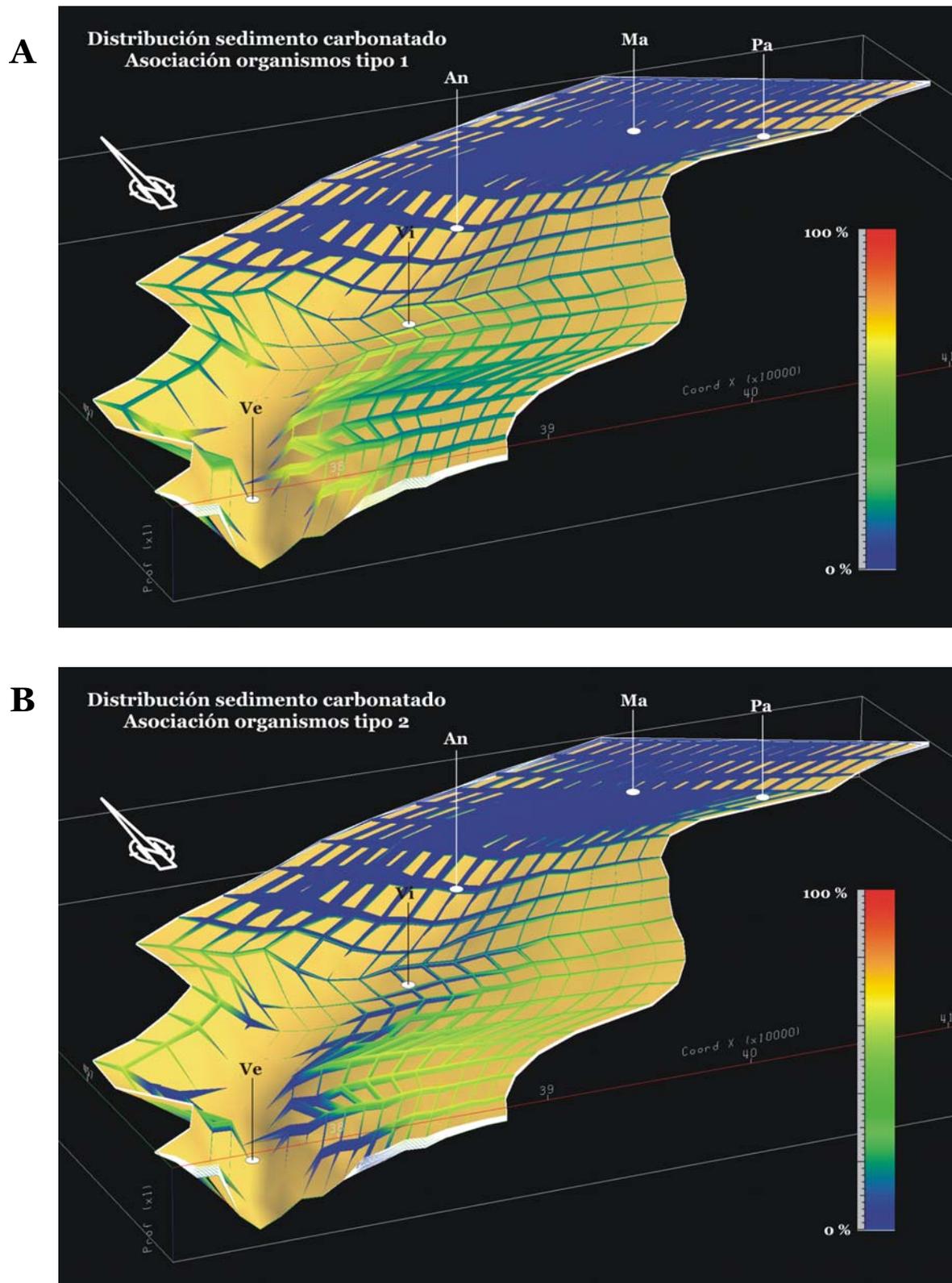


Figura 6.13.- Distribución obtenida para las dos asociaciones de organismos productores de carbonato consideradas en el experimento (**A**, tipo 1 y **B** tipo 2). La escala vertical está exagerada 50 veces. La escala de color indica el porcentaje que representa el sedimento considerado en cada punto de la cuenca.

