

## TREBALL FI DE CARRERA

### Títol

**EVOLUCIÓ GEODINÀMICA I SEDIMENTÀRIA DEL GOLF DE VALÈNCIA A PARTIR DE DADES SÍSMIQUES 3D**

### Autor/a

**MARC VIVES VIVES**

### Tutor/a

**JOSEP ANTONI MUÑOZ DE LA FUENTE**

### Departament

**GEODINÀMICA I GEOFÍSICA**

### Intensificació

**GEOFÍSICA**

### Data

**JUNY 2014**

## **AGRAÏMENTS**

Desitjo mostrar el meu agraïment a tots els professors, tant de la Universitat Politècnica de Catalunya com de la Universitat de Barcelona, que m'han transmès els coneixements necessaris per arribar a aquest punt final de la meva llicenciatura.

Vull citar particularment el meu tutor Josep Anton Muñoz de la Fuente, així com també, i molt especialment, en Pablo Martínez Granado, doncs els seus consells i ensenyaments durant el desenvolupament d'aquest treball m'han redirigit en nombroses ocasions vers la bona direcció.

## Resum

Es presenta un model estructural 3D de tres dels principals límits de seqüència sedimentària que configuren l'estratigrafia del Golf de València, així com també del seu sòl marí actual. Aquests mostren de forma directe el resultat de diverses etapes de l'evolució tectònica i sedimentària que ha tingut lloc en la regió, des de temps Paleozoics fins l'actualitat.

La modelització 3D de la base i el sostre de la seqüència sedimentària dipositada durant el *rifting* cenozoic, mostra unes superfícies en les que els sediments erosionats del relleu alpí han reblert uns espais d'acomodació controlats per l'activitat tectònica. La modelització de la discontinuïtat messiniana mostra amb detall el resultat de l'acció erosiva pròpia de sistemes fluvials, els quals van afectar la plataforma continental en condicions subaèries a causa del descens del nivell del mar. Finalment, la modelització del sòl marí actual mostra el resultat de vora 5 milions d'anys de progració marina, a causa de la connexió al mar d'aquestes mateixes xarxes de drenatge.

El Golf de València va ser objectiu de prospecció petrolera cap als anys seixanta, consolidant-se posteriorment com una de les zones productores de petroli més importants d'Espanya. Actualment segueix sent objecte d'investigació per part de la indústria energètica i les campanyes que s'hi desenvolupen, tals com el projecte Castor, són indicadors del interès que l'àrea segueix mantenint en l'actualitat. Com a resposta a aquest interès, l'objectiu del present treball consisteix en obtenir a partir de la modelització estructural 3D, una major comprensió de l'evolució geològica que hi ha tingut lloc, així com de la seva configuració estratigràfica actual.

## **Abstract**

3D structural model about three of the main Valencia Trough sedimentary sequences and its actual sea floor is presented. They show straightforwardly the result of different tectonic and sedimentary evolution steps affecting the region spanning Paleozoic to recent times.

3D modelling of the bottom and the top of the sedimentary sequence deposited during Cainozoic rifting, shows two surfaces whose accommodation spaces have been filled by eroded sediments from alpine relief. 3D modelling of the Messinian unconformity shows accurately the result of erosion activity typical of fluvial systems, which affected the continental platform under subaerial conditions due to sea level drawdown. Finally, 3D modelling of actual sea floor shows the result of 5 million years marine progradation, caused by sea connexion of fluvial systems.

The Valencia Trough was aimed in the sixties by petroleum exploration, becoming afterwards one of the main Spanish oil-producing places. Nowadays, the region is still being explored by energy industry and programs that are developed, such as Castor project, implies the interest that the region is still keeping. To react from this interest, the aim of the present report consists of shedding light on the geologic evolution comprehension of the region from 3D structural model.

## ÍNDEX DE CONTINGUTS

	Pàg.
ÍNDEX DE FIGURES.....	8
ÍNDEX DE SIGLES I ABREVIATURES.....	10
INTRODUCCIÓ.....	11
<b>1. Context geològic.....</b>	<b>13</b>
1.1. Geologia del NO de la conca mediterrània.....	13
1.2. Geologia del Golf de València.....	15
1.2.1. Descripció geodinàmica.....	15
1.2.2. Descripció sedimentària.....	15
1.2.3. Recursos fòssils.....	19
<b>2. Dades i metodologia de treball.....</b>	<b>20</b>
2.1. Sísmica 3D.....	20
2.2. Sondeig Fornax-1.....	21
2.3. Relació espai - temps del sondeig Fornax-1.....	22
2.4. <i>Well logs</i> geofísics.....	22
2.4.1. Radiació Gamma ( RG ).....	23
2.4.2. <i>Sonic</i> .....	23
2.4.3. Densitat.....	23
2.4.4. Registre neutrònic.....	23
2.4.5. Resistivitat.....	24
2.5. Metodologia de treball.....	24

<b>3. Resultats</b> .....	25
3.1. Interpretació estratigràfica dels <i>well logs</i> geofísics.....	25
3.1.1. Radiació Gamma.....	27
3.1.2. <i>Sonic</i> .....	28
3.1.3. Densitat.....	30
3.1.4. Registre neutrònic.....	31
3.1.5. Resistivitat.....	32
3.2. Límits de seqüència.....	34
3.2.1. Base del <i>synrift</i> .....	36
3.2.2. Base del <i>postrift</i> .....	37
3.2.3. Discontinuitat messiniana.....	37
3.2.4. Sòl marí.....	39
3.3. Estratigrafia sísmica.....	40
3.3.1. Sòcol paleozoic - mesozoic.....	40
3.3.2. Seqüència <i>synrift</i> .....	41
3.3.3. Base del <i>postrift</i> - Discontinuitat messiniana.....	42
3.3.4. Grup Ebre.....	42
3.4. Model estructural 3D dels límits de seqüència.....	44
3.4.1 Base del <i>synrift</i> .....	44
3.4.2 Base del <i>postrift</i> .....	46
3.4.3 Discontinuitat messiniana.....	48
3.4.4 Sòl marí.....	49
<b>4. Discussió</b> .....	51
<b>5. Conclusió</b> .....	53

<b>6. Referències.....</b>	<b>55</b>
----------------------------	-----------

## ÍNDIX DE FIGURES

Fig. 1. Mapa actual de la tectònica simplificada del TOCM.....	11
Fig. 2. Model cinemàtic de l'evolució del TOCM.....	15
Fig. 3. Columna estratigràfica teòrica del Golf de València.....	16
Fig. 4. Mapa actual mostrant la localització geogràfica de la sísmica 3D.....	21
Fig. 5. Corba de la relació espai - temps del sondeig Formax-1.....	22
Fig. 6. Traçat dels <i>logs</i> geofísics en TVDSS.....	26
Fig. 7. Traçat dels <i>logs</i> geofísics en TWT .....	26
Fig. 8. Perfil sísmic mostrant el <i>log</i> RG.....	28
Fig. 9. Perfil sísmic mostrant els <i>sonic logs</i> en la Formació Amposta.....	29
Fig. 10. Perfil sísmic mostrant els <i>sonic logs</i> en la Formació Gresos del Ebre.....	29
Fig. 11. Ampliació del <i>log</i> densitat .....	30
Fig. 12. Ampliació del registre neutrònic.....	31
Fig. 13. Perfil sísmic mostrant els <i>logs</i> densitat i registre neutrònic.....	32
Fig. 14. Ampliació del <i>log</i> resistivitat.....	33
Fig. 15. Perfil sísmic mostrant el <i>log</i> resistivitat.....	34
Fig. 16. Perfil sísmic mostrant els límits de seqüència interpretats ( <i>crossline</i> ).....	35
Fig. 17. Perfil sísmic mostrant els límits de seqüència interpretats ( <i>inline</i> ).....	35
Fig. 18. Perfil sísmic mostrant els <i>rifts</i> mesozoic i cenozoic.....	36
Fig. 19. Perfil sísmic mostrant la base i el sostre del <i>synrift</i> .....	37
Fig. 20. Perfil sísmic mostrant la discontinuïtat messiniana.....	38
Fig. 21. Perfil sísmic mostrant els sediments del Miocè Superior.....	39
Fig. 22. Perfil sísmic mostrant el sòl marí.....	40
Fig. 23. Perfil sísmic mostrant fàcies sísmiques del <i>rift</i> mesozoic.....	41
Fig. 24. Perfil sísmic mostrant la disposició del <i>foresets</i> del Grup Ebre.....	43



Fig. 25. Perfil sísmic mostrant els <i>breakpoints</i> de les sèries del Grup Ebre.....	43
Fig. 26. Perfil sísmic mostrant l'erosió de canals fluvials en el Grup Ebre.....	44
Fig. 27. Model estructural 3D de la base del <i>synrift</i> ( orientació nord ).....	45
Fig. 28. Model estructural 3D de la base del <i>synrift</i> ( orientació sud ).....	46
Fig. 29. Model estructural 3D de la base del <i>postrift</i> ( orientació nord ).....	47
Fig. 30. Model estructural 3D de la base del <i>postrift</i> ( orientació sud ).....	47
Fig. 31. Model estructural 3D de la discontinuïtat messiniana ( orientació nord ).....	48
Fig. 32. Model estructural 3D de la discontinuïtat messiniana ( orientació sud ).....	49
Fig. 33. Model estructural 3D del sòl marí ( orientació nord ).....	50
Fig. 34. Model estructural 3D del sòl marí ( orientació sud ).....	50

## **ÍNDEX DE SIGLES I ABREVIATURES**

API: *American Petroleum Institute units*

DT4P: *Delta-T Compressional - Monopole P&S*

IH: *Índex d'Hidrogen*

MD: *Measure Depth*

MMBO: *Million Barrels of Oil*

TR: *True formation Resistivity*

NPHI: *Neutron Porosity Hydrogen Index*

RG: *Radiació Gamma*

RHOZ: *HRDD Standard Resolution Formation Density*

TOCM: *Tram Oest de la Conca Mediterrània*

DTS: *Shear Wave Slowness*

TVDSS: *True Vertical Depth SubSea*

TWT: *Two Way Travel Time*

## Introducció

El Golf de València conforma una part del tram oest de la conca mediterrània (TOCM) la qual consta d'uns 821300 km<sup>2</sup>, és a dir, un terç del total, i cobreix un conjunt de conques de caràcter tectònic extensional emmarcades en el sistema orogènic alpí. A nivell regional, aquestes es poden subdividir cronològicament en dos grups atenent al inici del seu període de desenvolupament (ROCA, 2001) (Fig. 1):

-La regió nord - occidental, la qual va començar a formar-se durant l'Oligocè Superior. Inclou les conques d'Alboran, de Lígur - Provença i el Golf de València.

-La regió central, que va començar a formar-se posteriorment. Inclou la conca d'Algèria durant el Miocè Mitjà i la conca de Tirrena durant el Pliocè i el Pleistocè.

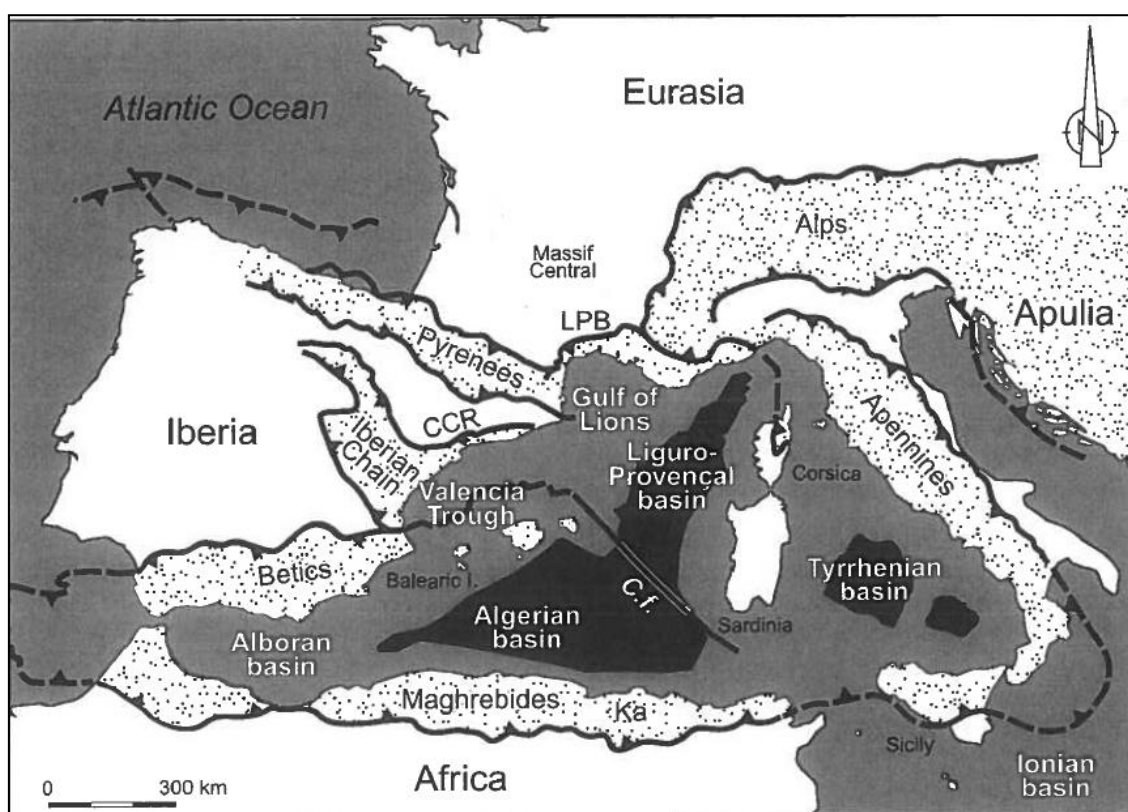


Fig. 1. Mapa actual de la tectònica simplificada del TOCM. CCR: Cadena Litoral Catalana. LPB: Encavalcament de Llenguadoc - Provença. Ka: Cabília. C.f.: Falla catalana direccional dextra i transformant. En el mapa s'observa com el TOCM roman totalment inscrit dins d'un conjunt de sistemes muntanyosos conegut com Arc Alpí, encara actiu actualment en certs trams. L'àrea en negre que s'observa en el TOCM correspon al sòl marí constituït per escorça oceànica. Font: ROCA, 2001.

La comprensió de l'evolució geològica que ha tingut lloc al Golf de València és interessant, donat que la zona ha estat durant dècades objecte de prospecció i

d'explotació petrolera, i encara en l'actualitat, nombroses campanyes d'investigació s'hi duen a terme. L'objectiu del present treball es basa doncs en aportar llum a aquesta comprensió, des de la perspectiva de la modelització en 3D d'un conjunt de límits de seqüència sedimentària que componen la seva estratigrafia. Aquests són la base i el sostre dels sediments dipositats durant el *rifting* cenozoic i la discontinuïtat estratigràfica originada durant la crisi del messinià. S'ha modalitzat també el sostre actual del conjunt de sediments neògens constituït pel sòl marí. Els models obtinguts són el resultat de l'anàlisi i interpretació d'un seguit de dades tant de caràcter geològic com geofísic pertanyents a la zona.

Prèviament a l'anàlisi de les dades disponibles, és necessari obtenir una visió general de l'evolució geològica de tot el TOCM, tant a nivell tectònic com sedimentari, ja que aquesta marca les directrius comunes de formació del conjunt de conques, més endavant es particularitzarà l'estudi a escala local en el Golf de València, a fi de caracteritzar amb més detall la nostra àrea d'interès.

## 1. Context geològic

### 1.1. Geologia del NO de la conca mediterrània

El TOCM s'ha desenvolupat sobre escorça continental consolidada durant l'orogènia herciniana, extesa durant les diferents fases de *rifting* mesozoic i engruixida per la col·lisió subductiva de la placa Africana sota la Ibèrica i l'Euroasiàtica, la qual va originar el relleu alpí. La formació del TOCM es deu a aquesta col·lisió subductiva, tanmateix, els mecanismes que han participat en la formació de les diferents subconques que el conformen són diversos i encara subjectes a certa controvèrsia, entre ells s'hi destaca el *rifting* intracontinental, l'extensió per *backarc*, delaminació de l'escorça, col·lapse orogènic, així com també dissociació litosfèrica en processos de subducció de plaques (ROCA, 2001).

Es considera que amb l'obertura de la conca de Lígur - Provença en l'Eocè Superior neix el TOCM, aquesta és interpretada com una conca de *backarc*, resultatada d'un procés de *rollback* de la placa en subducció, el retrocés de la qual serà de fins 1500km vers el SSE. Per altra banda, l'aproximació entre les diferents plaques tectòniques implicarà el tancament progressiu del Tethys Alpí (MOINE, 2010).

L'aprimament de l'escorça en la conca de Lígur - Provença es produeix com a resultat del *rifting* cenozoic, el qual cal diferenciar del *rifting* mesozoic, que prèviament també havia afectat la regió, tot donant lloc a l'extensió i connexió del Tethys amb el recent oceà Atlàntic.

La inestabilitat generada pels moviments extensius del Cenozoic va fragmentar el sistema muntanyós Pirinenc - Provençal alçat durant l'orogènia Alpina. En conseqüència, es va produir el desplaçament dels blocs Cors i Sard, així com també dels de Cabília - Peloritencs i Calàbria, tots ells movent-se cap al SE, tot i que aquest segon grup a major distància. En canvi, el bloc d'Alboran va derivar cap al SO. El bloc baleàric es va desplaçar lleugerament cap al SE, sent bloquejat però per una falla. En el cas de la progressió dels blocs Cors i Sard, és l'obertura de la conca de Tirrena la que en va frenar l'avanç (MICHON, 2000; MOINE, 2010).

L'extensió del *rift* cenozoic ha estat diacrònica, tot propagant-se cap al SO i al SE, va començar a afectar al sud de França en l'Eocè Superior i al Golf de València en el Catià Superior. Igualment gradual va ser el final de la seva activitat tectònica, la qual data de l'Aquitanià Superior- Burdigalià Inferior al sud de França i del Burdigalià Superior en el Golf de València (ROCA, 2001).

El registre estratigràfic del TOCM pot dividir-se en tres megaseqüències atenent a les seves dues principals discordances: el sòcol Hercinià, els sediments mesozoics i el rebliment cenozoic.

-Sòcol Hercinià: consisteix en gruixos importants de sediments que daten des del Cambrià fins al Carbonífer, així com en roques metamòrfiques. El conjunt presenta importants deformacions i intrusions plutòniques principalment d'edat carbonífera - permiana, resultat de la formació de la Serralada Herciniana (CLAVELL i BERASTEGUI, 1991; ROCA, 2001).

-Sediments mesozoics: el conjunt triàsic es disposa discordantment sobre les roques paleozoiques, en ell hi és ben present la successió de sediments siliciclàstics, carbonatats, evaporítics i margosos, testimonis d'un ambient continental de transició lligat a l'activitat de *rifting*. Del Juràssic fins al Cretaci Inferior s'hi identifiquen diverses successions de roques carbonatades, sovint amb presència de paleocarsts. Fàcies molt similars s'han trobat tant *onshore* com *offshore* (ROCA, 2001).

-Rebliment cenozoic: l'erosió dels materials alçats per l'episodi orogènic alpí va originar una important discontinuïtat estratigràfica. Posteriorment, la tectònica d'extensió va donar lloc a un sistema de *halfgrabens* d'orientació NE que seran reblerts pels materials erosionats. Són però les sèries sedimentàries de *postrift* les que conformen la major part del conjunt sedimentari cenozoic del TOCM. L'espai d'acomodació estava controlat per la subsidència tèrmica, així com per les variacions del nivell del mar. Per altra banda, el desenvolupament de sistemes de drenatge majors tals com les conques del Roine o del Ebre varen afavorir la progradació de sediments per damunt de les sèries de *synrift* fins l'actualitat (ROCA, 2001).

Durant la crisi del messinià, la forta baixada de la cota d'aigua va implicar la dessecació completa de la major part del TOCM, aquest fenomen va provocar el desplaçament vers la conca de diferents ambients sedimentaris lligats a xarxes de drenatge amb connexió al mar (URGELES *et al.*, 2011). Es dóna com a hipòtesis que la causa principal de la crisi va ser el tancament progressiu de la connexió entre el Mediterrani i l'Atlàntic degut al prisma d'acreció associat a la col·lisió entre les plaques Africana i Ibèrica. L'estat avançat de dessecació va provocar diferents cicles de deposició d'evaporites a causa d'entrades periòdiques d'aigua des de l'oceà Atlàntic. Durant les èpoques pliocena i pleistocena, les salts dipositades es van veure afectades per moviments halocinètics en moltes regions del TOCM (MOINE, 2010).

