

# EL MIOCÈ SINOROGÈNIC DE MALLORCA, FORMACIONS CALCARENÍTICA DE SANT ELM I TURBIDÍFICA DE BANYALBUFAR (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), ANÀLEG DE *PLAY* PRE-SAL A LA MEDITERRÀNIA NORD-OCCIDENTAL

Guillem Mas Gornals

Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears.  
Ctra. Valldemossa, km 7.5, 07122 Palma, Mallorca (Illes Balears)

**Resum:** La present aportació, pretén ésser un homenatge al Dr. Antonio Rodríguez Perea amb motiu de la seva jubilació, oferint unes breus pinzellades sobre l'analogia observada entre la Formació Calcarenítica de Sant Elm i la Formació Turbidítica de Banyalbufar, establertes pel Dr. Rodríguez Perea a la seva tesi doctoral sobre el miocè sinorogènic de Mallorca, confrontant-les amb possibles *plays* de l'oligocè-miocè pre-crisi de salinitat a la Mediterrània nord-occidental. Ateses (i) l'equivalència cronoestratigràfica, (ii) la similitud en la tipologia i diversitat de fàcies, així com (iii) la coincidència de patrons estratigràfics, hem de concloure necessàriament, que ens trobem davant un cas excepcional d'analogisme, podent considerar les formacions miocenes sinorogèniques de l'illa de Mallorca, calcarenítica de Sant Elm i turbidítica de Banyalbufar, com un anàleg *on-shore* del *play* miocè pre-sal de la depressió de València.

**Paraules clau:** calcarenites, turbidites, miocè sinorogènic, anàlisi d'anàlegs, Mallorca .

**Abstract:** This contribution is intended to be a tribute to Antonio Rodríguez Perea (PhD) on his forthcoming retirement, offering brief sketches on the analogy observed between the synorogenic Miocene formations of Mallorca, the Calcarenitic Formation of Sant Elm and the Turbiditic Formation of Banyalbufar, established by the Dr Rodríguez Perea in his PhD thesis, confronting them with a possible play of the Miocene pre-crisis salinity in the Northwest Mediterranean. Given (i) the chronostratigraphic equivalence, (ii) the similarity in the typology and diversity of facies, as well as (iii) the coincidence of stratigraphic patterns, we must conclude that we are facing an exceptional case of analogy, consider the Miocene synorogenic formations of the island of Mallorca an *on-shore* analogue of hydrocarbon play from the pre-salt Miocene of the Valencia Trough.

**Keywords:** calcarenites, turbidites, synorogenic Miocene, analogues analysis, Mallorca..

*Venim del nord, venim del sud,  
de terra endins, de mar enllà,  
i no creiem en les fronteres  
si darrera hi ha un company  
amb les seves mans esteses  
a un pervindre alliberat ...*

Lluís Llach  
(Venim del nord, venim del sud, 1987)

## Introducció

Les tècniques d'anàlisi d'anàlegs i reservoris s'han convertit en una nova i potent eina per optimitzar l'estimació i explotació d'hidrocarburs (CABELLO *et al.*, 2006). L'estudi d'afloraments de qualitat, en anàlegs de reservoris sedimentaris proporciona una àmplia i completa base de dades que descriu la geometria i disposició dels elements sedimentaris com la geometria de cossos sedimentaris i la seva continuïtat en les diferents direccions de l'espai, els angles d'apilament que descriuen tendències progradants i retrogradants, etc.

Aquestes dades es poden utilitzar per construir models de fàcies en l'anàleg (DREYER *et al.*, 1993; ÇİFTÇİ *et al.*, 2004; LARUE, 2004) que juntament amb les dades *on-shore* utilitzades per a la seva construcció proporcionen informació complementària *off-shore* reduint la incertesa en la modelització de reservoris en el subsòl, relacionada amb l'escassetat d'informació disponible (limitada generalment a dades de pous i sísmiques *on-shore*).