*Distribution of carbonate sediment produced by type 1 organisms (A) and type 2 organisms (B). Vertical exaggeration 50x. Colour scale shows relative sediment distribution in %.*

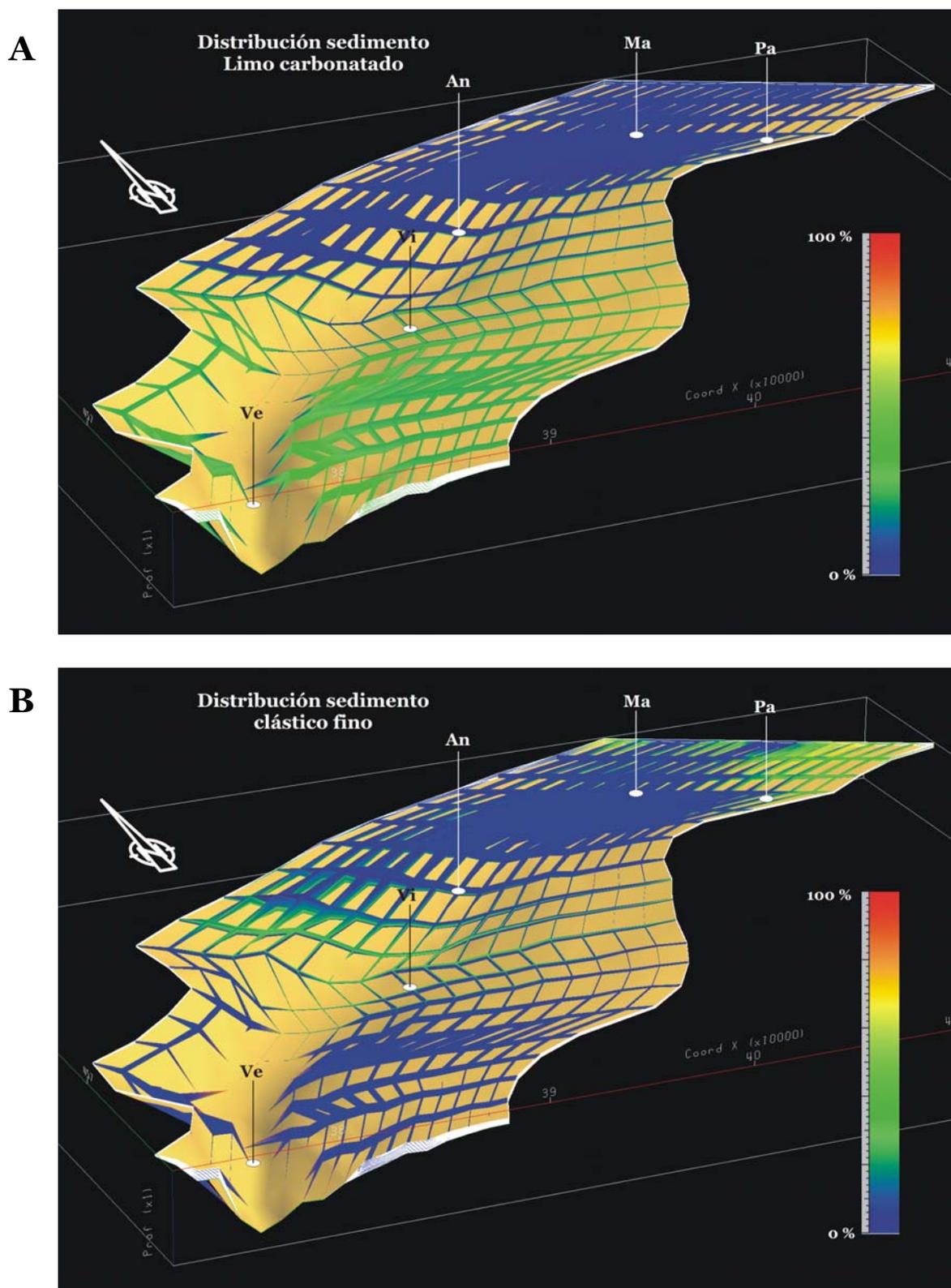


Figura 6.14.- Distribución obtenida para el limo carbonatado (**A**) y el sedimento clástico más fino, tipo 5 (**B**). La escala vertical está exagerada 50 veces. La escala de color indica el porcentaje que representa el sedimento considerado en cada punto de la cuenca.

*Distribution of lime mud carbonate produced in situ (A) and the finest siliciclastic sediment (B), type 5, deposited in the distal part of the deltaic systems. Vertical exaggeration 50x. Colour scale shows relative sediment distribution in %.*