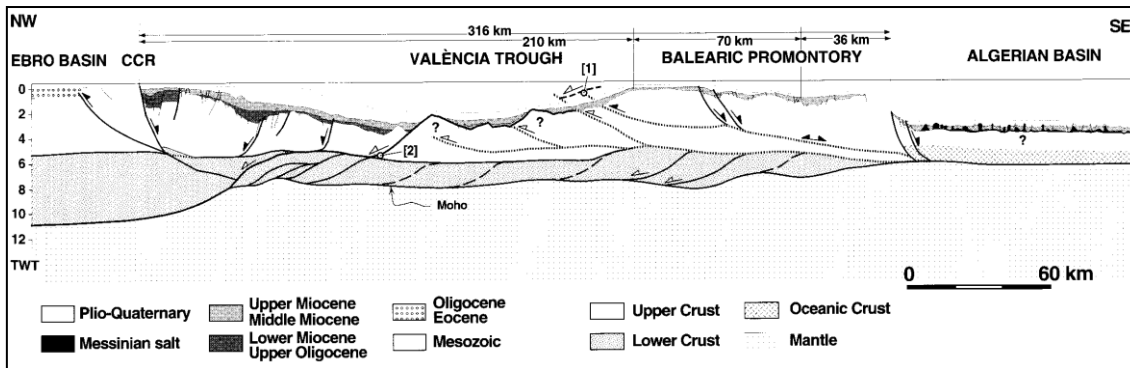


Fig. 2. Model cinemàtic de l'evolució del TOCM. S'observa com les salts messinians es van dipositar preferentment en les subconques més profundes del TOCM (conca d'Algèria) per contra, és en subconques com la del Golf de València on les seqüències miocenes presenten un gruix important, l'existència de les quals és dubtosa en les conques on s'hi ha donat formació d'escorça oceànica (interrogant en la conca d'Algèria). Font: VERGÉS i SÀBAT, 1999.

## 1.2. Geologia del Golf de València

A continuació es descriu a escala local els processos geològics que han afectat al Golf de València, tant des de la perspectiva tectònica com sedimentària. Aquesta descripció s'aborda amb més detall que la realitzada a nivell de tot el TOCM de cara a caracteritzar especialment la nostra àrea d'interès.

### 1.2.1. Descripció geodinàmica

La configuració estructural del Golf de València és conseqüència de l'activitat tectònica de caràcter extensional que va afectar al TOCM durant el Neogen. Entre els factors que van participar en aquesta activitat, és la progressió del *rift* cenozoic la que ha tingut un paper fonamental.

El *rift* cenozoic va començar a afectar al nord del Golf de València a finals del Catià i principis de l'Aquitanià, més endavant les seves parts central i sud en van quedar afectades a finals de l'Aquitanià i principis del Burdigalià. En el cas concret del Golf de València, l'extensió es prolongà durant 7 Ma, que amb una taxa local de propagació d'entre 27 - 32 mm/any, representa una extensió d'entre 189 - 225.5 km (ROCA, 2001).

### 1.2.2. Descripció sedimentària

La successió estratigràfica present al Golf de València segueix les mateixes directrius que la descrita a nivell regional a tot el TOCM. A fi de particularitzar les

característiques que es presenten a nivell local, a continuació s'exposa una columna estratigràfica teòrica pertanyent a l'àrea d'estudi (Fig. 3).

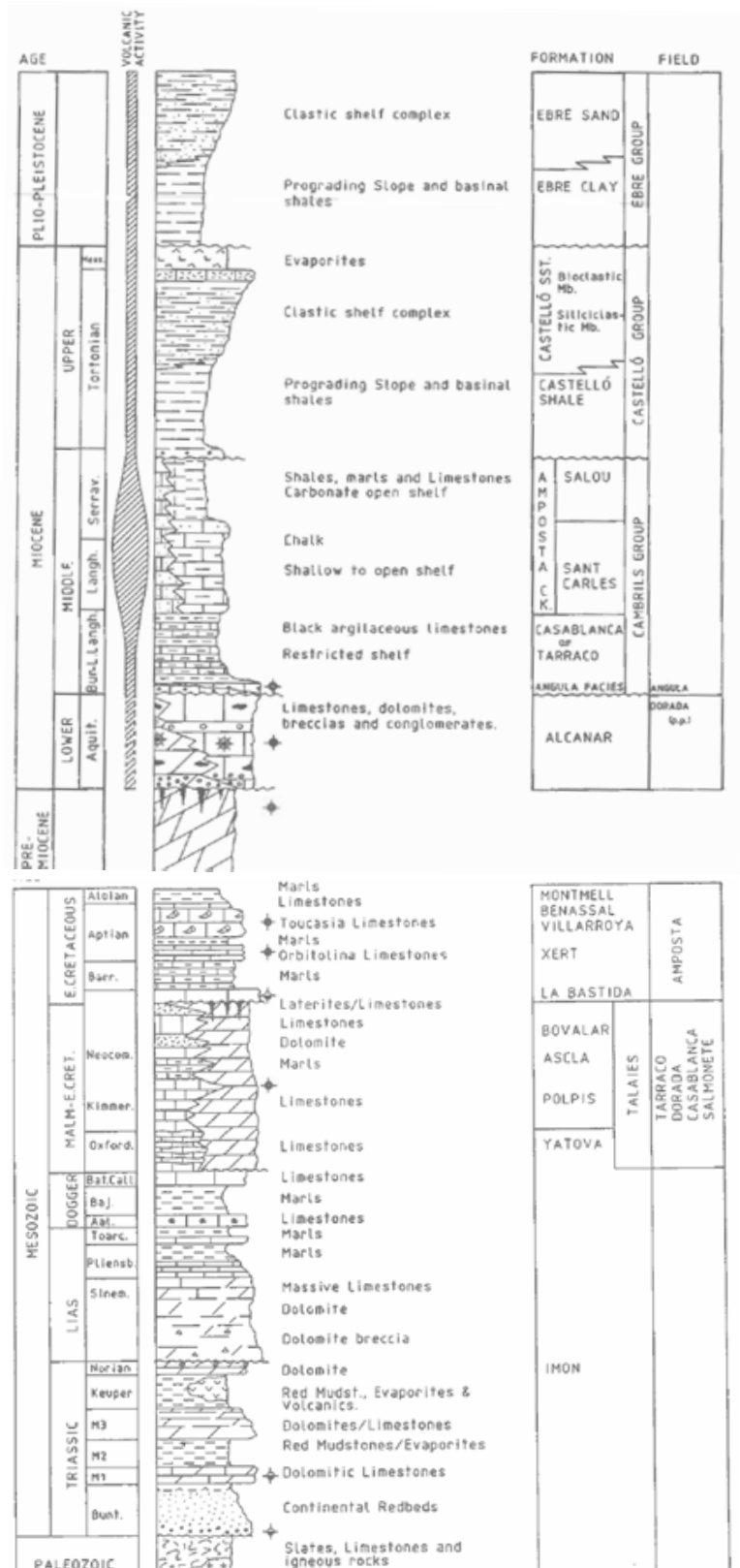


Fig. 3. Columna estratigràfica teòrica del Golf de València. S'observa atenent als canvis de fàcies que durant el Miocè Mitjà hi ha hagut un



fenomen de transgressió marina, seguit per progració fluvial en el Miocè Superior i sobretot durant el Pliocè i Pleistocè. Les formacions carbonatades del Mesozoic Superior i del Aquitània consten de paleocarsts segons els autors. Font: CLAVELL i BERASTEGUI, 1991.

La descripció sedimentària de les formacions cenozoiques que es mostra a continuació, és un resum de la realitzada per *Operaciones Geológicas/BG Group*, 2005. a partir del sondeig Fornax-1 (situat a uns 40 km en direcció SE respecte la desembocadura de l'actual riu Ebre). Aquesta descripció difereix en el Grup Cambrils (també anomenat Grup Alcanar) de la presentada en la columna anterior (Fig. 2) degut a uns criteris de classificació diferents dels autors i al caràcter teòric de la columna.

-Formació Tarraco o Casablanca (Grup Alcanar): està composta per gresos amb intercalacions de làmines de lutites, pissarres i calcàries.

El gres consta de grans de mida fina - mitja, subangulosos i mal classificats. S'hi observa ciment calcari - dolomític. La roca mostra sovint clasts flotants en la matriu, alguns d'origen biòtic, així com traces de glauconita principalment en el tram superior, la qual és un mineral indicador de sedimentació en plataforma continental amb condicions reductores. La porositat és molt baixa.

Les lutites són endurides i compactes. La seva matriu és calcària i localment dolomítica. S'hi observa freqüentment sorra fina.

Les pissarres són de composició predominantment calcària.

La calcària conté fragments discontinus de glauconita i foraminífers en una matriu criptocristal·lina, la qual presenta evidències d'haver sigut retreballada. La porositat és molt baixa.

Daten del Languià i es situen entre -3186.1m i -3209.1m respecte el sol marí.

-Formació Amposta (Grup Alcanar): descrita com la unitat reservori, està formada per calcària massiva amb porositat baixa, la seva classificació és variable en termes de suport de matriu criptocristal·lina. A nivell de composició, consta principalment de partícules fòssils i de grans de calcària processats. Localment s'hi observen biocalcarenites. La part basal de la formació està parcialment dolomititzada. Presència de ciment de composició variable amb alguns dipòsits orgànics alquitranats. De nou apareixen traces discretes de glauconita.

Daten des del Serraval·lià i es situen entre -3047.6m i -3186.1m respecte el sol marí.

-Formació Margues de Sant Carles (Grup Alcanar): la formació està composta per pissarra i calcària amb nombroses intercalacions de lutites i sorres.

Les pissarres són de litologia calcària i presenten canvis graduals de fàcies cap a margues. S'hi detecta un cert contingut en llim, el qual és més abundant a mesura que es descendeix en l'estrat. S'hi observen també traces de material carbonós, glauconita i foraminífers

Les lutites estan endurides i compactes i consten d'una matriu sorrenca i calcària. S'observen petits fragments carbonosos.

El gres està compost de grans de mida fina, mal classificats i de morfologia angular. Presenta ciment de calcita amb suplement de material argilós. S'observa material carbonós i taques ferruginoses.

Daten del Serraval·lià i es situen entre -2878.1 m i -3047.6m respecte el sòl marí.

-Formació Gresos de Salou (Grup Castelló): la seva composició és predominantment sorrenca - argilosa.

Els grans de sorra estan mal classificats i amb grau d'arrodoniment variable. El ciment és de calcita amb llim intersticial. El material argilós és localment abundant, sovint suportant els grans de sorra. La porositat és molt baixa. S'observen traces de glauconita i de matèria carbonosa, així com canvis de fàcies graduals a lutites i pissarres sorrenques.

Daten del Tortonià i es situen entre -2837.1m i -2878.1m respecte el sòl marí.

-Formació *shales* de Castelló (Grup Castelló): la formació està composta per *shales* amb intercalacions de làmines de llim i sorra.

Les *shales* són de litologia calcària. S'hi observen foraminífers i material carbonós.

El llim és disgregable amb matriu calcària. S'hi presenten traces de fragments carbonosos pirititzats.

La sorra és disgregable i els seus grans són de mida fina, mal classificats i de morfologia variable. La seva composició és quarsítica. Presenten argila intersticial i ciment de calcita. La porositat és molt baixa. S'observen traces de glauconita.

Daten del Tortonià i es situen entre -2566.1 m i -2837.1m respecte el sòl marí.

-Formació Gresos de Castelló (Grup Castelló): la formació està composta principalment per gresos i pissarres.

El gres consta de grans de mida fina, equigranulars, subarrodonits i mal classificats. El ciment està constituït majoritàriament per calcita i argiles, permetent una porositat molt baixa. La litologia dels grans és quarsítica. Hi ha traces de matèria carbonosa i taques ferruginoses.

Les pissarres són de composició calcària amb baix contingut en llim. S'observen freqüents taques ferruginoses i presència de limonita.

Daten del Tortonian i es situen entre -2524.1 m i -2566.1m respecte el sòl marí.

-Formació Pissarres del Ebre (Grup Ebre): conjunt majoritàriament constituït per pissarres i lutites amb intercalacions de gres de poca potència.

Les pissarres presenten ciment calcari amb un contingut menor en llim. S'hi observen a més grans de glauconita i fragments carbonosos pirititzats.

Les lutites són de litologia calcària, poc compactes i amb traces de glauconita i de fragments carbonosos.

Els grans de les capes de gres estan mal classificats i són subangulars i de mida fina. Presenten ciment de calcita localment ben desenvolupat, amb trams argilosos i llimosos. S'observen traces de matèria carbonosa pirititzada.

Daten del Pliocè i es situen entre -930.6 m i -2524.1 m respecte el sòl marí.

-Formació Gresos del Ebre (Grup Ebre): de granulometria general fina, es basa en intercalacions de làmines de gres entre pissarres massives.

Les pissarres consten d'un elevat component calcari amb fragments carbonosos pirititzats i grans de glauconita. Els gresos són de mida de gra fina, morfologia subangulosa, mal classificats i de composició quarsítica. Presenten un ciment escàs i constituït per material calcari, complementat per argiles.

Daten del Pleistocè i es situen entre -757.1 m a -930.6 m respecte el sòl marí.

### **1.2.3. Recursos fòssils**

Les campanyes d'exploració petrolera a Espanya es van focalitzar cap als anys seixanta en la plataforma continental del Golf de València, consolidant-se posteriorment com la

zona productora de petroli més important d'Espanya. En l'agost de 1970, s'estimaren les reserves recuperables d'aproximadament 250 mmbo, tot i així, no es va descobrir cap font de gas comercial (CLAVELL i BERASTEGUI, 1991).

Els sediments continentals pertanyents al període *synrift* d'edat aquitaniana i burdigaliana es van dipositar principalment als marges de conca, aquests havien sigut transportats a través de ventalls deltaics, els quals dipositaven material clàstic en ambient marí somer. En el cas concret del Golf de València, aquests sediments eren rics en matèria orgànica (ROCA, 2001). Les roques sedimentàries que es van originar pertanyen a la Formació de Casablanca o Tarraco (segons la classificació de CLAVELL i BERASTEGUI, 1991) (Fig. 3) i han constituït la roca mare del conjunt d'hidrocarburs explotats en el Golf de València (CLAVELL i BERASTEGUI, 1991).

En el Miocè Superior i en el Pliocè, les condicions de pressió i de temperatura van ser suficientment elevades per a que els hidrocarburs generats en la roca mare migressin, els quals van constituir els principals reservoris productors en els carbonats del Mesozoic Superior, en la Formació Alcanar i en els conglomerats i les bretxes de la base de la Formació Casablanca. Les trampes són de tipus estructural - paleogeomorfològic i la porositat s'ha originat per fracturació i carstificació. Aquests reservoris han sigut ja explotats en l'actualitat. (CLAVELL i BERASTEGUI, 1991).

## **2. Dades i metodologia de treball**

Diverses regions ubicades al Golf de València han sigut objecte de vàries campanyes de prospecció a fi de determinar-ne el possible contingut en hidrocarburs. A continuació s'exposen les dades obtingudes per aquestes campanyes que han sigut analitzades en suport informàtic al llarg d'aquest treball.

### **2.1. Sísmica 3D**

La sísmica 3D ha estat obtinguda en una àrea de geometria rectangular situada al SE de la desembocadura del riu Ebre, aquesta cobreix una superfície total de 2962.98km<sup>2</sup>. El nombre total de *crosslines* que la integren és de 2511 i el de *inlines* de 1888, entre cada una d'elles hi ha una separació de 25m. La profunditat màxima que cobreix és de 6998 mseg. TWT (-16111.87m TVDSS) (Fig. 4).

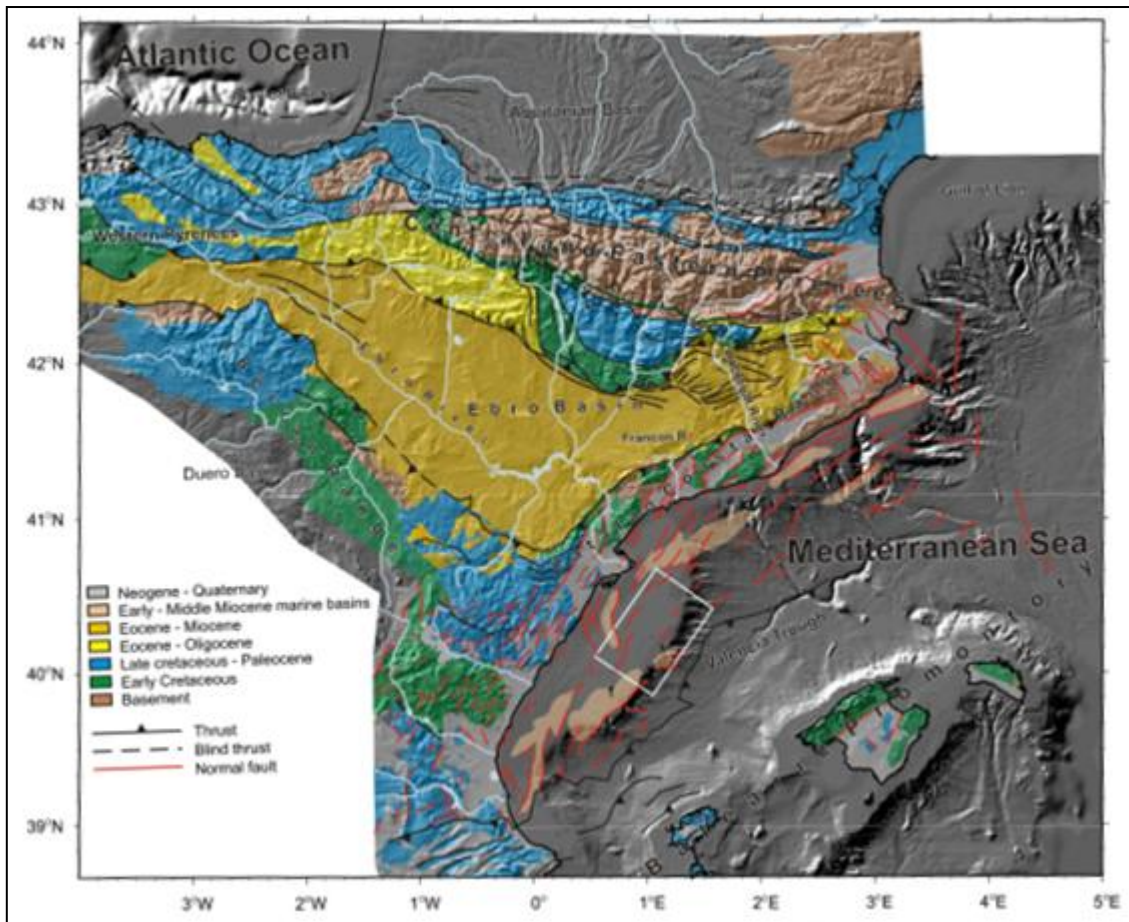


Fig. 4. Mapa actual mostrant la localització geogràfica de la sísmica 3D. Els diversos colors corresponen a la cronologia dels sediments trobats en la part *onshore* dels continents. El requadre en blanc correspon als contorns de la sísmica 3D. S'observa com aquest engloba part de la plataforma continental i del talús abissal. Font: URGELERS *et al.* 2011.

## 2.2. Sondeig Fornax-1

Situat aproximadament a uns 40 km en direcció SE respecte la desembocadura de l'actual riu Ebre, l'objectiu pel qual va ser realitzat es basa en l'estudi d'una rampa carbonatada del Miocè Mitjà, la qual es solapa sobre el flanc occidental d'una estructura mesozoica coneguda com Alt Castelló C.

La profunditat màxima mesurada en el sondeig (MD) és de 3235m, que respecte el sòl marí (TVDSS) es quantifica en -3209.1m. En el seu tram més profund es va arribar a la Formació Tarraco del Grup Alcanar.

### 2.3. Relació espai - temps del sondeig Fornax-1

La relació espai - temps és necessària per a poder contrastar adequadament les dades aportades pel sondeig i per la sísmica 3D, donat que aquesta consta d'unitats de temps a nivell vertical i el sondeig de metres (Fig. 5).

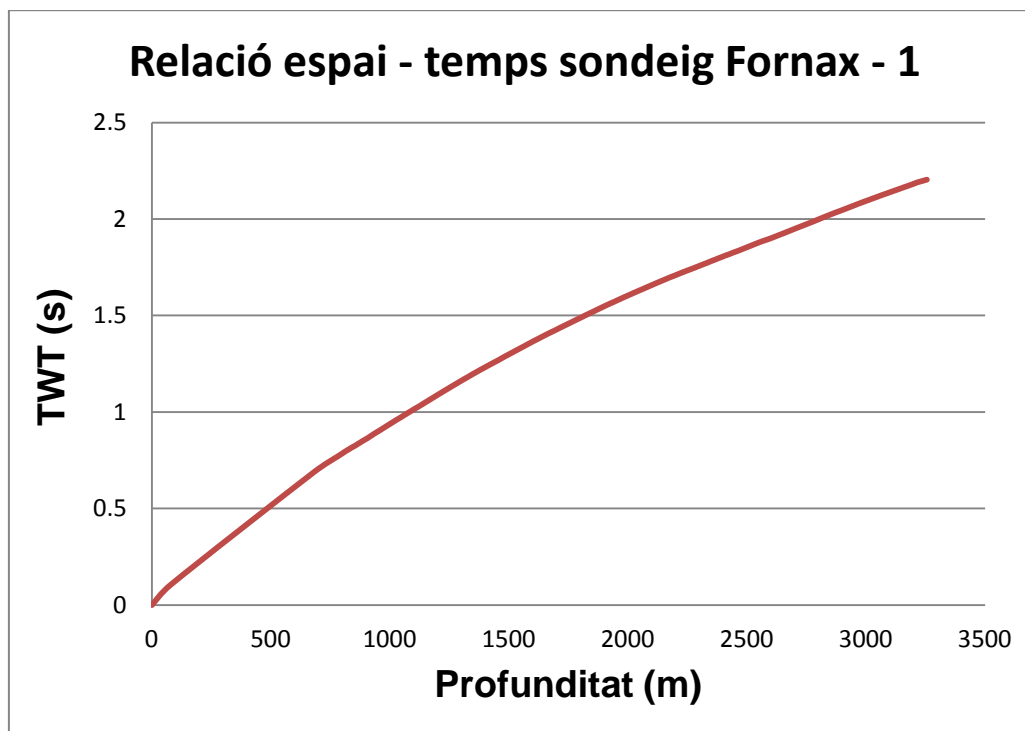


Fig. 5. Corba de la relació espai - temps del sondeig Fornax-1. La conversió ha estat desenvolupada a partir d'una funció exponencial de la velocitat i del temps, calibrada mitjançant el *sonic log* del sondeig Fornax-1 (  $D= 1135.13T^{1.3643}$  ). S'hi observa una tendència lleugerament asimptòtica, degut als esforços de compressió de magnitud cada vegada més elevada que afecten als materials sedimentaris a mesura que la profunditat augmenta, les quals impliquen intervals de trànsit menors de les ones sísmiques. Font: URGELES *et al.*, 2011.

### 2.4. Well logs geofísics

Un seguit de *well logs* de caràcter geofísic realitzats en el sondeig Fornax-1 s'han utilitzat com a suport per a la interpretació dels perfils que configuren la sísmica 3D. A continuació s'exposarà la informació aportada per cada un.

Donat que s'utilitzen les dades obtingudes a partir del sondeig Fornax-1, es pren com a classificació estratigràfica de referència la descrita per *Operaciones Geológicas/BG Group*, 2005 per la resta del present treball.

### **2.4.1. Radiació Gamma ( RG )**

Consisteix en la mesura de la radiació gamma procedent d'isòtops inestables propis dels materials perforats pel sondeig. Donat que elements diferents emeten RG en intensitats i freqüències diferents, a partir del seu anàlisi es pot caracteritzar la composició dels materials. Les unitats de mesura venen donades en *API (American Petroleum Institute units)*.

En el sondeig, la RG està mesurada des de -3192.64m (Formació Tarraco) fins a -679.90m TVDSS (Grup Ebre).

### **2.4.2. Sonic**

El *sonic* consisteix en la mesura del temps de trànsit d'una ona sísmica a través del subsòl en unitats de microseg/m. Aquesta està controlada per la densitat i la porositat dels materials travessats.

Hi ha disponibles dos *sonic logs* corresponents a les dues ones P (primària) i S (secundària).

En el sondeig, el tram mesurat per ambdues ones s'estén des de -3202.07m (Formació Tarraco) fins a -688.96m TVDSS (Grup Ebre).

### **2.4.3. Densitat**

Es basa en la quantificació de radiació gamma d'alta intensitat emesa des d'un instrument i desviada o no penetrada en entrar en contacte amb les parets del sondeig. La quantificació és inversament proporcional al nombre d'electrons dels elements que componen la formació, el qual a la vegada és directament proporcional a la densitat dels materials. Les unitats venen donades en  $\text{g/cm}^3$ .

En el sondeig, el tram mesurat s'estén des de -3210.14m (base de la Formació Tarraco) fins a -2945.10m SSTVD (Formació Margues de Sant Carles).

### **2.4.4. Registre neutrònic**

Es tracta de la mesura del nombre de col·lisions produïdes per neutrons emesos des d'una font química introduïda en el sondeig, contra possibles àtoms d'hidrogen de formacions corresponents a les parets del sondeig. La mesura rep el nom d'índex d'hidrogen (IH) i es quantifica en percentatge d'àtoms d'hidrogen per  $\text{cm}^3$ .

En el sondeig, el tram mesurat s'estén des de -3209.11m (base de la Formació Tarraco) fins a -2945.10m SSTVD (Formació Margues de Sant Carles).

#### 2.4.5. Resistivitat

Es basa en la mesura de la resistivitat elèctrica, la qual es defineix com la dificultat que la corrent elèctrica té quan passa a través d'un material. La seva mesura és en Ohms per metre.

Els nivells de resistivitat estan altament controlats pels fluids que ocupen les porositats del material.

En el sondeig, la resistivitat mesurada cobreix des de -3211.99m (base de la Formació Tarraco) fins a -209.16m TVDSS (Grup Ebre).

### 2.5. Metodologia de treball

S'ha utilitzat com a eina d'anàlisi el *software Petrel*, el qual permet la importació i gestió de dades geofísiques, així com la modelització i simulació de superfícies i estructures.

En un primer pas, s'ha procedit a la importació de la sísmica 3D. A continuació, s'ha importat el sondeig Fornax-1, el qual no era en un principi contrastable amb la sísmica 3D, donat que la profunditat d'aquest es mesurava en metres, i en canvi la de la sísmica 3D en unitats de temps. S'ha utilitzat llavors la corba espai - temps per a convertir de metres a mil·lisegons les unitats del sondeig, fent-les coincidir així amb les de la profunditat de la sísmica.

Un cop la sísmica 3D i el sondeig han sigut contrastables, s'ha interpretat el sòl marí actual, així com també tres superfícies estratigràfiques, les quals conformen els límits d'algunes de les principals seqüències sedimentàries que caracteritzen l'estratigrafia de l'àrea d'estudi. Aquestes són: la base del *synrift*, la base del *postrift* i la discontinuïtat messiniana. La interpretació s'ha realitzat primerament en la *inline* i en la *crossline* que son travessades pel sondeig, ja que del sondeig s'han obtingut diferents *logs*, tant de caràcter geofísic com geològic, que aporten dades importants de cara la interpretació. A continuació s'ha procedit a una extrapolació gradual de les superfícies interpretades cap a d'altres perfils sísmics. La separació entre els perfils en els que s'ha realitzat l'extrapolació ha estat de 625m, tant entre *inlines* com entre *crosslines*, tot i que a mitja distància entre elles se'n han intercalat eventualment d'altres, a fi d'augmentar la densitat de perfils interpretats en certes regions en les quals la disposició d'alguns reflectors sísmics era confusa. Amb el mateix propòsit s'han



interpretat un perfil d'orientació N i un altre d'orientació S, els quals tallen de forma obliqua el conjunt de perfils sísmics i aporten una referència addicional de cara a la interpretació estratigràfica del conjunt de la sísmica 3D. En total, s'han interpretat 39 *inlines*, 35 *crosslines* i dos perfils oblics.

S'ha previst com a criteri d'interpretació de cada superfície el manteniment del mateix signe de reflexió, facilitant així una mateixa pauta d'identificació al llarg dels perfils.

Les unitats de profunditat de tots els perfils sísmics que es presenten al llarg d'aquest treball estan en mil·lisegons atenent al temps de trànsit TWT, la majoria d'ells corresponen a la *crossline* que és travessada pel sondeig Fornax-1, en els casos que no sigui així, s'especificarà en el peu de figura. Els colors utilitzats en els reflectors corresponents als límits de seqüència interpretats i al sòl marí han estat constants i corresponen al blau cel per a la base del *synrift*, al taronja per a la base del *postrift*, al groc per a la discontinuïtat messiniana i al blau per al sòl marí actual.

Finalment, s'ha obtingut per juxtaposició entre perfils un model estructural 3D per a cada superfície interpretada. Cada un d'aquests models cobreix una part del total de l'espai geogràfic cobert per la sísmica 3D. De cara a visualitzar millor els seus detalls geomètrics, s'ha beneficiat la densitat del conjunt de perfils interpretats, en detriment de l'extensió geogràfica interpretada. Tots els models estructurals 3D consten de geometria rectangular, els seus contorns mesuren 32150x31700m i es situen íntegrament en la plataforma continental, a excepció del sòl marí, el qual mesura 47200x31700m i el seu extrem SE està situat en el talús abisal. Igual com en els perfils sísmics, en els models estructurals 3D la profunditat està mesurada en mil·lisegons TWT.

### **3. Resultats**

#### **3.1. Interpretació estratigràfica dels *well logs* geofísics**

Els *logs* geofísics realitzats en el sondeig Fornax-1 s'han importat en el *software Petrel* a fi de sobreposar la informació que aporten amb els perfils sísmics. A continuació es mostren els seus traçats en TVDSS i TWT (Fig. 6,7).

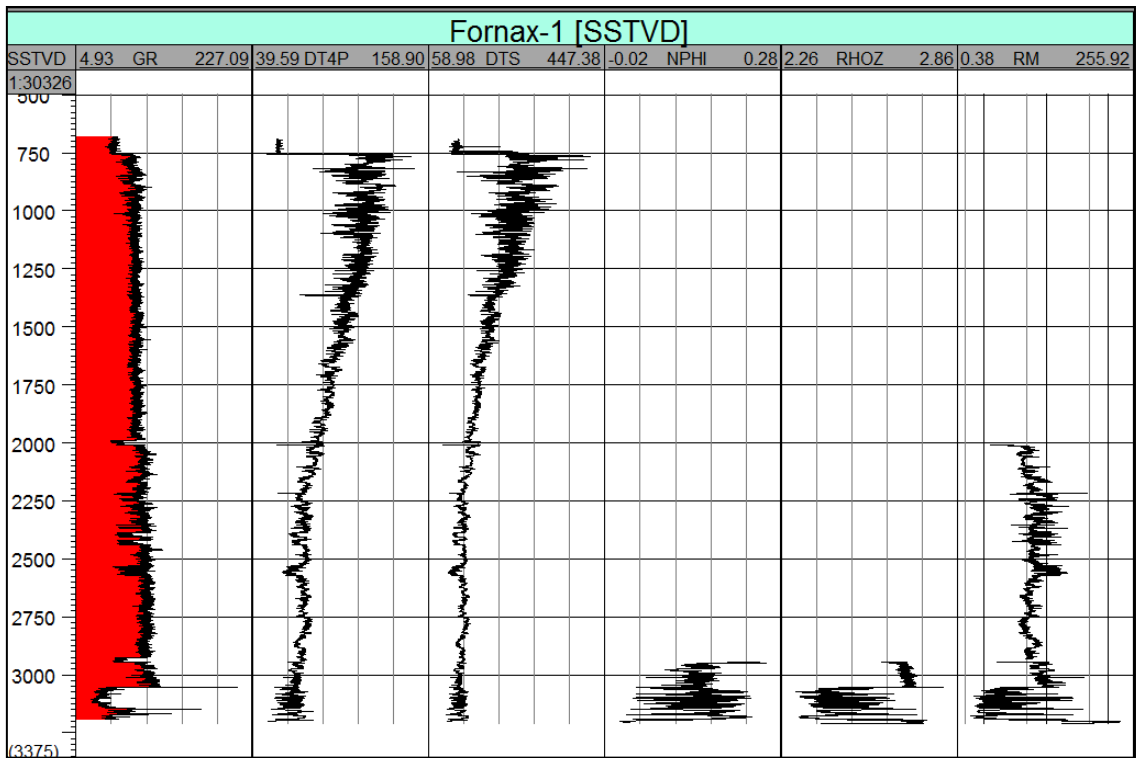


Fig. 6. Traçat dels logs geofísics en TVDSS. D'esquerra a dreta, els logs corresponents són la Radiació Gamma, els sonics en ones P i S, el registre neutrònic, la densitat i la resistivitat.

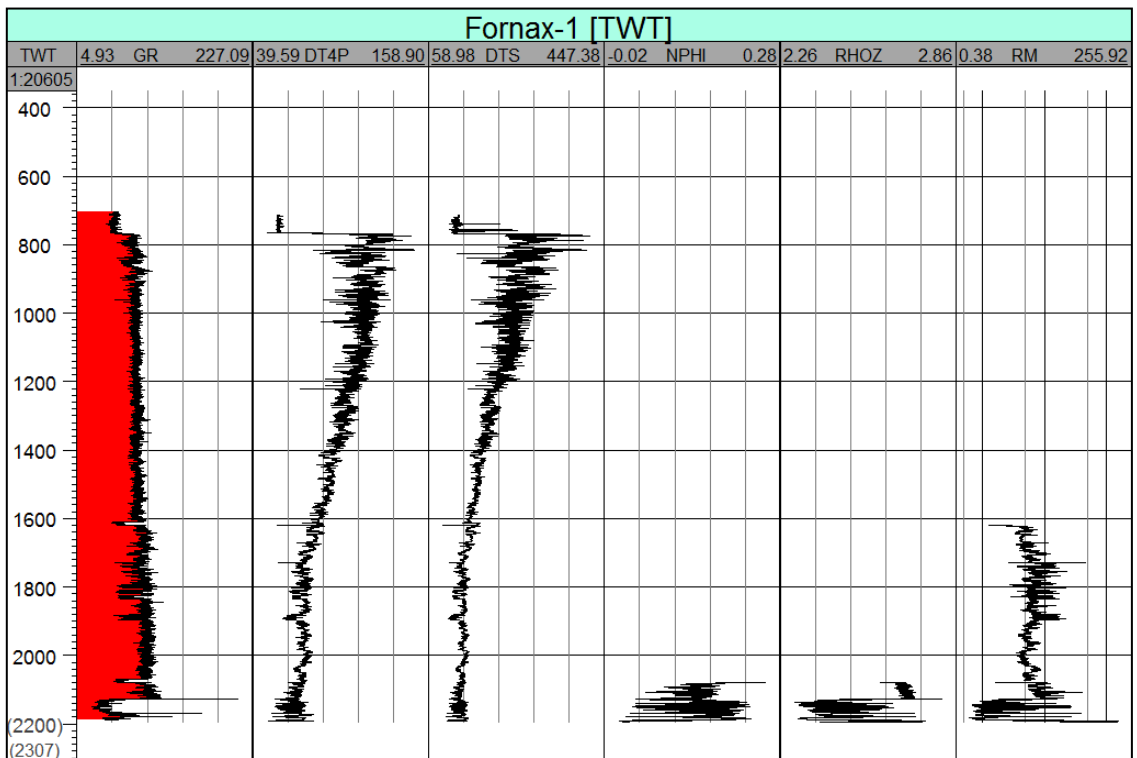


fig. 7. Traçat dels logs geofísics en TWT. D'esquerra a dreta, els logs corresponents són la Radiació Gamma, els sonics en ones P i S, el registre neutrònic, la densitat i la resistivitat.

Tot seguit es presenten els resultats obtinguts a partir de la informació aportada per cada un d'ells.

### **3.1.1. Radiació Gamma**

En el registre del RG s'observen dos trams diferents atenent a la intensitat de radiació detectada, la transició entre aquests dos trams és brusca i es situa a -3053.42m TVDSS. El perfil general del *log* és en serra i continu en intensitat en cada tram. S'hi observen alguns salts importants a nivell local sobretot vers la zona central del *log*.

El salt de RG situat a -3053.42m TVDSS correspon al pas de sediments de la Formació Amposta als de la Formació Margues de Sant Carles ( ambdues pertanyents al Grup Alcanar ) donat que els *logs* geològics indiquen que aquest es situa a -3047.6m TVDSS, profunditat molt aproximada a l'anterior (Fig. 8). La intensitat de radiació més elevada en el tram superior indica que probablement el contingut en material fi de tipus argilós és més abundant en aquest tram, donat que els materials de composició argilosa presenten una RG particularment alta degut a l'elevada presència d'isòtop potassi-40, així com també a causa d'altres elements radioactius com el urani i el tel·luri, inclosos en les argiles com a conseqüència de la tendència que aquestes tenen al intercanvi catiònic.

Els salts localitzats en la part central del *log* pertanyen en la seva major part a la Formació *shales* del Grup Ebre, la qual consta d'intercalacions de gres, així com també ciment calcari, fet que podria explicar aquest registre.

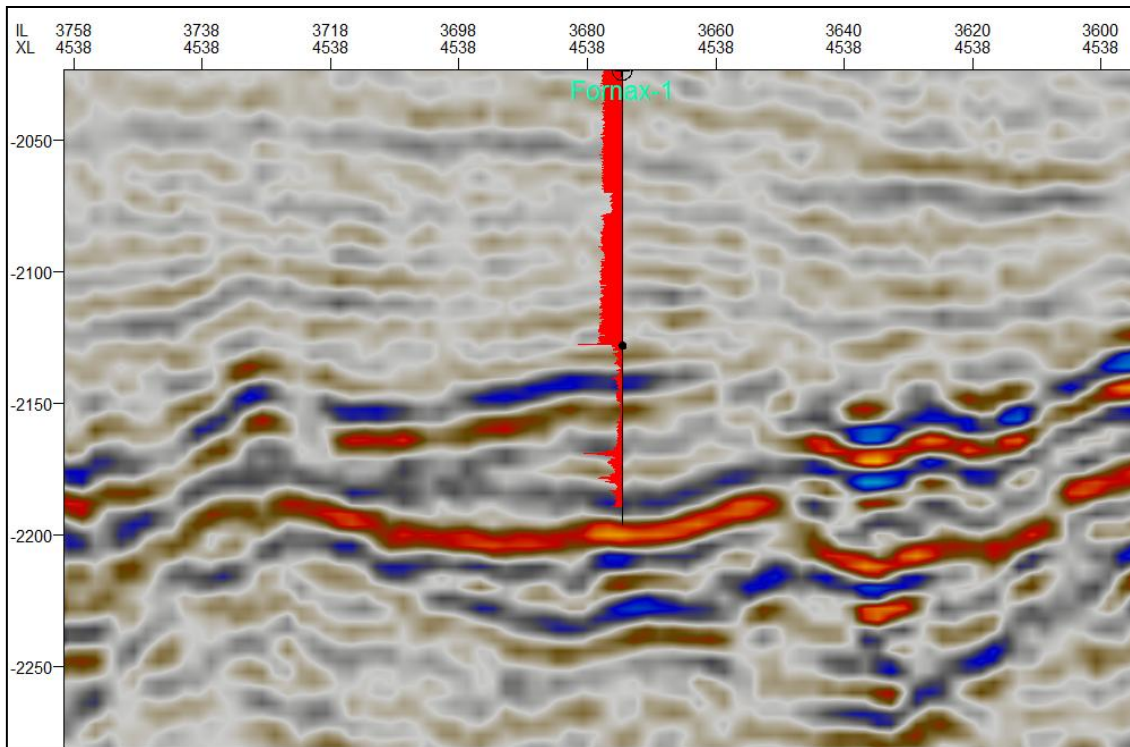


Fig. 8. Perfil sísmic mostrant el log RG. S'observa com el pas de la Formació Amposta a la de Margues de Sant Carles ve clarament marcat per un canvi en la intensitat de la RG detectada (punt en negre).

### 3.1.2. Sonic

En el registre del *sonic* s'observa com les variacions de velocitat de les ones són més pronunciades en les formacions Tarraco i Amposta que en la resta del registre, permetent de nou, tot i que de forma més discreta que en el *log* anterior, la distinció entre sediments de la Formació Amposta i de la Formació Margues de Sant Carles (Fig. 9). Per altra banda, a mesura que ens apropem a la superfície, les variacions són més marcades, principalment a partir de -1439.92m TVDSS, profunditat localitzada en el sí de la Formació *shales* del Grup Ebre. En línies generals, es distingeix una tendència a la disminució de la velocitat de trànsit de les ones directament proporcional a la profunditat.

Les variacions més marcades observades en el tram inferior del registre són atribuïdes a variacions més freqüents i desordenades de fàcies, tals que els seus efectes repercuteixen en la densitat del conjunt litològic. En canvi, entre -3053.42m i -1439.92m TVDSS, les fàcies són més homogènies en termes de densitat i porositat.