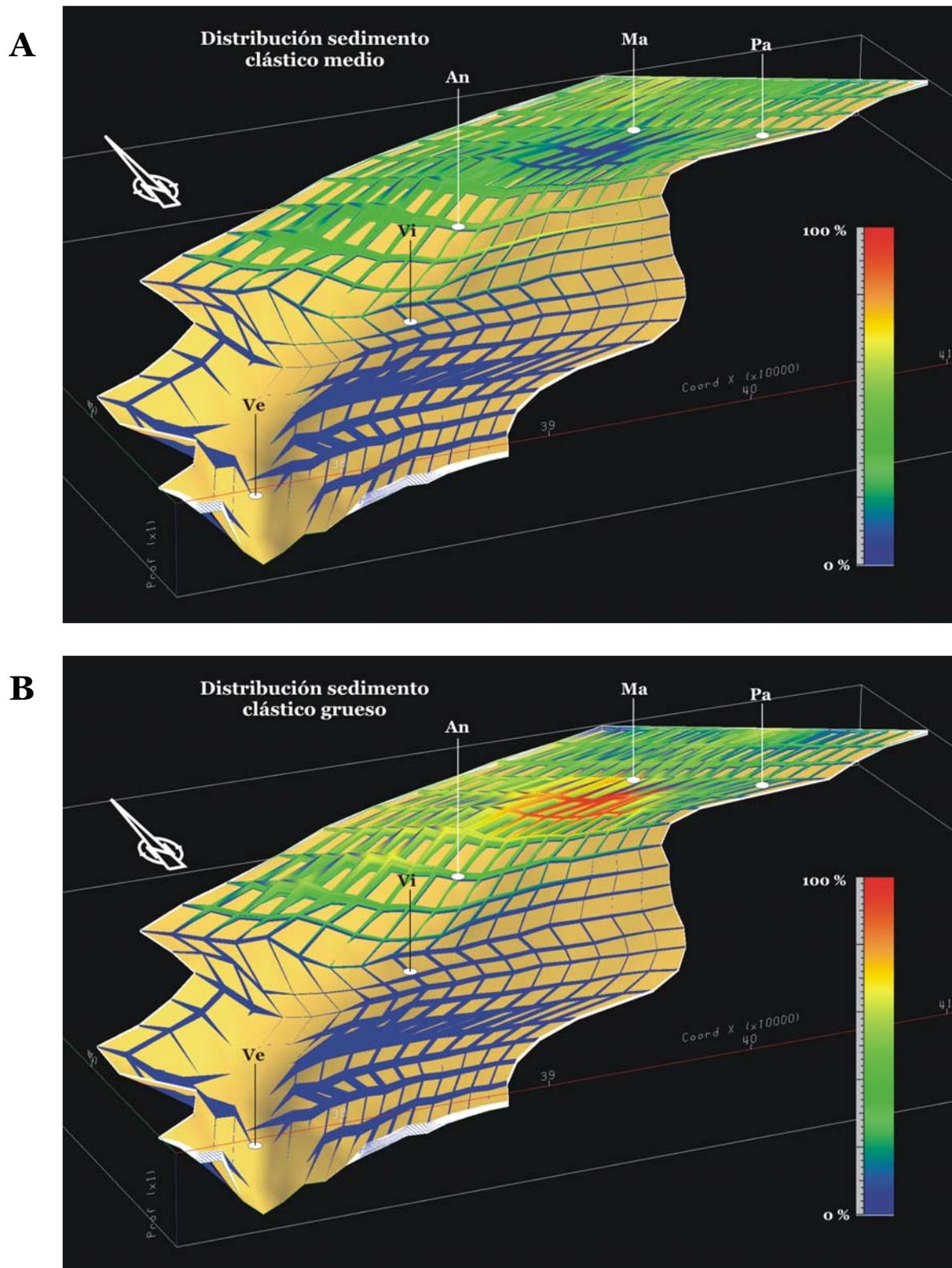


Figura 6.15.- **A.** Distribución obtenida para el sedimento clástico medio (tipo 7). **B.** Distribución para el sedimento clástico más grueso (tipo 8). La escala vertical está exagerada 50 veces. La escala de color indica el porcentaje que representa el sedimento considerado en cada punto de la cuenca.

*Distribution of medium grained clastic sediment type 7 (A) and the coarse grained clastic sediment type 8 (B). Vertical exaggeration 50x. Colour scale shows relative sediment distribution in %.*

En la figura 6.16 se puede apreciar una imagen más detallada de los sistemas carbonatados desarrollados en la zona S (zona del Horst del Garraf). En esta imagen se aprecia perfectamente como los sistemas carbonatados progradan hacia el interior de la cuenca (flechas azules) y su potencia disminuye en dirección NE a medida que aumenta la proporción de sedimento clástico-terrágeno que cubre los depósitos carbonatados anteriores y que proviene del NE hacia el SW (flecha amarilla).