Es registra entre -2566.25m i -2525.12m TVDSS una disminució local del temps de trànsit de les ones, la qual és conseqüència d'una menor porositat corresponent a la Formació Gresos del Grup Castelló, donat que la profunditat de la seva base i el seu sostre coincideixen amb la registrada en els *logs* geològics (Fig. 10).

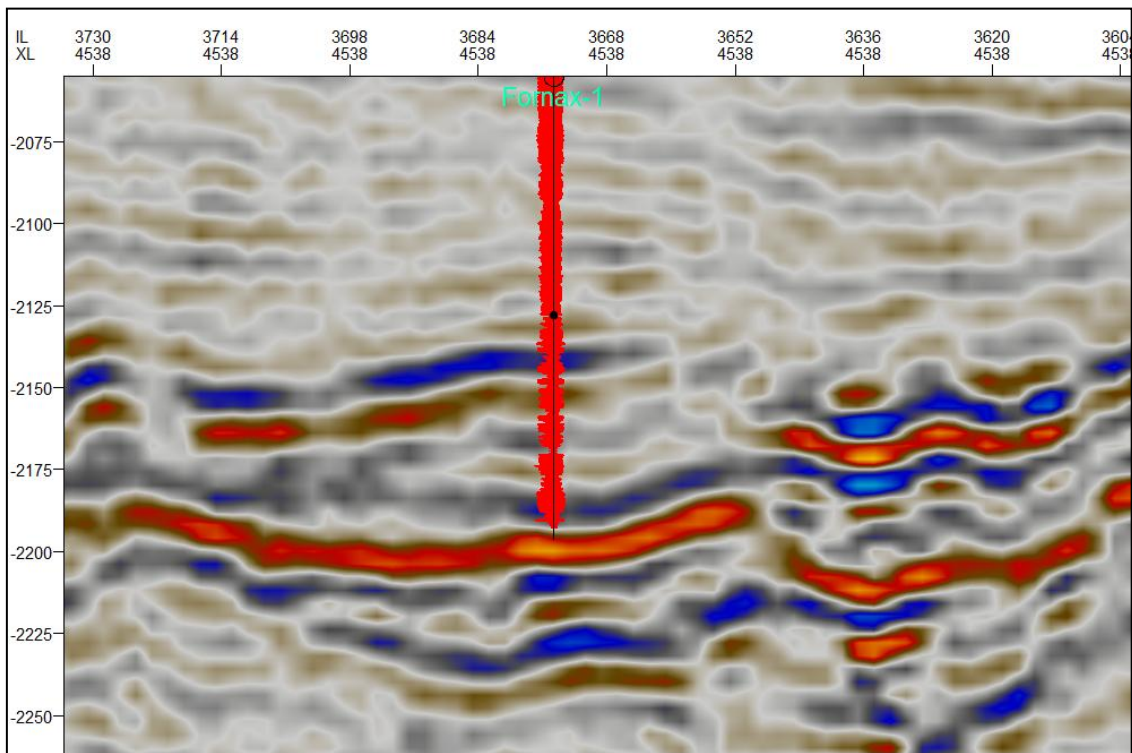


Fig. 9. Perfil sísmic mostrant els *sonic logs* en la Formació Amposta. El traçat de l'esquerra del sondeig pertany a les ones P i el de la dreta a les ones S. La distinció de la base de la Formació Margues de Sant Carles és viable a través del canvi en el caràcter del perfil (punt en negre) essent més marcadament en serra per sota d'aquest.

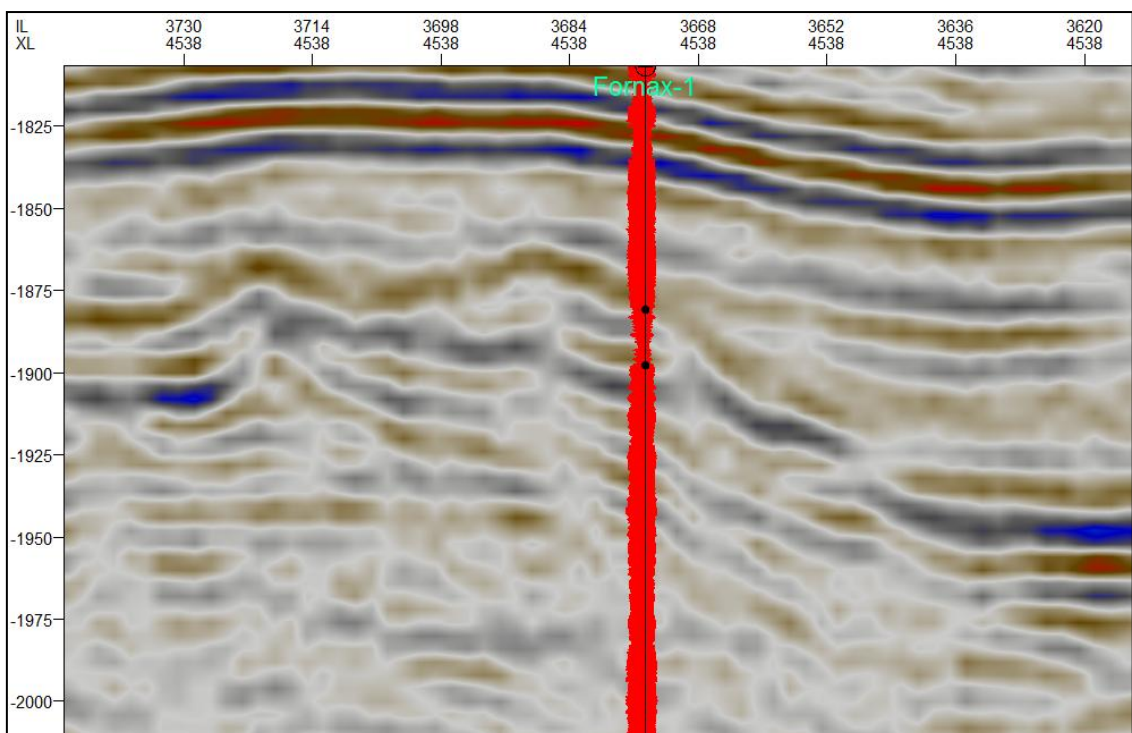


Fig. 10. Perfil sísmic mostrant els *sonic logs* en la Formació Gresos del Ebre. El traçat de l'esquerra del sondeig pertany a les ones P i el de la dreta a les ones S. S'observa una discreta disminució de la velocitat de trànsit de les ones entre -2566.25m i -2525.12m TVDSS (entre els punts en negre) corresponent a la Formació Gresos del Grup Castelló.

### 3.1.3. Densitat

El *log* mostra freqüents variacions de densitat en el tram pertanyent als sediments de les formacions de Tarraco i d'Amposta, passant a un comportament molt continu i homogeni en la resta del registre (cobert pel *log* només en la Formació Margues de Sant Carles). Els resultats registren un comportament inversament proporcional entre la densitat i el temps de circulació de les ones (Fig. 11). És a més remarcable com els valors de densitat en el tram corresponent a la Formació Margues de Sant Carles són equivalents o fins i tot superiors, als màxims presentats en el tram inferior, els valors mínims del qual contrasten fortament amb els màxims pertanyents al mateix tram, indicadors, tenint en compte les fàcies sedimentàries descrites en els *logs* geofísics, de possibles morfologies conseqüents a processos de dissolució de carbonats.

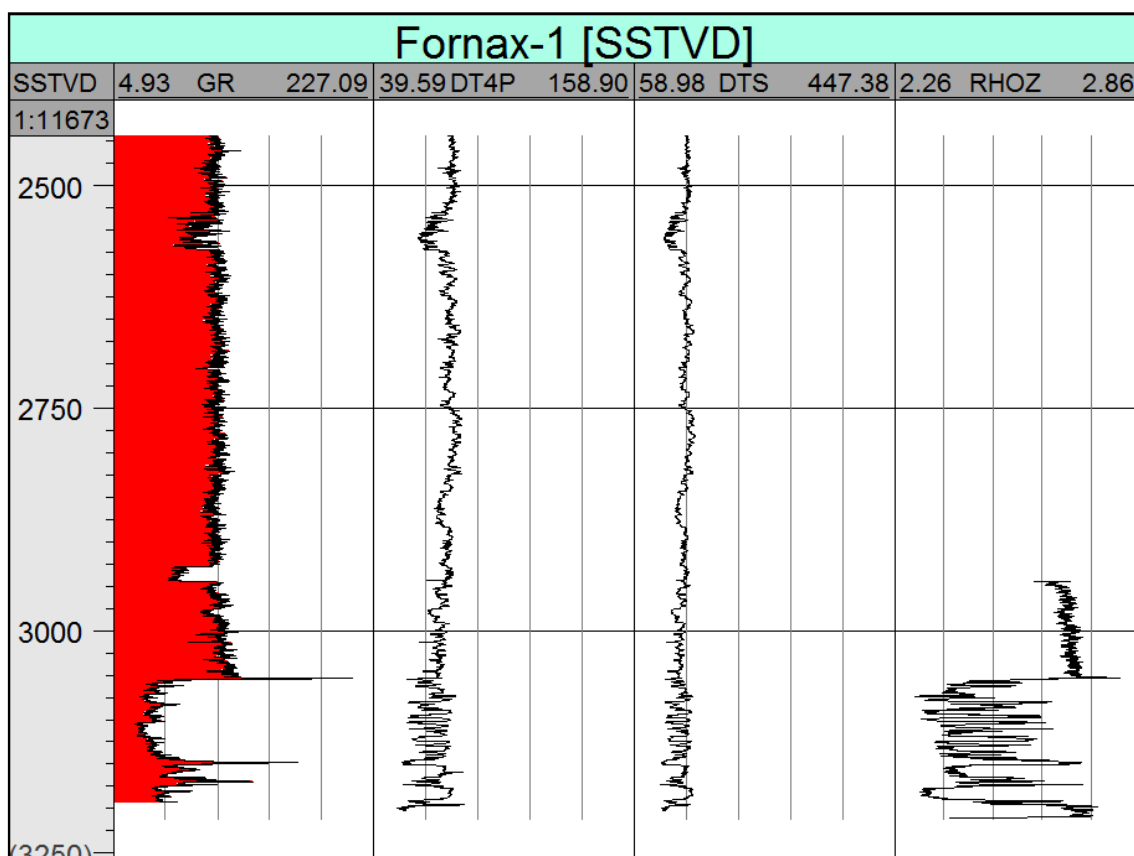


Fig. 11. Ampliació del *log* densitat (RHOZ). Aquest es compara amb el *sonic log* en ones P (DT4P) i en ones S (DTS) i amb el RG. S'observa com en els intervals on la densitat experimenta una disminució, el temps de trànsit de les ones augmenta.

### 3.1.4. Registre neutrònic

El *log* mostra una major variació de porositat en les Formacions Tarraco i Amposta que en la de Margues de Sant Carles (Fig. 13). Els valors màxims obtinguts són inversament proporcionals als mostrats pel *log* densitat, correspondència que indica la presència de porositats ocupades per fluids, ja que aquests impliquen en general valors d'IH alts en el registre neutrònic (Fig. 12).

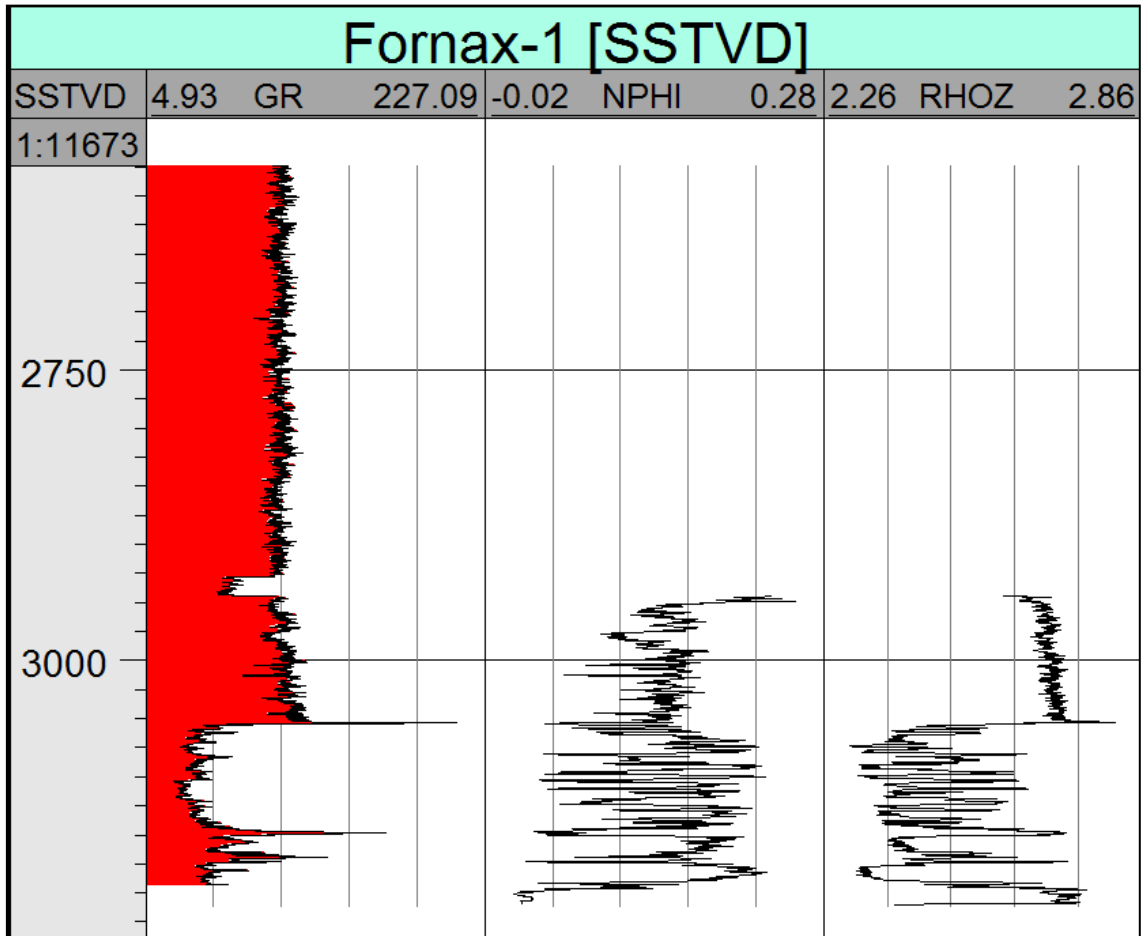


Fig. 12. Ampliació del registre neutrònic (NPHI). Aquest es compara amb els *logs* densitat (RHOZ) i RG. S'observa com en els intervals on el *log* densitat mostra uns valors més baixos, en el registre neutrònic són més elevats, el que indica la presència d'àtoms d'hidrogen, i per tant, de porositat ocupada per fluids. El *log* RG aporta una informació complementària sobre la litologia del material, essent probablement carbonatat o sorrenc quan els valors d'aquest són baixos i argilós quan en són elevats.

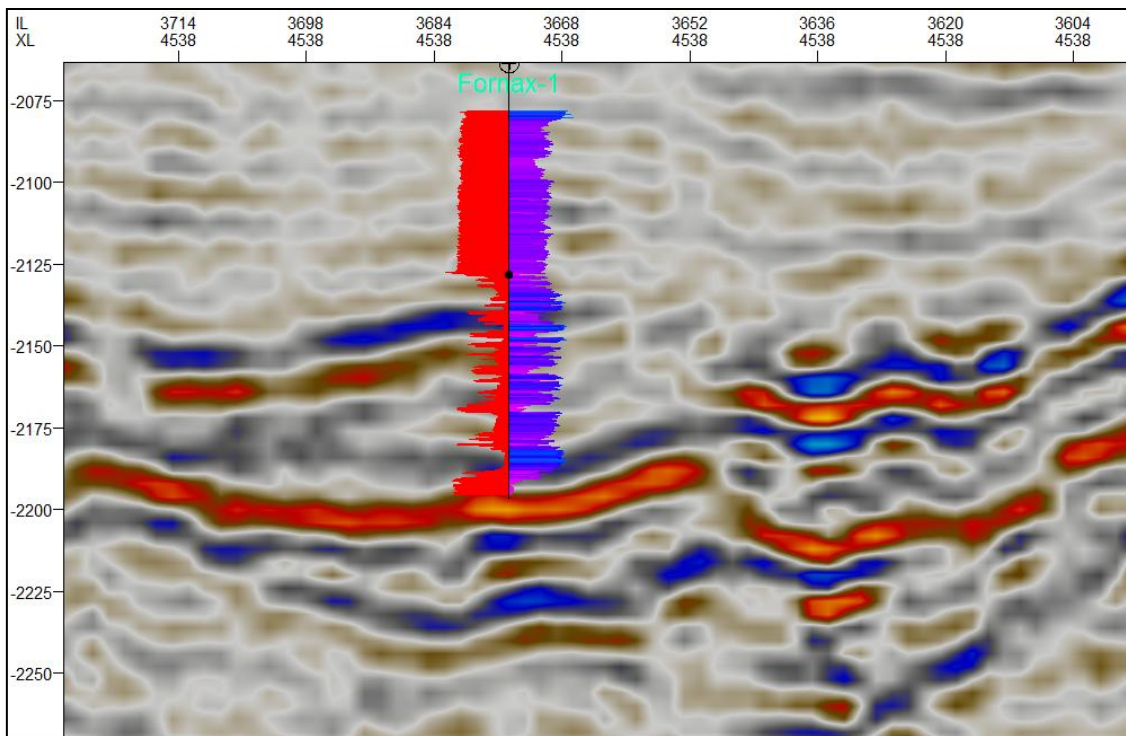


Fig. 13. Perfil sísmic mostrant els *logs* densitat (a l'esquerra en vermell) i registre neutrònic (a la dreta en tons blavosos). Els reflectors de major impedància acústica corresponen a les Formacions de Tarraco i Amposta, mentre que els suprajacents a la Formació Margues de Sant Carles. S'observa el perfil més marcadament en serra d'ambdós *logs* en les Formacions de Tarraco i Amposta (per sota del punt en negre).

### 3.1.5. Resistivitat

Al igual que en els *logs* presentats anteriorment, el *log* resistivitat també permet distingir la base de la Formació Margues de Sant Carles atenent a una variació molt més freqüent i marcada dels valors mesurats en les Formacions de Tarraco i Amposta que en la resta del registre (Fig. 15). El *log* mostra una correspondència inversa amb el registre neutrònic, és a dir, dels fluids presents en els trams molt porosos se'n registre una resistivitat baixa, permetent així excloure la possibilitat de que es tracti d'hidrocarburs, ja que aquests mostrarien valors de resistivitat elevats (Fig. 14).

Tal i com també es comprova en el *sonic log*, entre -2566.25m i -2525.12m es registra un lleuger augment de la resistivitat corresponent a la Formació Gresos del Grup Castelló.



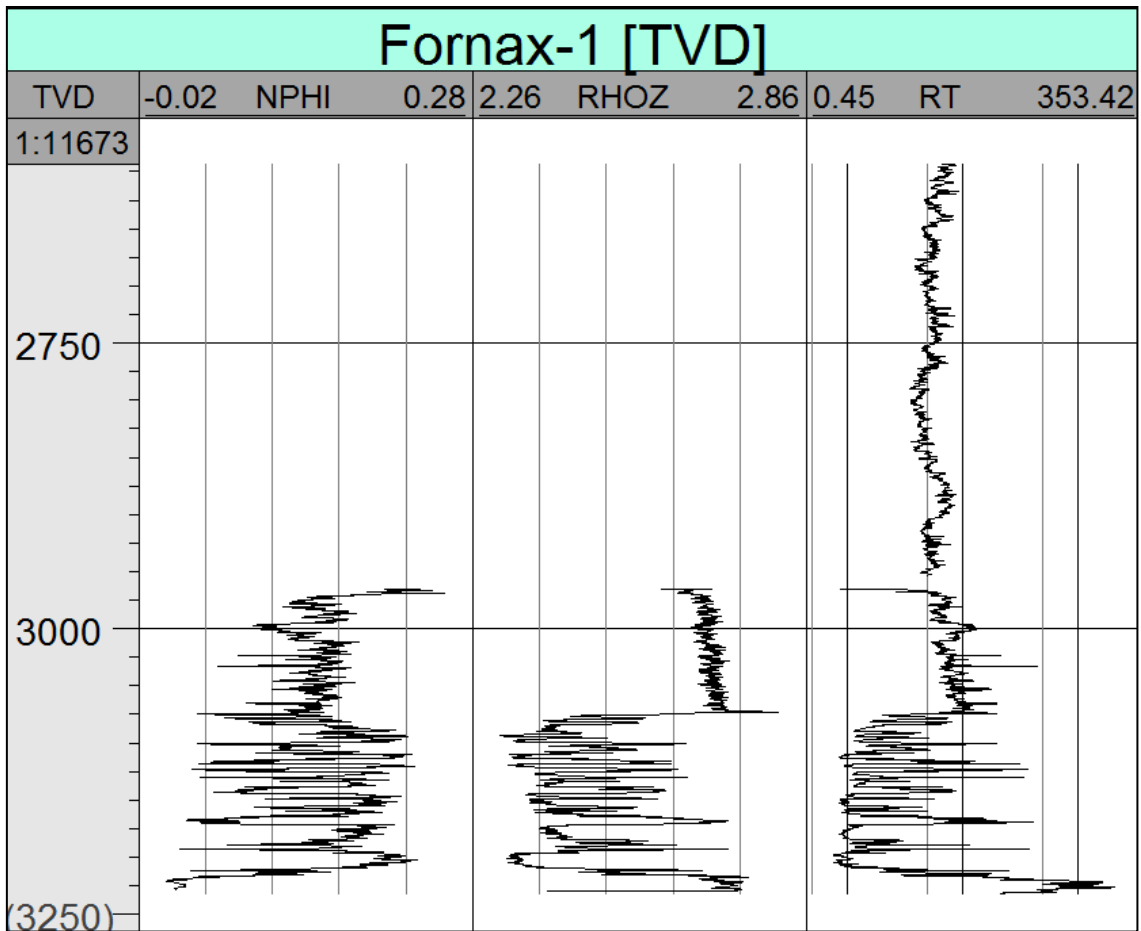


Fig. 14. Ampliació del *log* resistivitat (RT). Aquest es compara amb el *log* densitat (RHOZ) i amb el registre neutrònic (NPHI). S'observa com els trams porosos observats en el registre neutrònic corresponen a caigudes de la resistivitat, la qual cosa indica que els fluids presents en les porositats no són hidrocarburs, tractant-se doncs en aquest cas d'aigua salada.

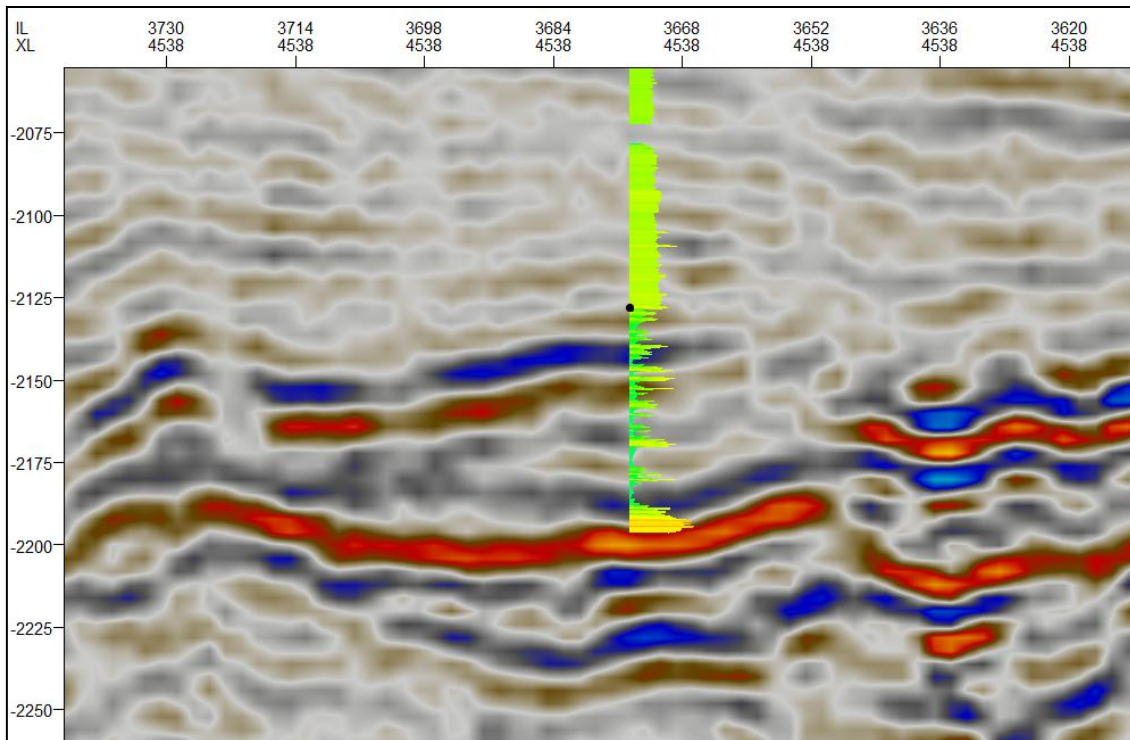


Fig. 15. Perfil sísmic mostrant el *log* resistivitat. S'observa com els sediments pertanyents a les formacions de Tarraco i de Sant Carles mostren caigudes importants dels valors de la resistivitat (per sota del punt en negre).

### 3.2. Límits de seqüències i sòl marí

En aquest apartat s'exposa el sòl marí i els límits de seqüència que han sigut interpretats en els perfils sísmics amb ajuda dels resultats obtinguts a partir del *well logging*.

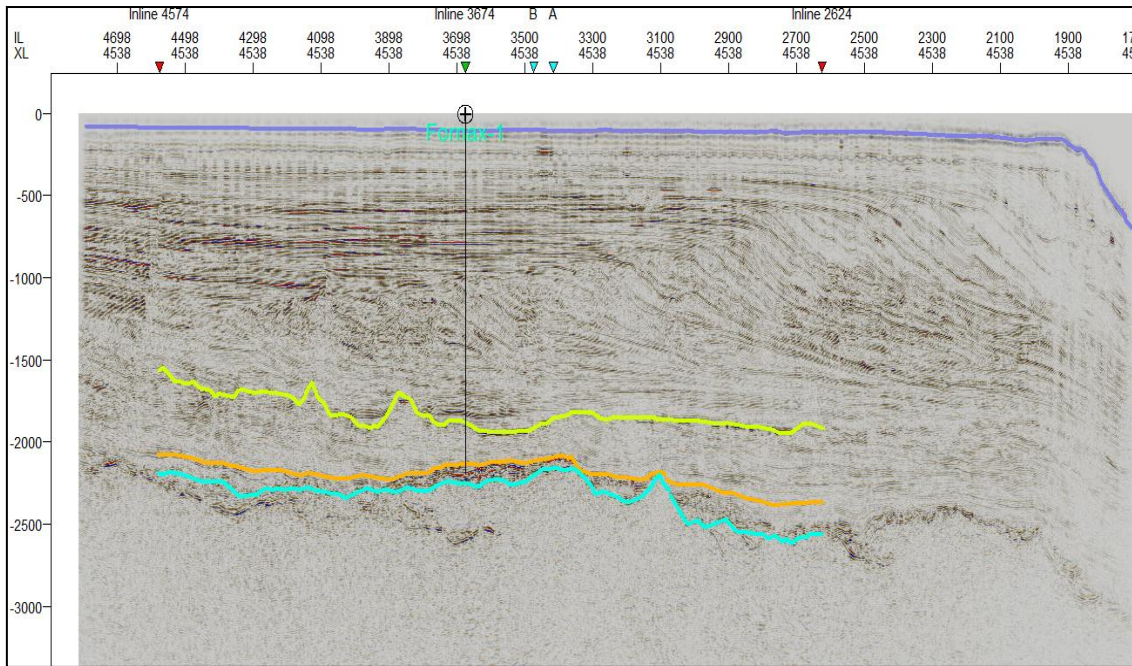


Fig. 16. Perfil sísmic mostrant el sòl marí i els límits de seqüència interpretats. El reflector marcat en blau cel correspon a la base del *synrift*, el que ho està en taronja a la base del *postrift*, el de groc a la discontinuïtat messiniana, i el blau al sòl marí actual. La recte vertical en negre correspon al traçat del sondeig. Els triangles vermells situats en el marge superior limiten el tram de la sísmica 3D que ha estat interpretada, només el sòl marí actual s'ha interpretat en les *crosslines* fins als extrems disponibles de la sísmica. Els triangles en blau cel corresponen a les interseccions amb els dos perfils sísmics oblics, i finalment, el que ho està en verd a la *inline* que és també travessada pel sondeig.

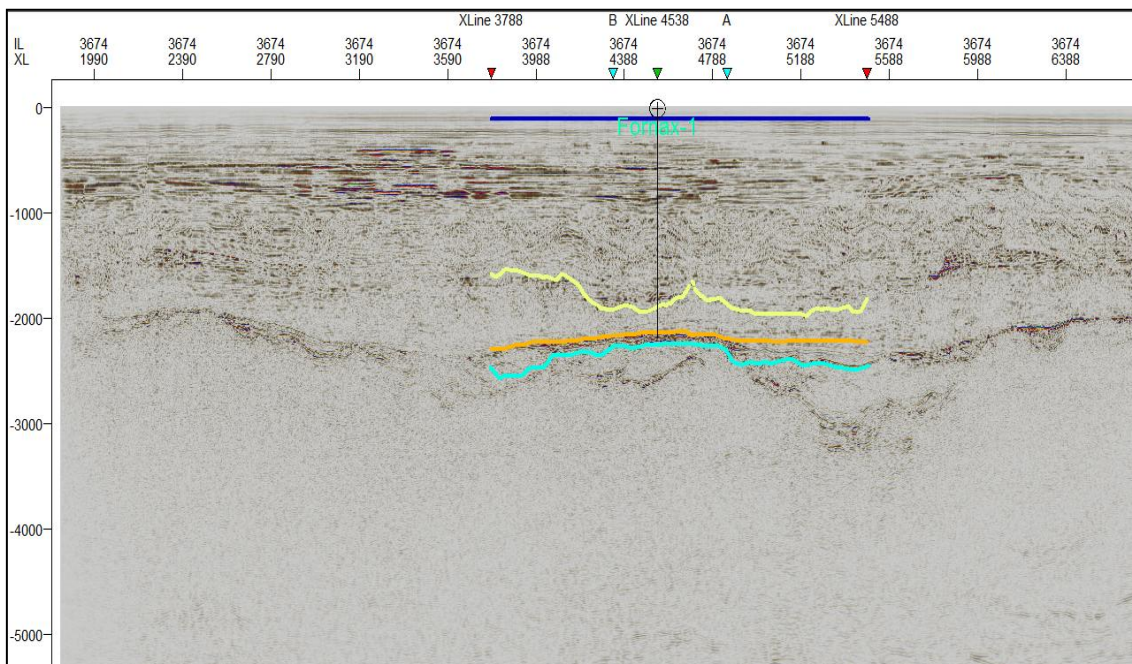


Fig. 17. Perfil sísmic mostrant el sòl marí i els límits de seqüència interpretats. El reflector marcat en blau cel correspon a la base del *synrift*, el que ho està en taronja a la base del *postrift*, el de groc a la discontinuïtat messiniana, i el blau al sòl marí actual. El perfil correspon a la *inline* que és travessada pel

sondeig. La vertical en negre correspon al traçat del sondeig. Els triangles vermells situats en el marge superior limiten el tram de la sísmica 3D que ha estat interpretada, els triangles en blau cel corresponen a les interseccions amb els dos perfils oblics i finalment, el que ho està en verd a la *crossline* que és també travessada pel sondeig.

### 3.2.1. Base del *synrift*

La interpretació de la base del *synrift* ha estat difícil, donat que el registre sísmic mostra una resolució molt baixa en aquest tram (Miocè Inferior - Mitjà) a causa de la presència de carbonats carstificats, a més a més, l'estructura geològica que s'hi presenta és complexa (Fig. 18).

En general, la base del *synrift* mostra una geometria molt irregular, degut a la intensa activitat tectònica de la qual resulta. Els plecs i les falles que s'hi localitzen han servit de guia per a la seva interpretació. S'observa a més com molts trams de la base del *synrift* estan compostos pel primer reflector que consta d'una impedància acústica important respecte als ubicats en profunditats majors, així com també d'una continuïtat suficient com per distingir-lo de les fàcies caòtiques subjacents en els perfils sísmics.

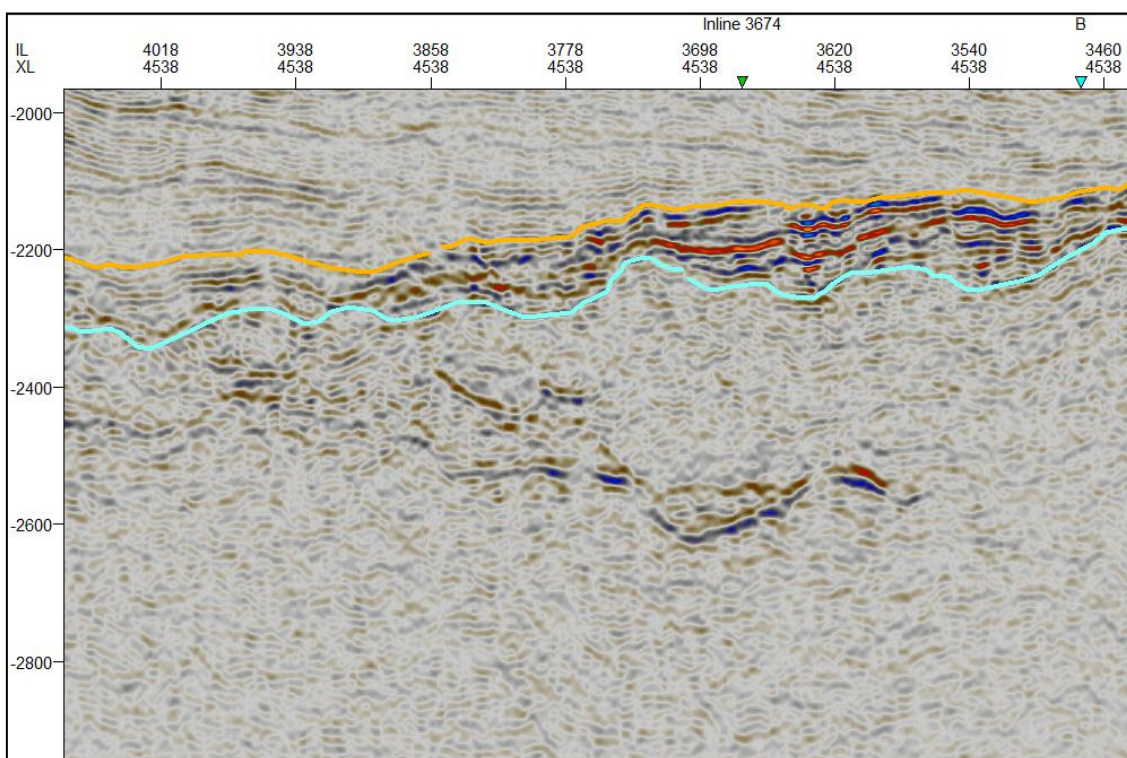


Fig. 18. Perfil sísmic mostrant els *rifts* mesozoic i cenozoic. S'observen unes estructures tectòniques a uns 2600mseg TWT i localitzades per sota de la base del *synrift*, les quals han sigut interpretades com pertanyents al *rift* mesozoic. La base del *synrift* és interpretable a partir de les fàcies sísmiques sovint caòtiques i de baixa impedància acústica que es presenten a profunditats majors.

### 3.2.2. Base del *postrift*

Per a la interpretació de la base del *postrift*, s'ha considerat el reflector sísmic més recent pertanyent al Miocè Mitjà, per sota del qual les fàcies sísmiques presenten deformacions tectòniques i/o geometries pròpies de rebliment sedimentari. S'ha observat a més com aquest reflector coincideix amb el salt dels diferents *well logs* situat a -3053.42m TVDSS. Amb tot, s'ha interpretat el reflector corresponent a aquest salt com la base del *postrift* i s'ha extrapolat vers altres perfils.

S'observa com la base del *postrift* consta d'unes fàcies sísmiques similars a les que mostren en línies generals els sediments de *synrift*, és a dir, impedància acústica elevada, reflectors subparal·lels en molts trams i manca d'influència de progradació fluvial (Fig. 19).

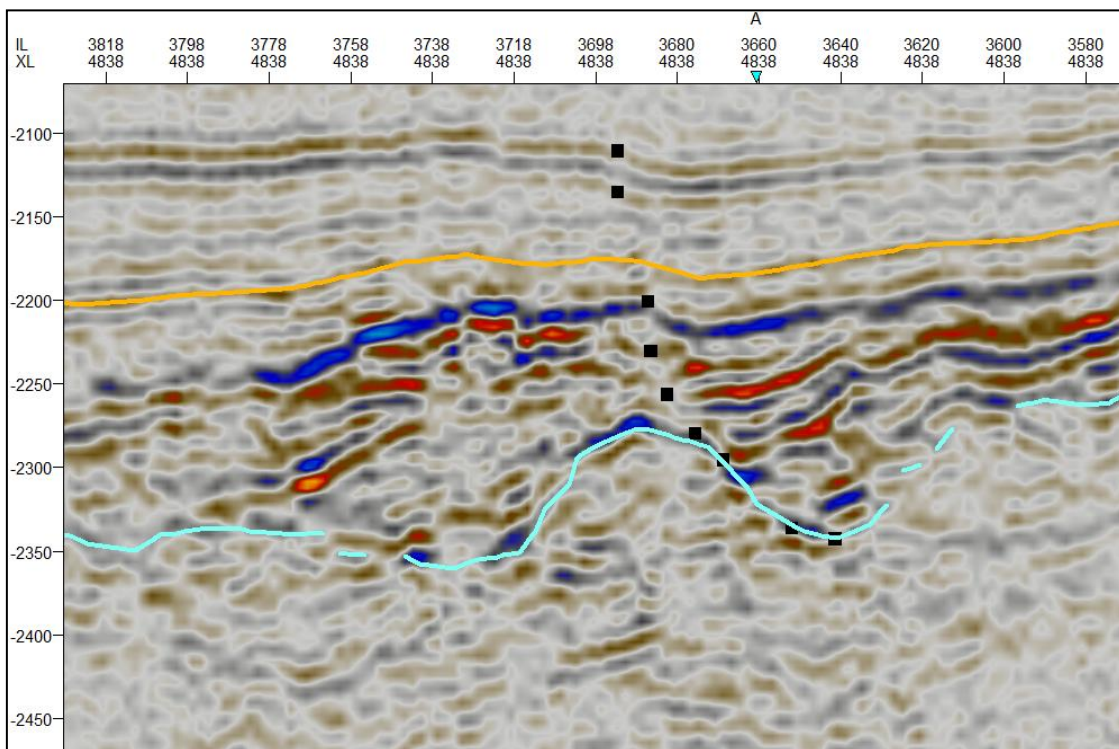


Fig. 19. Perfil sísmic mostrant la base i el sostre del *synrift*. El perfil correspon a la crossline situada a 3750m vers el SO respecte el sondeig Fornax-1. Els requadres en negre corresponen al possible traçat d'una falla lítrica d'orientació SE, la qual pertany al *synrift*. S'observa com el moviment de la falla ha afectat també a alguns estrats pertanyents al *postrift* (indicats pels dos requadres superiors situats a uns 2125 msec. TWT) fenomen interpretat com a causa de moviments posteriors al període *synrift* d'aquesta falla. Per altra banda, s'observa com el moviment de la falla a trencat amb la continuïtat dels reflectors pertanyents al *synrift*.

### 3.2.3. Discontinuitat messiniana

Per a la interpretació de la discontinuïtat messiniana, s'ha partit del reflector corresponent al salt mostrat pel *sonic log* a -2525.12m TVDSS en els perfils que són

travessats pel sondeig Fornax-1, i com en el cas anterior, s'ha extrapolat aquest reflector vers altres perfils.

En línies generals, la discontinuïtat messiniana consta en els perfils sísmics d'una elevada continuïtat, fins i tot en regions amb evidències clares d'erosió, així com també d'alta impedància acústica. Per altra banda, els sediments del tram inferior del Grup Ebre mostren una disposició geomètrica típica de reblliment sedimentari, especialment en les regions on la discontinuïtat messiniana està intensament afectada per erosió. Finalment, s'observa també una geometria erosiva esglaonada típica d'ambients subaeris en alguns trams de la discontinuïtat (Fig. 20).