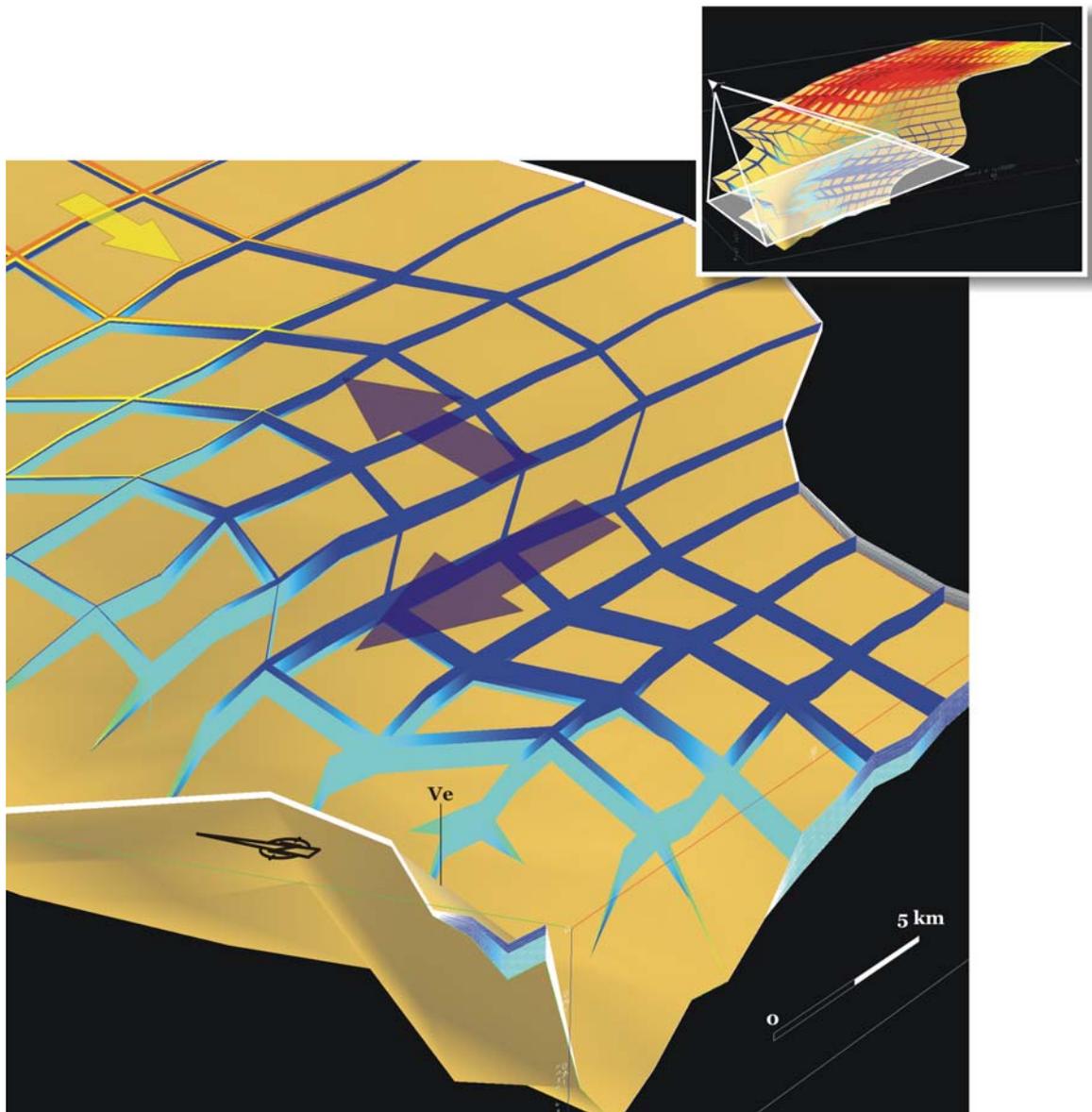
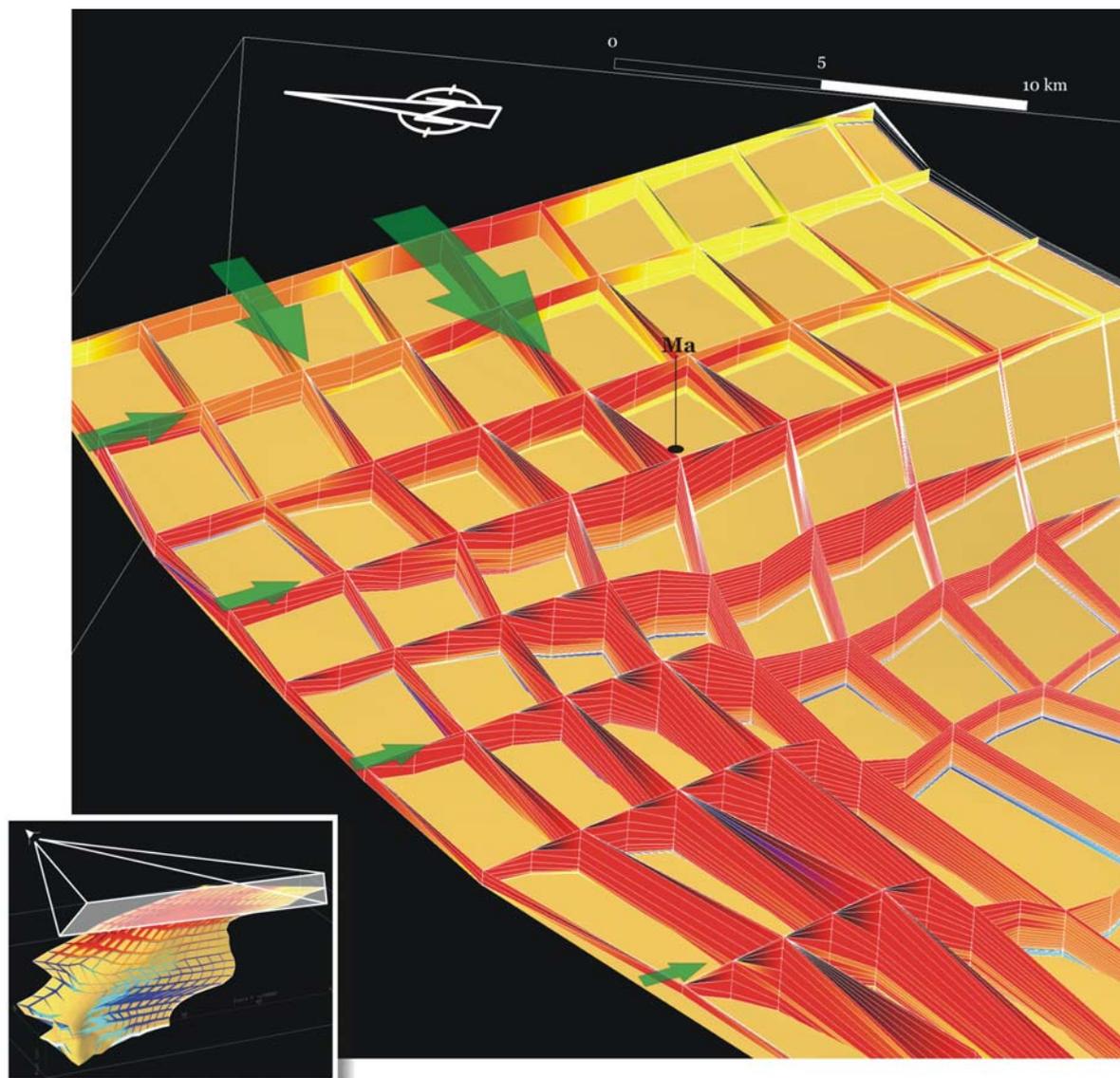