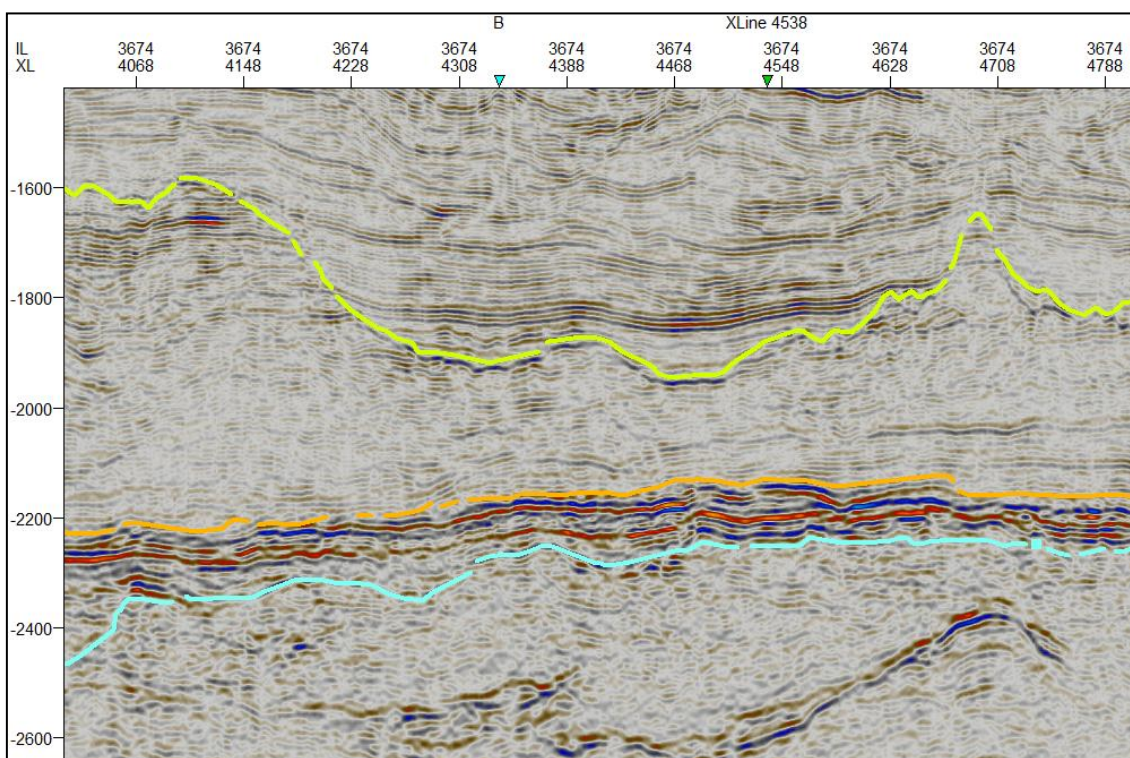


Fig. 20. Perfil sísmic mostrant la discontinuïtat messiniana. El perfil correspon a la *inline* que és travessada pel sondeig. La línia negra vertical representa el traçat del sondeig. S'observa com la discontinuïtat messiniana conforma una geometria esglaonada típica de l'acció erosiva fluvial en ambient subaeri.

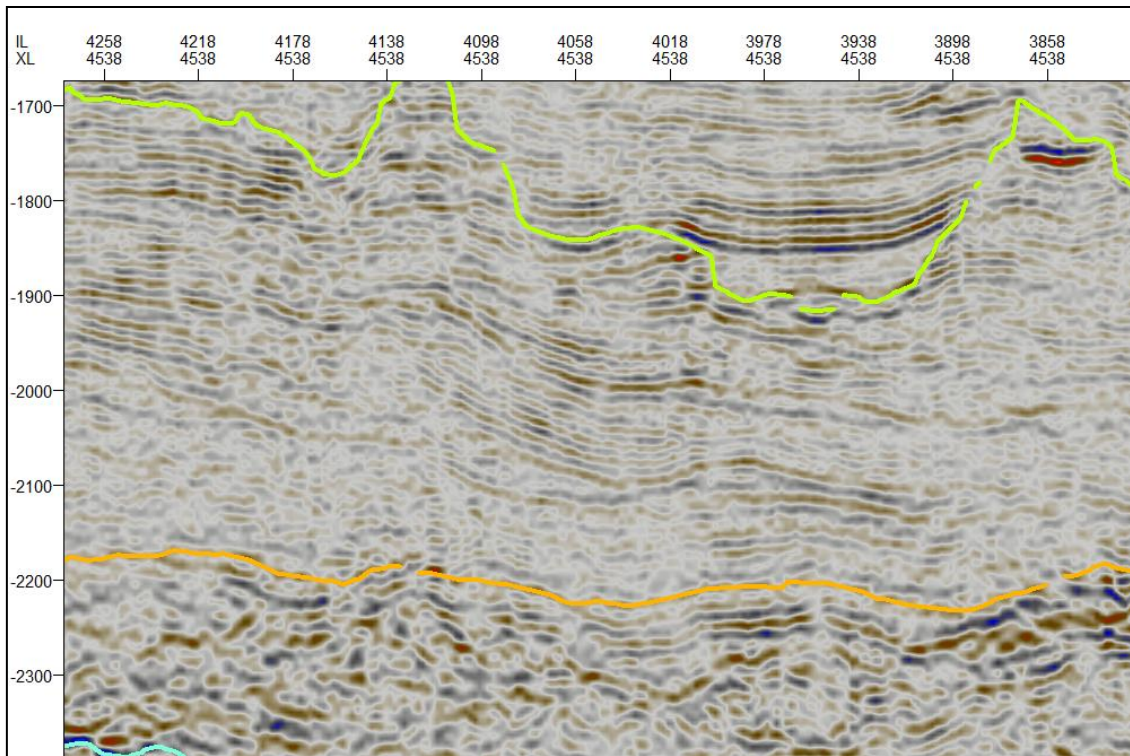


Fig. 21. Perfil sísmic mostrant els sediments del Miocè Superior. L'erosió produïda durant la crisi del messinià dificulta la interpretació del possible caràcter progradant de les sèries sedimentàries del Grup Castelló, no permetent així, d'extreure'n resultats evidents sobre la influència fluvial de la que s'hagin pogut condicionar.

### 3.2.4. Sol marí

Per a la interpretació del sòl marí, aquest s'ha considerat com el primer reflector que s'observa respecte el marge superior dels perfils.

En els perfils sísmics, el sòl marí s'assenta principalment sobre la plataforma continental. La seva geometria és subhoritzontal, tot observant-se en les *crosslines* una lleugera inclinació vers el SE, fins al extrem d'aquest eix, on la sísmica 3D inclou part de la plataforma abissal, mostrant-se en els perfils com un important augment de la inclinació del reflector (Fig. 22).

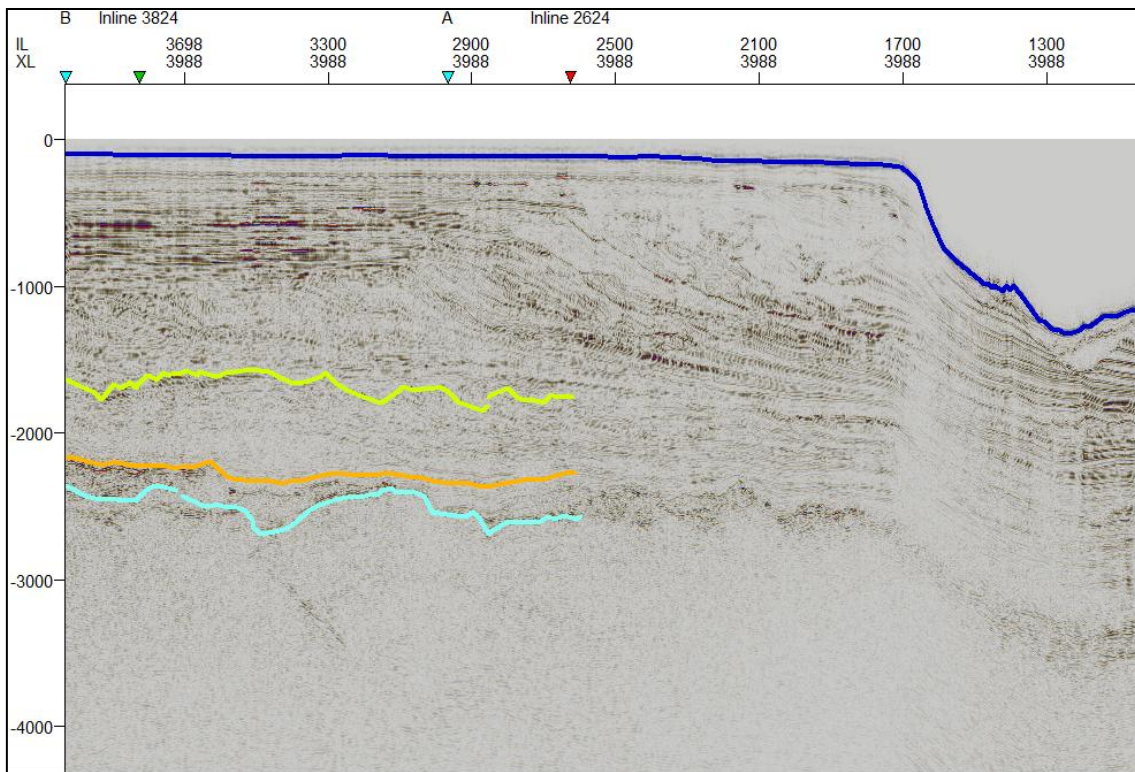


Fig. 22. Perfil sísmic mostrant el sòl marí. El perfil correspon a la *crossline* situada a 6875m vers el NE respecte el sondeig Fornax-1. S'observa com el sòl marí presenta un augment important de la pendent cap a la dreta del perfil (SE) els valors del qual són molt discontinus.

### 3.3. Estratigrafia sísmica

En els perfils sísmics s'han interpretat diverses seqüències sedimentàries separades per les superfícies descrites en l'apartat anterior. S'exposa a continuació, partint de les més antigues, quines són:

#### 3.3.1. Sòcol Paleozoic - Mesozoic

La seqüència es situa sota la base del *synrift*. En general presenta fàcies caòtica i de baixa impedància acústica, comparat amb la dels sediments suprajacents pertanyents al *synrift*. La deformació és important i ve com a conseqüència de la tectònica d'extensió tant mesozoica com cenozoica. S'observa com les estructures tectòniques pertanyents al *rift* mesozoic són, en línies generals, de dimensions superiors a les del *rift* cenozoic, i el seu traçat avarca de vegades regions molt profundes d'aquesta seqüència sedimentària (Fig. 23).



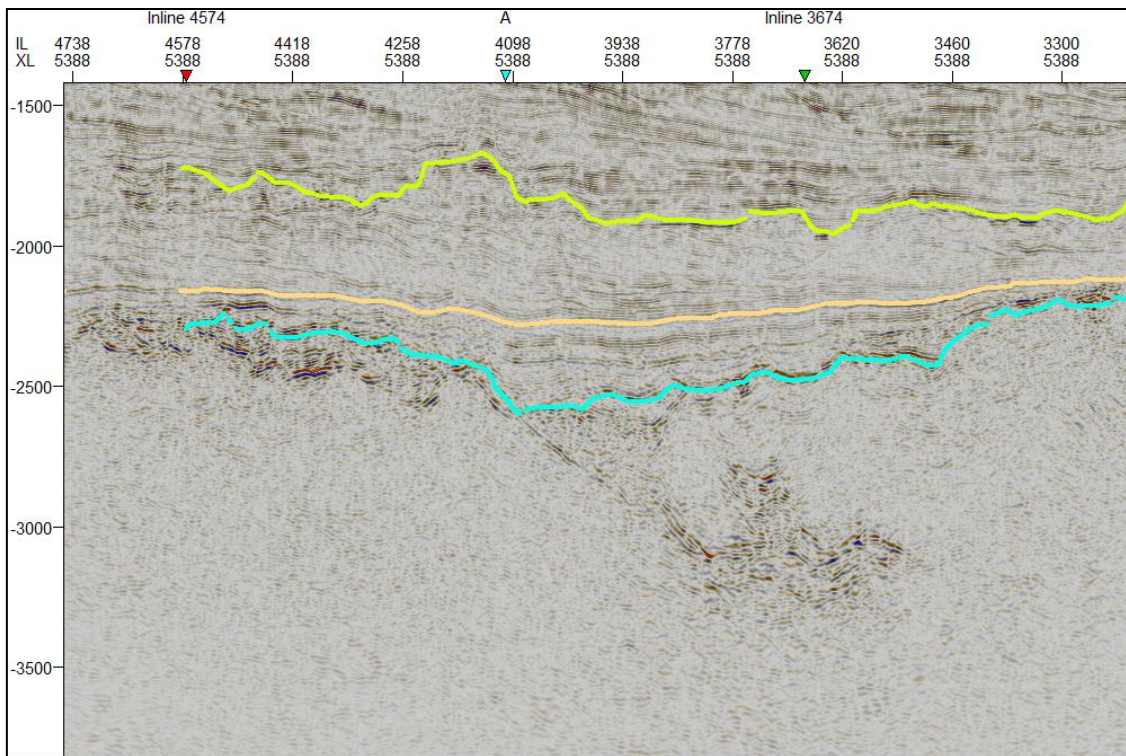


Fig. 23. Perfil sísmic mostrant fàcies sísmiques del *rift* mesozoic. El perfil correspon a la *crossline* situada a 10625m vers el SO respecte el sondeig Fornx-1. S'observen traces rectilínies d'alta impedància acústica a una profunditat d'entre 2500mseg. i 3250mseg. TWT, interpretades com pertanyents al *rift* mesozoic. Aquestes estructures tectòniques presenten sovint dimensions majors a les del *rift* cenozoic.

### 3.3.2. Seqüència *synrift*

La seqüència està limitada en la part inferior per la base del *synrift* i en el sostre per la base del *postrift*. El seu tram inferior està afectat per estructures tectòniques pertanyents al *rift* cenozoic. La seva fàcies sísmica és de vegades caòtica principalment en les zones més afectades per l'activitat tectònica, essent d'un caràcter més subparal·lel en el seu tram menys profund i adjacent als sediments de *postrift*. La impedància acústica dels reflectors que la componen és elevada particularment en regions on aquesta presenta una potència estratigràfica menor.

A nivell geomètric, els reflectors pertanyents a aquesta seqüència de vegades es disposen en *onlaps* i/o *downlaps* sobre la base del *synrift*. El gruix de la unitat varia atenent a l'espai d'acomodació dels sediments, situant-se sobre els *grabens* l'espai on n'és major.

### 3.3.3. Base del *postrift* - Discontinuitat messiniana

La seqüència està limitada per la discontinuitat messiniana al sostre i pels sediments de *synrift* a la base. L'erosió produïda durant la crisi del messinià ha afectat extenses regions d'aquesta seqüència i el desconeixement del seu estat inicial dificulta la interpretació de la influència fluvial que l'hagi pogut condicionar. Alguns reflectors del seu tram inferior mostren deformació per activitat tectònica (Fig. 19) la qual s'ha interpretat com provinent de falles pertanyents al període *synrift*, el moviment de les quals es pot haver produït també a principis del període *postrift*.

Le sèries sedimentàries de la base del *postrift* es disposen sovint en *onlaps* i/o *downlaps* sobre el sostre dels sediments de *synrift*, a la vegada que presenten unes fàcies d'un caràcter més caòtic i una impedància acústica inferior.

### 3.3.4. Grup Ebre

El Grup Ebre queda limitat en la base per la discontinuitat messiniana i en el sostre pel sòl marí actual. Les seves sèries sedimentàries mostren un comportament progradant cap al SE típic d'ambient deltaic. Els *breakpoints* indiquen una agradació de les capes sedimentàries variant al llarg del temps, fenomen relacionat amb les variacions en l'espai d'acomodació i de l'aportació de sediments (Fig. 25).

Els *foresets* es disposen sovint en *onlaps* i/o *downlaps* sobre la discontinuitat messiniana (Fig. 24). La major part dels reflectors que conformen la seqüència del Grup Ebre mostren una fàcies sísmica subparal·lela i inclinada vers la conca. És remarcable la presència de falles importants i subverticals en la regió NO. Per altra banda, vers la regió SE, s'observen eventualment un seguit de depressions a nivell local però de dimensions importants (d'entorn 200mseg. de profunditat) interpretades com el resultat de l'erosió de canals fluvials (Fig. 26).

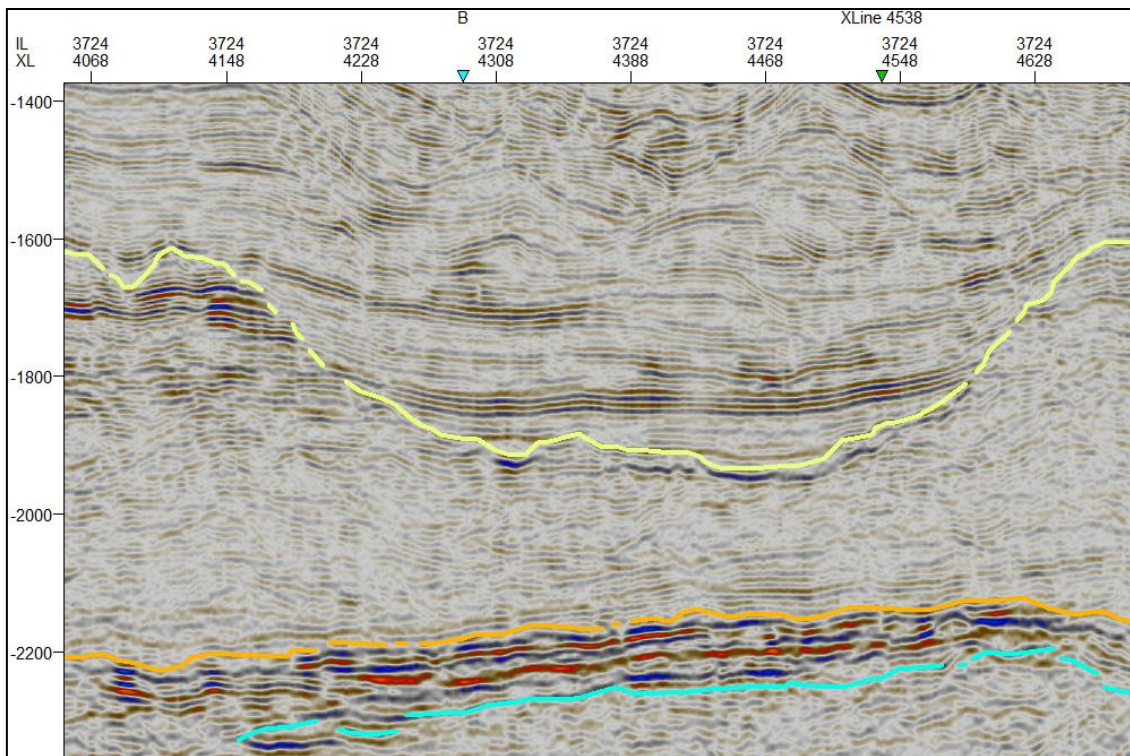


Fig. 24. Perfil sísmic mostrant la disposició dels *foresets* del Grup Ebre. El perfil correspon a la *inline* situada a 625m vers el NO respecte el sondeig Fornax-1. S'observa la disposició geomètrica en *onlaps* d'alguns *foresets* del Grup Ebre sobre la discontinuïtat messiniana, sobretot en els seus trams més intensament erosionats.

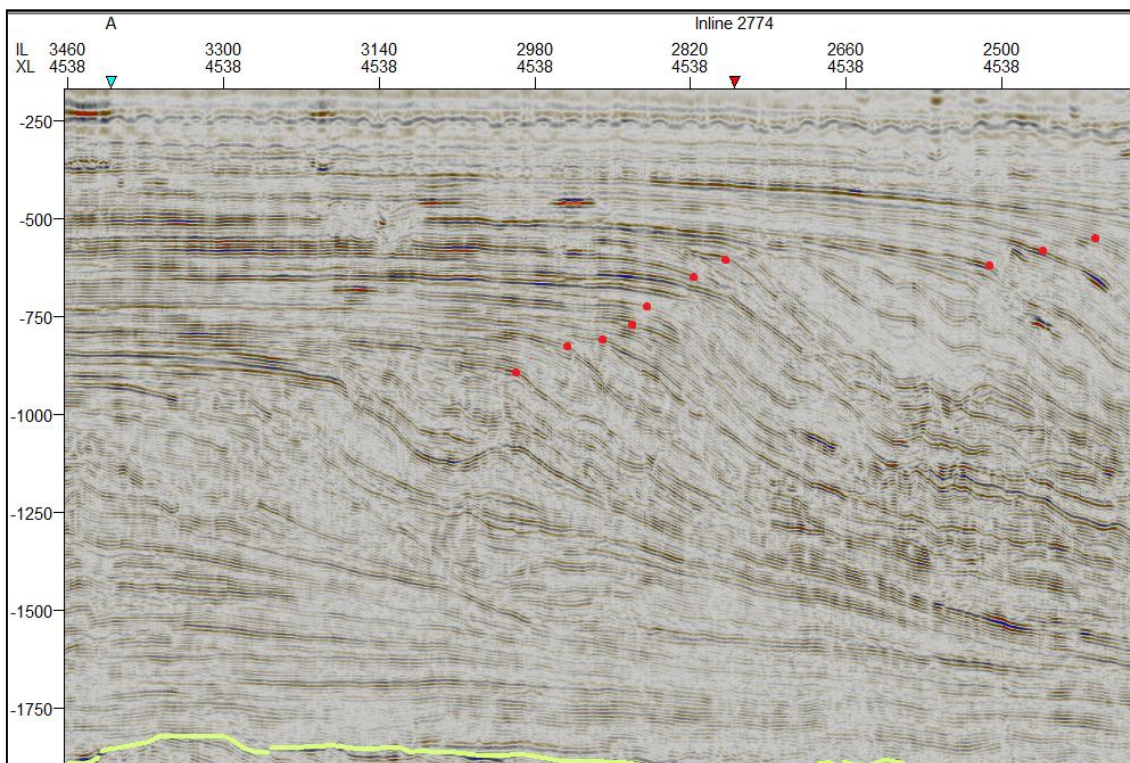


Fig. 25. Perfil sísmic mostrant els *breakpoints* de les sèries del Grup Ebre. S'hi observa com la component agradacional de la progradació varia al llarg del temps atenent a la relació entre la distància vertical i horitzontal entre *breakpoints* (punts en vermell).