Figura 6.16.- Detalle de la región S (véase localización en la imagen general superior), donde predomina el sedimento carbonatado. Puede apreciarse como la plataforma carbonatada prograda hacia el interior de la cuenca y su potencia disminuye en dirección NE (flechas violetas) a medida que aumenta el porcentaje de sedimento clástico terrígeno (flecha amarilla). La escala vertical está exagerada 50 veces.

*Close-up view of the Southern basin region (see location in the upper right image) characterized by reefs build-ups. Note the basinward progradation of the carbonate platform. Carbonate thickness decreases towards NE (violet arrows) while siliciclastic sediment percentage increases (yellow arrow). Vertical exaggeration 50x.*



*Figura 6.17.-* Detalle de la región N (véase localización en la imagen general inferior), donde predomina el sedimento clástico-terrágeno. Se puede apreciar la progradación hacia el interior de la cuenca de los diferentes sistemas deltaicos (flechas verdes) y la arquitectura deposicional resultante de la interacción entre los mismos. También se puede ver como el sedimento clástico-terrágeno fosiliza los sedimentos carbonatados generados en etapas iniciales. La escala vertical está exagerada 50 veces.

*Close-up view of the Northern basin region (see location in the lower image) characterized by siliciclastic deltaic systems. Note the basinward progradation of the deltaic systems (green arrow) and the architecture complexity of the deposits due to the interaction between different deltaic systems. Clastic sediments overlaying previous carbonate deposits can be observed. Vertical exaggeration 50x.*

Si se observa la zona N en detalle (figura 6.17) con un predominio de sedimentos terrígenos, se aprecian las geometrías progradantes de los diferentes sistemas deltaicos desarrollados en los márgenes (flechas verdes) hacia el interior de la cuenca. Estos sistemas están compuestos principalmente por el sedimento más grueso que, lateralmente, pasa a sedimentos medios y más finos en las partes más distales. También

destaca la presencia de depósitos carbonatados que han sido fosilizados por los sedimentos clástico-terrágenos y que no han permitido su evolución.

En la figura 6.18 se ha representado el resultado final correspondiente al mismo experimento anterior pero sin considerar una entrada de sedimento clástico-terrágeno dentro de la cuenca. De este modo es posible comprobar cómo evolucionan los diferentes sistemas carbonatados sin la presencia de este sedimento terrígeno en suspensión.

Se observa como, en este caso, los diferentes sistemas carbonatados considerados ocupan la mayor parte de la cuenca, desde los 2 hasta los 55 m de profundidad, apreciándose también una zonación en función de la profundidad, siendo la asociación tipo 2 la más profunda y la 1 la menos profunda (hasta los 20 m aproximadamente). Las geometrías que se obtienen son similares a las observadas en el primer experimento, aunque, en este caso, no existe una disminución de la potencia en dirección NE.