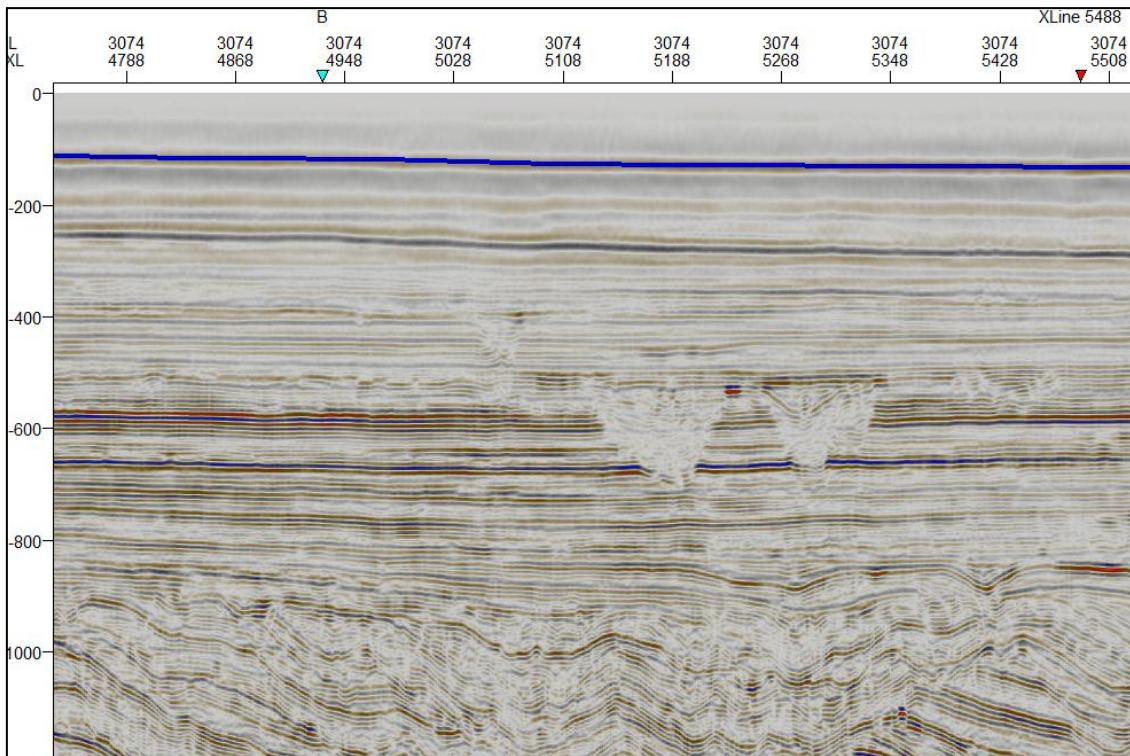


Fig. 26. Perfil sísmic mostrant l'erosió de canals fluvials en el Grup Ebre. El perfil correspon a una *inline* situada a 7500m vers el SE respecte el sondeig Fornax.1. Aquestes depressions són cada vegada més freqüents vers el SE i són conseqüència de l'erosió de canals fluvials en ambient deltaic.

### 3.4. Model estructural 3D dels límits de seqüència

En aquest apartat s'exposen els models estructurals corresponents al sòl marí i als límits de seqüència interpretats, aquests són el resultat de la seva juxtaposició entre perfils sísmics. De cada model, es mostra una perspectiva vers el nord i una segona vers el sud a fi de poder observar la seva geometria complerta.

#### 3.4.1. Base del *synrift*

La interpretació de la base del *synrift* en els perfils ha sigut dificultada per una baixa resolució sísmica, a causa de la presència de carbonats carstificats, així com per una estructura geològica complexa. Amb tot, malgrat que el resultat obtingut per aquesta superfície presenti controvèrsies a petita escala, a gran escala permet fer valoracions de tendències que s'hi presenten, així com de les seves característiques principals.

El model estructural 3D de la base del *synrift* mostra un relleu irregular amb canvis de profunditats graduals. Les seves regions nord i sud presenten un seguit de depressions, les quals contrasten amb tota la regió central, d'oest fins a est, on el relleu és convex i

marcat per profunditats menors, sobretot en la regió est. La zona de profunditats menors presenta doncs de forma aproximada un eix d'orientació NE, similar a l'orientació a grans trets dels *horsts and grabens* pertanyents a aquest període.

En l'extrem sud de la superfície, s'observa com la profunditat disminueix lleugerament, del que en resulta una morfologia còncava de la regió situada entre aquest i la part central.

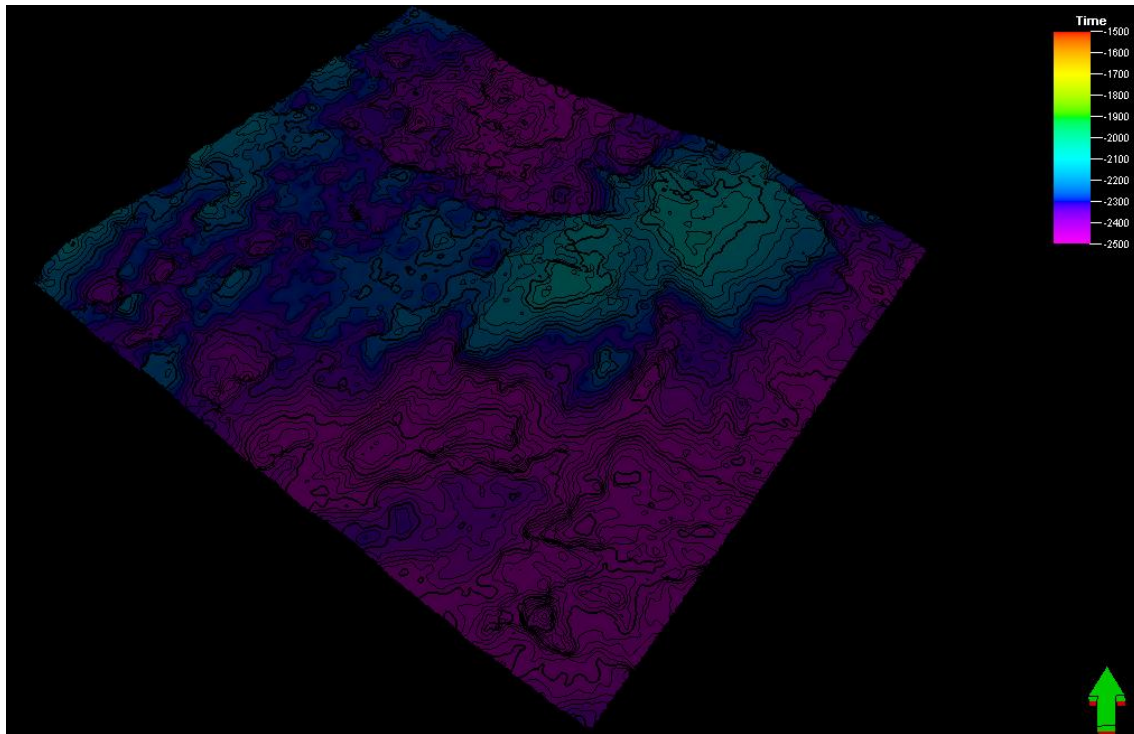


Fig. 27. Model estructural 3D de la base del *synrift*. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -3178.79ms i la mínima de -2064.7ms. La figura ha estat exagerada verticalment 2 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos. En vertical, la superfície està dividida en 25 isolínies de 44.56ms de separació entre elles.

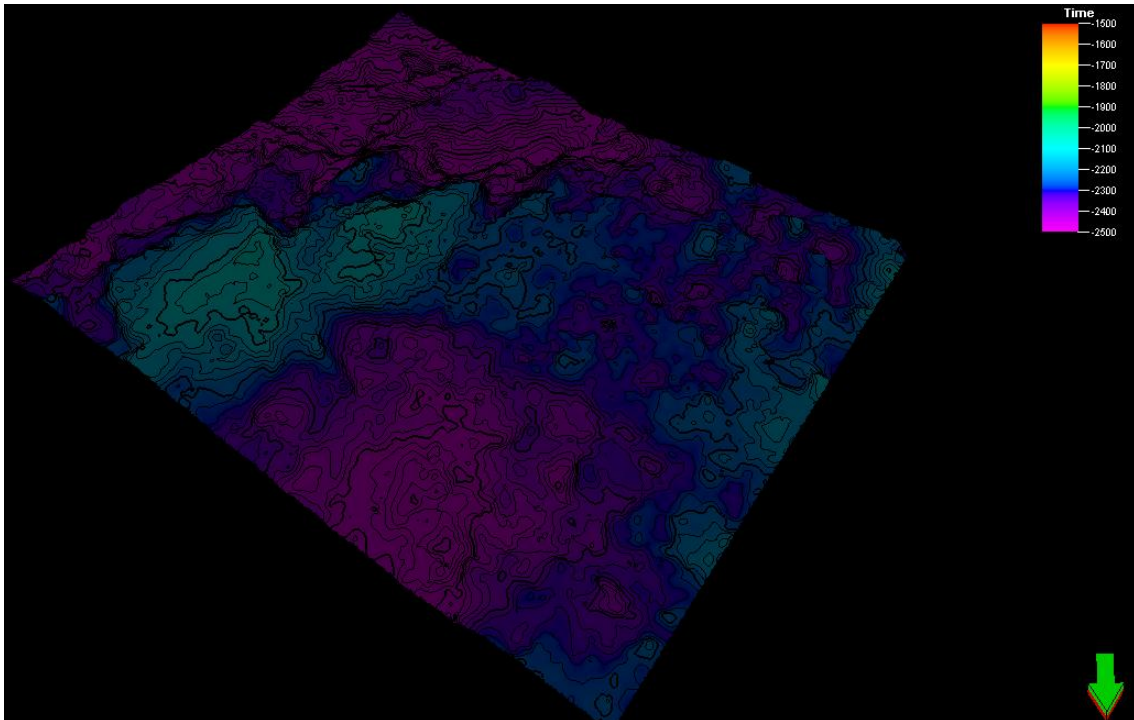


Fig. 28. Model estructural 3D de la base del *synrift*. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -3178.79ms i la mínima de -2064.7ms. La figura ha estat exagerada verticalment 2 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos. En vertical, la superfície està dividida en 25 isolínies de 44.56ms de separació entre elles.

### 3.4.2. Base del *postrift*

El model estructural 3D corresponent a la base del *postrift* consta d'un relleu relativament pla i homogeni. És en la regió sud i en una part de la nord on els valors de profunditat són majors, essent menors entorn la regió del NO i sobretot en la part central.

En línies generals, el relleu mostra les mateixes tendències que les observades en la base del *synrift*, tot i que en el cas present, la diferència entre valors de profunditat màxims i mínims és menor. S'observa doncs que els valors de profunditat en les regions convexes i menys profundes són similars entre ambdós límits de seqüència, en canvi, les regions còncaves que presenten profunditats màximes mostren valors molt distants entre base i sostre del *synrift*.

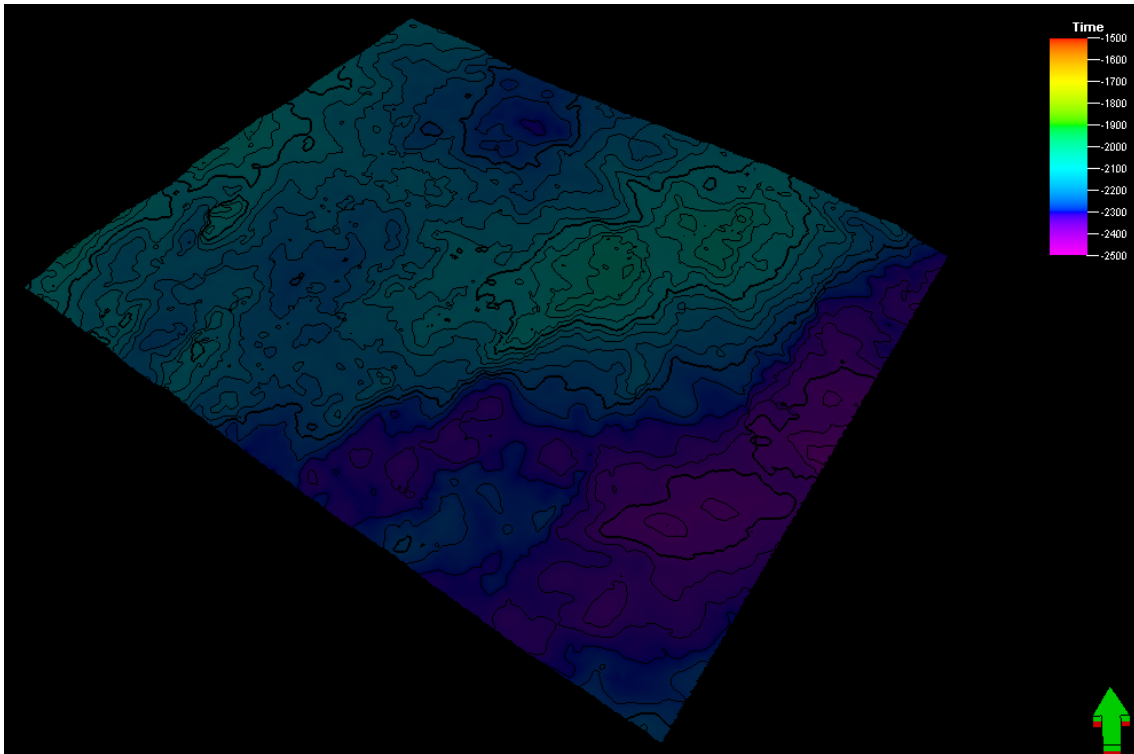


Fig. 29. Model estructural 3D del sostre del *synrift*. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -2431.58ms i la mínima de -2011.64ms. La figura ha estat exagerada verticalment 2 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos i poder-la comparar amb la base del *synrift*. En vertical, la superfície està dividida en 25 isolínies de 16.80ms de separació entre elles.

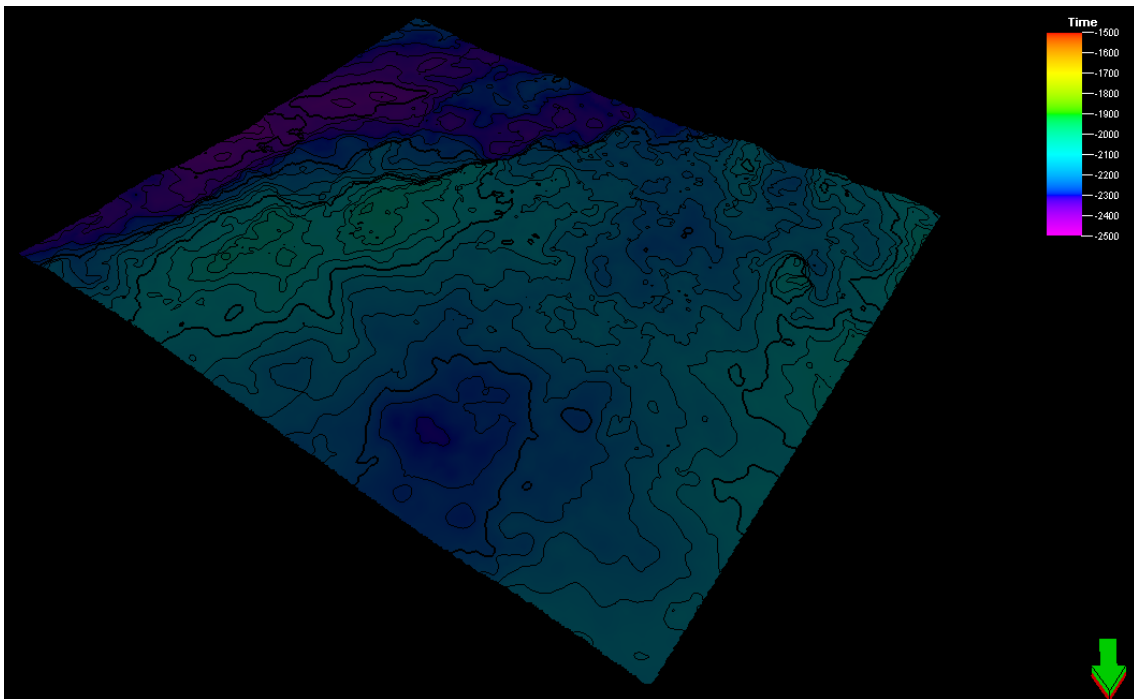


Fig. 30. Model estructural 3D del sostre del *synrift*. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -2431.58ms i la mínima de -2011.64ms. La figura ha estat exagerada

verticalment 2 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos i poder-la comparar amb la base del *synrift*. En vertical, la superfície està dividida en 25 isolínies de 44.56ms de separació entre elles.

### 3.4.3. Discontinuitat messiniana

En línies generals, la discontinuitat messiniana es pot dividir en dues regions, una al NO i l'altre al SE. Al NO el relleu és molt accidentat, les depressions que s'hi observen són de caràcter rectilini, molt profundes i tendeixen a convergir. En canvi, en la regió SE, el relleu és més pla i homogeni, situant-se les profunditats màximes en la seva part central.

S'observa com les profunditats mínimes en la regió NO presenten valors molt similars, fenomen que no mostra la regió SE. Per altra banda, els valors mínims disminueixen gradualment des del NO vers el SE.

Les incisions observades conflueixen en un única depressió que travessa el perfil des del NO vers el SE, aquesta depressió es mostra més estreta i profunda en la regió NO i més estesa i homogènia amb el relleu que l'envolta en la regió SE.

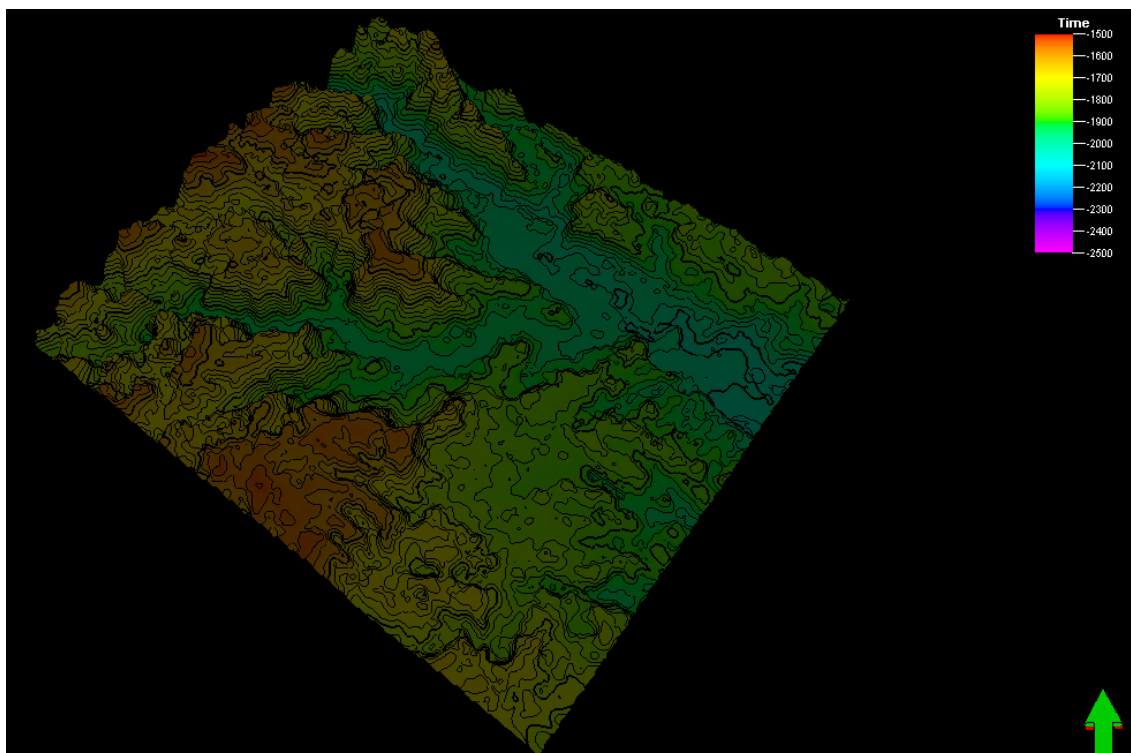


Fig. 31. Model estructural 3D de la discontinuitat messiniana. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -2041.33ms i la mínima de -1513.40ms. La figura ha estat exagerada verticalment 7.5 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos. En vertical, la superfície està dividida en 25 isolínies de 21.12ms de separació entre elles.