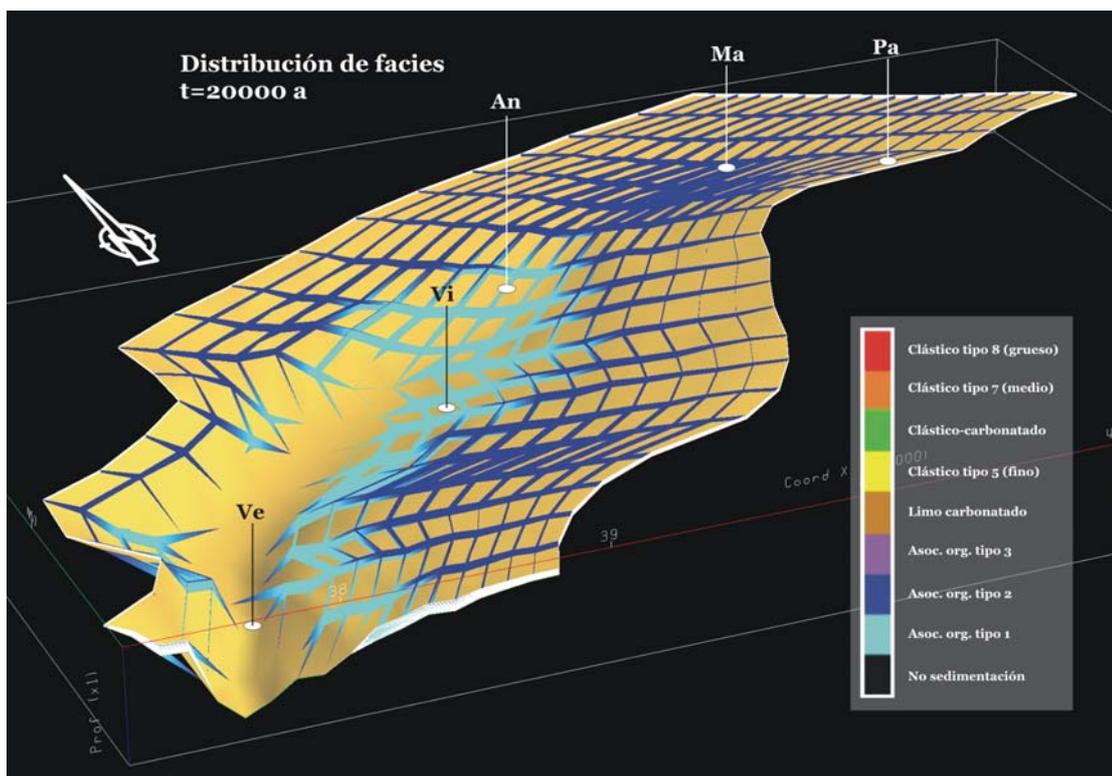


Figura 6.18.- Distribución de facies para el último intervalo de tiempo (20000 a) obtenida en el experimento sin considerar una entrada de sedimento clástico-terrágeno en la cuenca. Nótese como sólo predominan las dos facies correspondientes a las dos asociaciones de organismos productores de carbonato consideradas. La escala vertical está exagerada 50 veces.

*Fence diagram with facies distribution on time step 020 (20000 y) for the second experiment applied to the Vallès-Penedès basin considering only carbonate sediments in the basin. Note the dominance of only two facies corresponding to producing carbonate organisms. No siliciclastic sediments are considered to influence on the evolution of the carbonate systems. Vertical exaggeration 50x.*

### 6.2.4 Discusión de los resultados y conclusiones

Teniendo en cuenta las limitaciones propias del programa y, en consecuencia, las simplificaciones realizadas en el experimento, se puede afirmar que los resultados obtenidos, de un modo general, se aproximan a la paleogeografía establecida para el Langhiense (figura 6.19).

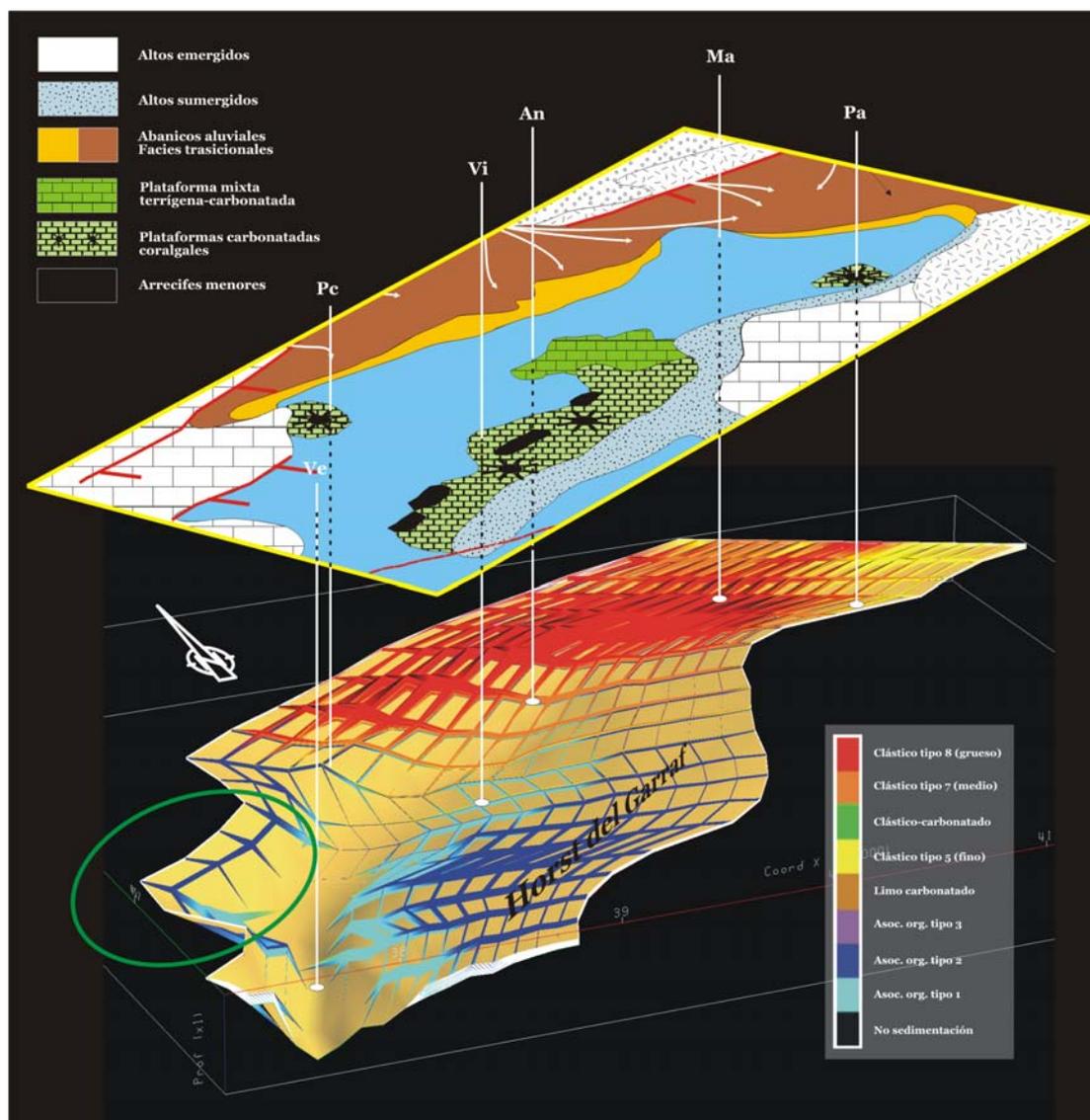


Figura 6.19.- Comparación de los resultados obtenidos para la modelización de la cuenca del Vallès-Penedès con la paleogeografía establecida para el Langhiense. Véase explicación en el texto. **An.** Sant Sadurní d'Anoia; **Ma.** Martorell; **Pa.** El Papiol; **Pc.** Pacs del Penedès; **Ve.** El Vendrell; **Vi.** Vilafranca.

*Comparison between the results obtained with the program SIMSAFADIM-CLASTIC and the paleogeography established for early Langhian time. Note that the modelled and the real basins are similar. Discrepancy is only found in the SW area where carbonate sedimentation predicted by the model (green circle) has not been observed in the field. This could be related to strong slopes caused by fault activity which do not provide stable substrate for organisms growth. Vertical exaggeration 50x. **An.** Sant Sadurní d'Anoia; **Ma.** Martorell; **Pa.** El Papiol; **Pc.** Pacs del Penedès; **Ve.** El Vendrell; **Vi.** Vilafranca.*

En este sentido, se puede apreciar como, en los dos casos, se diferencian dos regiones distintas (N y S) en función del sedimento predominante (clástico-terrágeno para la región N y carbonatado para la región S).

De un modo más detallado, puede verse como en la zona del Horst del Garraf se desarrollan complejos arrecifales (asoc. org. tipo 2) que progradan hacia el interior de la cuenca debido, principalmente, a una pendiente suave hacia el margen opuesto. Estas facies, comparables con las facies arrecifales descritas por Permanyer (1990), pasan lateralmente a las facies de rampa también descritas por el mismo autor y que corresponden a la asociación de organismos productores de carbonato tipo 1 (moluscos, bivalvos, algas, etc). Las facies más profundas pertenecientes a las margas de cuenca no han sido modelizadas en este experimento, aunque la presencia del sedimento terrígeno más fino en esta zona profunda sugeriría el posible desarrollo de dicha formación.