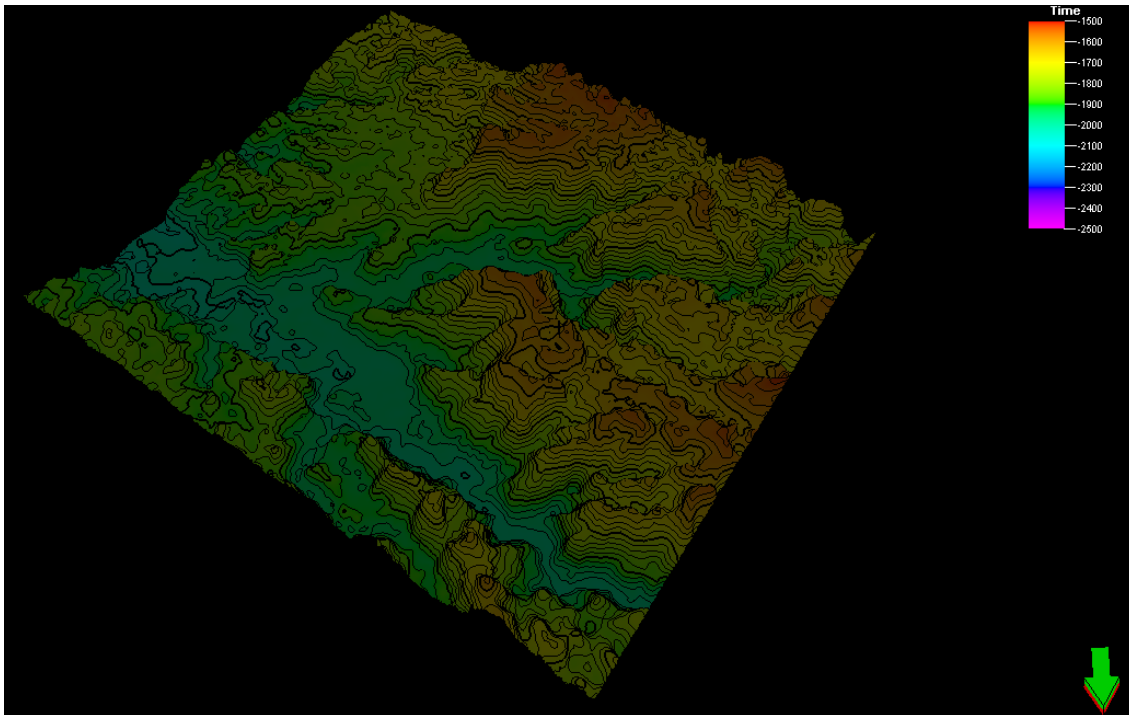


Fig. 32. Model estructural 3D de la discontinuïtat messiniana. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -2041.33ms i la mínima de -1513.40ms. La figura ha estat exagerada verticalment 7.5 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos. En vertical, la superfície està dividida en 25 isolínies de 44.56ms de separació entre elles.

#### 3.4.4. Sol marí

El model estructural corresponent al sòl marí és pot dividir en dues regions, una al NO, la qual ocupa 3/4 parts de la superfície total, i una altre al SE.

La regió del NO presenta una lleugera inclinació vers al SE. El relleu és pràcticament pla excepte alguns discrets contrastos de morfologia allargada i d'orientació NE.

La regió del SE consta d'una pendent molt més pronunciada i d'un relleu irregular, sobretot en el seu tram de profunditats menors, on s'hi observen depressions molt marcades en forma de canal. En canvi, en el seu tram situat en l'extrem SE, la pendent és de nou més feble i els canvis de profunditat graduals.

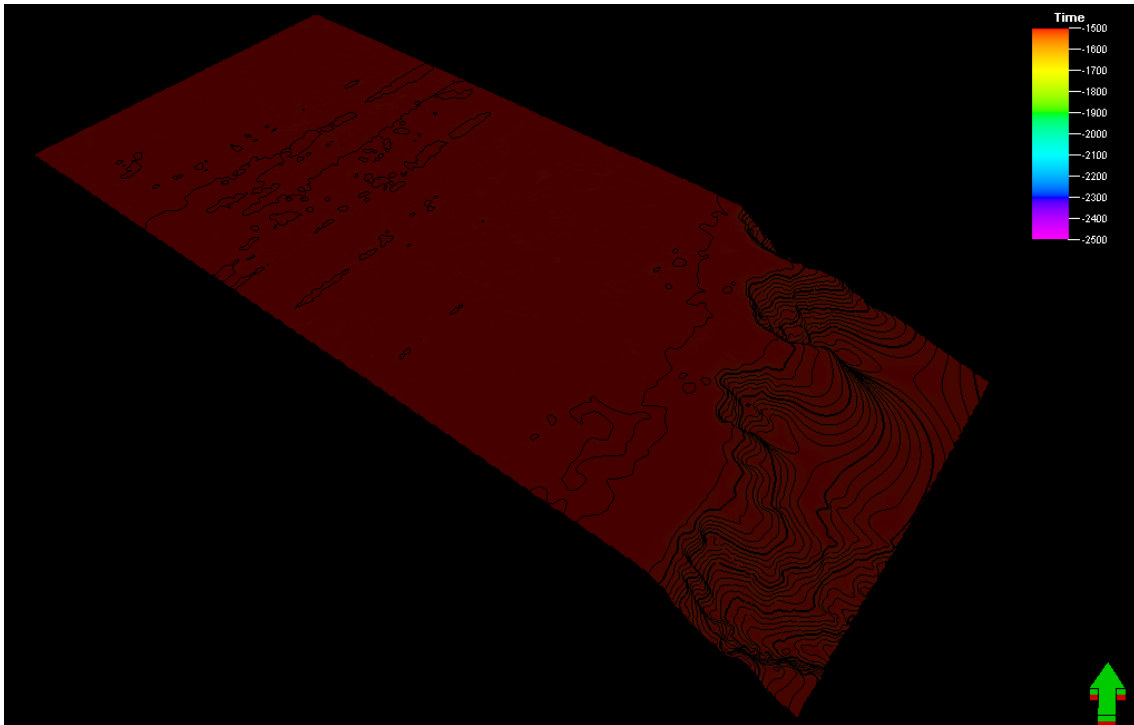


Fig. 33. Model estructural 3D del sòl marí. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -1438.10ms i la mínima de -72.80ms. La figura ha estat exagerada verticalment 3 vegades a fi d'apreciar-ne millor els contrastos. En vertical, la superfície està dividida en 50 isolínies de 27.31ms de separació entre elles.

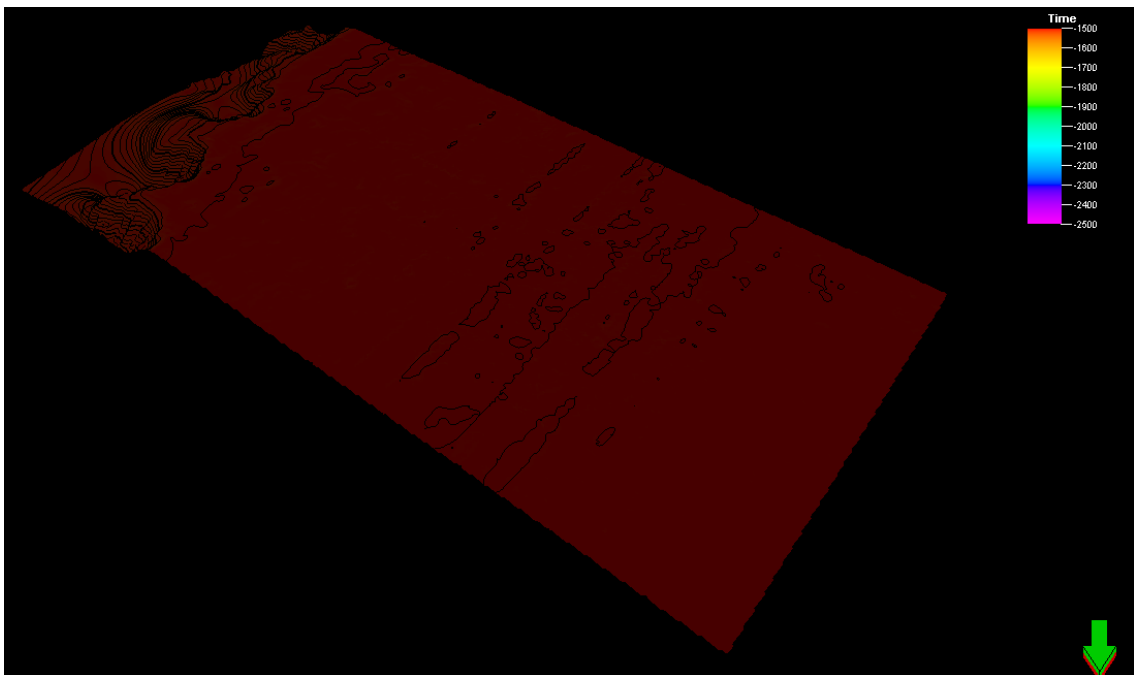


Fig. 34. Model estructural 3D del sòl marí. La fletxa indica l'orientació vers el nord. La profunditat màxima és de -1438.10ms i la mínima de -72.80ms..La figura ha estat exagerada verticalment 3 vegades

a fi d'apreciar-ne millor els contrastos. En vertical, la superfície està dividida en 50 isolínies de 27.31ms de separació entre elles.

#### 4. Discussió

Els models estructurals 3D mostren com l'evolució sedimentària de l'àrea d'estudi ha estat intensament influenciada per activitat tectònica, des del sòcol paleozoic - mesozoic fins al sostre del període *synrift*. Diversos autors indiquen que l'activitat principal del *rift* cenozoic es va interrompre en el Golf de València a finals del Burdigalià, en canvi però, la interpretació de la base de la Formació Margues de Sant Carles com el sostre del *synrift* la situa en el Serraval·lià. Aquesta diferència temporal es pot explicar pel fet que el final del *synrift* va tindre lloc en edats diferents segons la regió del Golf de València, d'aquí que tot sovint hi hagi discrepàncies entre diferents autors, alguns dels quals, marquen l'edat serraval·liana com el final de l'activitat del *rift* en el Golf de València, coincidint en aquests casos amb els resultats obtinguts.

L'activitat tectònica del *rift* cenozoic és l'origen dels diferents espais d'acomodació sedimentària que mostra el model de la base del *synrift*, els quals han sigut, tal i com s'observa en els perfils sísmics, gradualment reblerts per sediments, donant lloc finalment a depressions de menor magnitud en el sostre del *synrift* que les que s'observen en la base. Per altra banda, les regions menys profundes de la base del *synrift*, presenten espais d'acomodació molt reduïts, i en conseqüència, valors de profunditat molt similars als del sostre de la mateixa seqüència. Atenent a la bibliografia, els sediments que han ocupat aquests espais d'acomodació provenen de l'erosió del relleu resultant de l'orogènia alpina.

Tant en la base com en el sostre del *synrift*, les regions menys profundes es poden agrupar en un eix d'orientació NE, el qual és equivalent a l'orientació de les estructures tectòniques del *rift* cenozoic indicades en la bibliografia, el que permet interpretar aquestes zones com pertanyents a un sistema de *horst and graben*.

La seqüència sedimentària limitada per la base del *postrift* i la discontinuïtat messiniana consta segons la bibliografia de geometries típiques de progradació fluvial, tot i així, en els perfils sísmics aquestes no s'observen de forma clara, donat el gran abast de l'erosió que va tindre lloc durant la crisi del messinià.

El model estructural de la discontinuïtat messiniana mostra en general un relleu molt accidentat, les depressions del qual són típiques, per la seva geometria i disposició, del resultat de l'erosió en condicions subaèries, el qual és coherent doncs amb les citacions bibliogràfiques que indiquen la formació prèvia de sistemes de drenatge amb connexió al mar durant el Miocè Superior. El canal principal d'orientació SE que s'observa en el model i al qual convergeixen altres canals, es pot atribuir al canal fluvial

principal amb desembocadura al mar. De la ubicació geogràfica de la sísmica 3D s'interpreta que aquest canal és equivalent al de l'actual riu Ebre, el traçat del qual, per tant, no s'hauria desplaçat de forma important a nivell geogràfic almenys en els darrers 5 milions d'anys.

Les dues regions diferenciades en el model estructural de la discontinuïtat messiniana corresponen a regions amb sistemes de drenatge de taxa erosiva diferent, constant d'una taxa d'erosió més elevada en la regió NO, i per tant, aquesta estaria probablement més allunyada geogràficament del mar. Tots aquests resultats són per tant coherents amb els citats per la bibliografia. Per altra banda, no s'observen geometries pròpies de moviments halocinètics, del que es pot deduir que en l'àrea d'estudi el volum de salts precipitades durant la crisi del messinià seria molt reduït.

La seqüència sedimentària del Grup Ebre es mostra en els perfils sísmics amb una forta influència fluvial, marcada per un important caràcter progradant de les sèries sedimentàries típic d'ambient deltaic, del qual es dedueix que l'aportació de sediments per les xarxes de drenatge ha continuat sent molt elevada durant el Neogen. Per altra banda, no s'observa cap registre de l'ascens del nivell del mar postmessinià, del que s'interpreta que aquest va tindre lloc de manera molt brusca i durant un període de temps molt curt, fenomen que ja ha estat citat en la bibliografia.

El model estructural 3D del sòl marí actual mostra un seguit de depressions en la regió de major pendent, els quals es poden interpretar com canyons incisos en el talús continental, alguns d'aquests canyons poden haver estat formats durant la crisi del messinià i ampliat per les corrents marines a través del temps, tot i així, no s'han obtingut resultats adients com per deduir la correspondència entre els canyons actuals i els originats per l'erosió fluvial durant la crisi del messinià.

Malgrat que diverses formacions del Golf de València han sigut objecte de prospecció petrolera des dels anys seixanta, del *well logging* s'observa com en els trams molt porosos la resistivitat és baixa, i per tant, es dedueix que les porositats estan ocupades per aigua salda. Aquests resultats són coherents amb les citacions bibliogràfiques, donat que les porositats observades pertanyen a la roca mare i que el conjunt de reservoris productors ja han sigut en l'actualitat explotats.

En la interpretació de la sísmica 3D realitzada en aquest projecte, s'ha deixat una separació entre perfils interpretats reduïda (de 625m) de cara a obtenir un major detall en els models estructurals 3D, en detriment però de l'extensió geogràfica de la regió estudiada. A partir dels resultats obtinguts, es pot deduir que l'abast de les tendències geomètriques observades en els models és molt major, així doncs, és interessant en futurs projectes desenvolupar a major escala la interpretació sísmica, a fi de poder visualitzar de forma més completa les estructures obtingudes en els resultats, així com possibles canvis de tendències en aquestes. En el model de la base

del *synrift*, és interessant perllongar la interpretació vers el NE, de cara a confirmar que l'eix conformat per les regions de menys profunditat es continua estenent en aquesta direcció, tal i com és previsible d'acord a amb les citacions bibliogràfiques. De la mateixa manera, també és previsible que les regions caracteritzades per depressions mostrin valors cada vegada més profunds vers el SE. Per altra banda, en el model de la discontinuïtat messiniana, és també interessant estendre la interpretació vers el SE, a fi de poder visualitzar directament la connexió al mar del canal fluvial principal interpretat.

Amb tot, els resultats obtinguts confirmen la gran complexitat de l'evolució geològica que ha tingut lloc en la zona, de la qual se'n deriva el seu interès, ja que en certes regions les condicions poden haver estat particularment favorables a la producció i/o emmagatzematge d'hidrocarburs, sent per tant recomanable la continuïtat de les campanyes d'investigació i de prospecció.

## 5. Conclusió

La modelització estructural 3D ha permès visualitzar de forma directe la geometria del sòl marí actual, així com la dels límits de seqüència conformats per la base del *synrift*, la base del *postrift* i la discontinuïtat messiniana. La interpretació dels límits de seqüència al llarg dels perfils sísmics ha permès també l'obtenció de resultats que complementen els models estructurals 3D, al mostrar com han progressat en el temps les seqüències sedimentàries.

Els resultats obtinguts són coherents amb la història geològica general que ha afectat el TOCM, així com també amb moltes de les citacions realitzades en la bibliografia. Aquests es poden resumir en:

- El *synrift* cenozoic va originar uns espais d'acomodació que van ser reblerts per sediments erosionats del relleu alpí. La seva activitat tectònica es va perllongar en el nord del Golf de València fins a l'edat serraval·liana.

- La conca de l'Ebre ja constava d'un sistema de drenatge amb connexió al mar durant la crisi del Messinià, el qual va erosionar la plataforma continental i molt probablement també el talús abissal.

- L'ascens del nivell del mar en finalitzar la crisi del Messinià va ser molt ràpid.

- El volum de salts precipitades en el Golf de València durant la crisi del Messinià va ser molt reduït comparat amb el d'altres regions del TOCM.

- La progradació fluvial en el Golf de València ha sigut important durant tot el Neogen.

-No s'ha observat presència d'hidrocarburs en les porositats dels materials travessats pel sondeig Fornax-1.

## 6. Referències

BEAUCHAMP, J. Sédimentologie [en línia]. Darrera actualització: 2005. Disponible: <http://www.u-picardie.fr/~beaucham/cours-sed/sed-11.htm>. [consultat el 21/04/2014]

**CLAVELL, E., BERASTEGUI, X. (1991).** Petroleum geology of the Gulf of Valencia. In: ed. A.M. Spencer (ed.). Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons. Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists. No. 1, 335-368. Oxford University Press, Oxford. The European Association of Petroleum Geoscientists, 1991.

**MASANA, E. (1996).** Neotectonic features of the Catalan Coastal Ranges, Northeastern Spain. ACTA GEOLOGICA HISPANA, v. 29 (1994). n<sup>os</sup> 2-4, p. 107 - 121 (Pub. 1996).

**MICHON, L. (2000).** Dynamique de l'extension continentale - Application au Rift Ouest-Européen par l'étude de la province du Massif Central. Tesis doctoral. Univ. Blaise Pascal. Auvergne, France.

MOINE, M. La planète du géologue randonneur/La Méditerranée [en línia]. Darrera actualització: 2010. Disponible: <http://geologierandonneurs.fr>. [consultat el 26/04/2014]

**Operaciones Geológicas/BG Group. (2005).** Informe de fin de sondeo Fornax-1. Informe Geològic. Departamento de operaciones geológicas, 2005.

**ROCA, E. (2001).** The Northwest Mediterranean Basin ( Valencia Trough, Gulf of Lions and Liguro-Provençal basins ): structure and geodynamic evolution. In: P.A. Ziegler, W. Cavazza, A.H.F. Robertson & S. Crasquin - Soleau (Eds.). Peri - Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins 186, 671-706. Peri - Thetys Memoir 6, Mémoires du Musée National d'Histoire Naturelle, Paris.

**VERGÉS, J., SÀBAT, F. (1999).** Constraints on the Neogene Mediterranean kinematic evolution along a 1000km transect from Iberia to Africa. In: The Mediterranean Basins:

Tertiary Extension within the Alpine Orogen. DURAND, B., JOLIVET, L., HOVATH, F. & SÉRANNE, M (eds.) Geological Society, London, Special Publications, 156, 63-80.

SCHLUMBERGER. Schlumberger [ en línia ]. Darrera actualització: 2014. Disponible: <http://www.slb.com/>. [consultat el 2/05/2014]

**URGELERS, R., CAMERLENGHI, A., GARCIA-CASTELLANOS, D., DE MOI, B., GARCÉS, M., VERGÉS, J., HASLAM, I., HARDMAN, M. (2011).** New constraints on the Messinian sea level drawdown from 3D seismic data of the Ebro Margin, western Mediterranean. Basin Research 12, 123-145.