La geometría observada en los depósitos carbonatados actuales de la zona también presenta esta progradación hacia el interior de la cuenca y una disminución de la potencia en dirección NE, igual que lo observado en el modelo generado. Esta disminución se debe a la presencia de los sedimentos clástico-terrágenos que pueden inhibir el crecimiento normal de los sistemas carbonatados o, incluso, pueden llegar a hacer que desaparezcan. En este sentido, es importante destacar que no existen estudios que cuantifiquen, por ejemplo, la mortandad de organismos productores de carbonato por presencia de sedimentos clásticos en suspensión o la interacción entre diferentes especies y sus consecuencias, hecho que dificulta enormemente la correcta definición de los factores utilizados para tal efecto dentro del experimento. También es importante recordar la dificultad que existe en la actualidad en la correcta y precisa definición de los parámetros (oxígeno, salinidad, temperatura, nutrientes, etc.) que controlan y condicionan la evolución de un sistema carbonatado y que conllevan la generación de un u otro tipo de plataforma carbonatada (Pomar, 2001; Wright y Cherns, 2004).

Las potencias de estos depósitos carbonatados son inferiores a las observadas en la realidad, principalmente debido al tiempo total modelizado (20000 años), el cual es muy inferior al periodo transgresivo total estimado (aproximadamente 100000 años). También hay que considerar que las variaciones del nivel del mar y el basculamiento producido (y que provoca la asimetría de la cuenca) no han sido contemplados en el experimento. Estos factores podrían permitir un crecimiento mayor en potencia debido a un aumento del espacio de acomodación, mientras que en el experimento sólo pueden crecer, como máximo, la profundidad inicial establecida para el nivel de base.

Un punto crítico en los resultados obtenidos es el sistema carbonatado que se desarrolla en el margen NW frente al Horst del Garraf (círculo verde de la figura 6.19, cerca de la población de El Vendrell). En la realidad, este sistema carbonatado no se

observa por estar erosionado o por no haberse desarrollado. Una explicación la podría dar la presencia de una falla activa que se observa en la zona y que podría provocar un escarpe inestable y con fuertes pendientes complicando el desarrollo de cualquier sistema carbonatado.

Los arrecifes más aislados como los que se observan en la realidad en la zona de El Papiol, *Pa*, o la Zona de Pacs del Penedès, *Pc*, presentan en el modelo potencias muy reducidas (entre 1 y 3 m, respectivamente). Estas diferencias sugieren un aporte de sedimento clástico menor desde la zona axial (margen NE) y desde el margen NW próximo a la falla principal (zona de Pacs del Penedès) que permitirían un crecimiento mayor de los arrecifes. También hay que destacar, que las condiciones ambientales reales de carácter más puntual que se pueden dar (geometría exacta del nivel de base, etapas de tranquilidad sin aporte de sedimento entre dos avenidas, grado de aislamiento de la zona, entrada de pequeños torrentes, etc.) pueden condicionar el resultado final en zonas muy concretas y éstas no estarán contempladas en el experimento.

Los resultados obtenidos en el segundo experimento (sin considerar una entrada de sedimentos terrígenos) denotan una evolución de los diferentes sistemas carbonatados óptima, sin el efecto causado por la presencia del sedimento terrígeno en suspensión, y que permite el desarrollo de plataformas carbonatadas por toda la cuenca. Este hecho es importante, ya que ratifica la respuesta obtenida en el primer experimento y corrobora la fiabilidad del método presentado en la presente tesis.

La zona N, con el desarrollo de los sistemas deltaicos ligados a la actividad de la falla principal, queda bien representada en el resultado final. La distribución de facies que se observa es coherente con la realidad, obteniéndose diferentes sistemas deltaicos que progradan hacia el interior de la cuenca y con una actividad mayor de estos sistemas en el margen NE debido a un mayor aporte axial hacia la cuenca. Aunque la entrada de agua y sedimento se ha considerado constante en todo el periodo de cálculo (por lo tanto sin tener en cuenta, por ejemplo, grandes avenidas puntuales, o el cambio en el punto de desembocadura de un río, o una actividad fluvial diferencial debido a una respuesta diferencial a los fenómenos meteorológicos por parte de los sistemas aluviales), el resultado final responde de manera general a la realidad observada en los márgenes NE y NW.

Para finalizar, cabe indicar que los resultados del experimento centrado en la cuenca del Vallès-Penedès han cumplido con el objetivo principal propuesto. En este sentido, y aunque existen limitaciones importantes en el modelo generado, se ha podido comprobar la respuesta de los organismos productores de carbonato ante la presencia de sedimentos clástico-terrígenos en suspensión, generando depósitos carbonatados muy parecidos a los observados en la realidad y obteniéndose una arquitectura deposicional y una distribución de facies coherente y realista.