La present aportació, pretén ésser un homenatge a la persona i obra del Dr. Antonio Rodríguez Perea, oferint unes breus pinzellades que fan palesa l'analogia observada entre les formacions del miocè sinorogènic de Mallorca: Formació Calcarenites de Sant Elm i Formació Turbidítica de Banyalbufar, descrites a la tesi doctoral del propi homenagejat (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), en relació a determinats sistemes i extensions d'hidrocarburs del miocè pre-crisi de salinitat de la Mediterrània nord-occidental. Ja fa algun temps que m'havia fixat en aquesta similitud, que ara aprofito per desenvolupar, aprendre un poc més i retre homenatge al jubileu de n'Antonio.

### **Sistemes d'hidrocarburs vs. *play* concepts**

Un sistema d'hidrocarburs està format pels components i processos necessaris per generar i emmagatzemar hidrocarburs, això inclou una roca generadora, un trajecte de migració, una trampa o parany geològic, una roca magatzem i un segell (ALLEN i ALLEN, 2013).

Una correcta seqüència cronològica d'aquests elements, així com els corresponents processos de generació, migració i acumulació (roca generadora madura, un trajecte de migració practicable, una, una roca magatzem amb suficient capacitat-porositat, una trampa geològica i un segell efectius), són necessaris per a la formació i preservació dels hidrocarburs. A diferència del *play* i les prospeccions, que aborden les acumulacions comercials que encara no s'han descobert, el sistema d'hidrocarburs només inclou els esdeveniments descoberts (MAGOON, 1995).

Per altra part, el neologisme-anglicisme *play concept*, *hydrocarbon play* o simplement *play*, fa referència al conjunt de camps i/o prospeccions en una determinada regió, que estan controlats per les mateixes característiques geològiques generals (roca magatzem, segell, roca generadora i tipus de trampa). Així, mentre que en un sistema d'hidrocarburs, només es quantifiquen les aparicions d'hidrocarburs que ja han estat descobertes, en el *play*, les acumulacions d'hidrocarburs potencials, encara no descobertes, són comercials.

### **Hidrocarburs de la conca nord-occidental mediterrània**

Els sistemes d'hidrocarburs de la conca nord-occidental mediterrània es poden classificar en dues tipologies principals: sistemes comprovats i sistemes especulatiu. Altres classificacions aplicades a aquests sistemes els defineixen entre sistemes d'aigües poc profundes vs. sistemes d'aigües profundes o també entre sistemes pre-sal, messinians o post-sal. La relació temporal entre sistemes anàlegs pot ésser de tipus sincrònic o diacrònic (GRANADO *et al.*, 2016).

El sistema d'hidrocarburs comprovats de la depressió de València es conserva en els alts estructurals dels blocs de falles inclinats del domini proximal (CLAVELL i BERASTEGUI, 1991; VARELA *et al.*, 2005). El reservori principal està constituït per bretxes i conglomerats carbonatats ressedimentats, fracturats, carstificats i dolomititzats de carbonats de diverses edats.

Aquestes unitats estan sobreposades al substrat mesozoic, també fracturat i carstificat, que en si mateix constitueix un altre tipus de reservori (ESTEBAN, 2013; M. ESTEBAN com. pers., *in* ESESTIME *et al.*, 2015).

En aquest cas, la migració d'hidrocarburs es va produir per ascens des de la formació juràssica de margues del mas d'Ascla (Salzadella, Maestrat) fins a la formació d'esquistos del miocè (Formació Casablanca), a través del sistema de falles extensionals (CLAVELL BERASTEGUI, 1991).

Els sistemes especulatiu pre-sal estan constituïts per (GRANADO *et al.*, 2016): (i) conques mesozoiques dels dominis proximal i marginal, (ii) falques continentals a marines de l'oligocè-miocè als dominis litoral i distals de conca; mentre que els messinians i post-sal, es corresponen amb (iii) tota una sèrie de sistemes associats a l'estratigrafia seqüencial dels models de Crisi de Salinitat Messiniana i depòsits plioquaternalis (depòsits de transport massiu, gresos deltaics, al·luvials i fluvials dels sistemes pre-sal, i gresos deltaics i turbidítics dels sistemes post-sal).

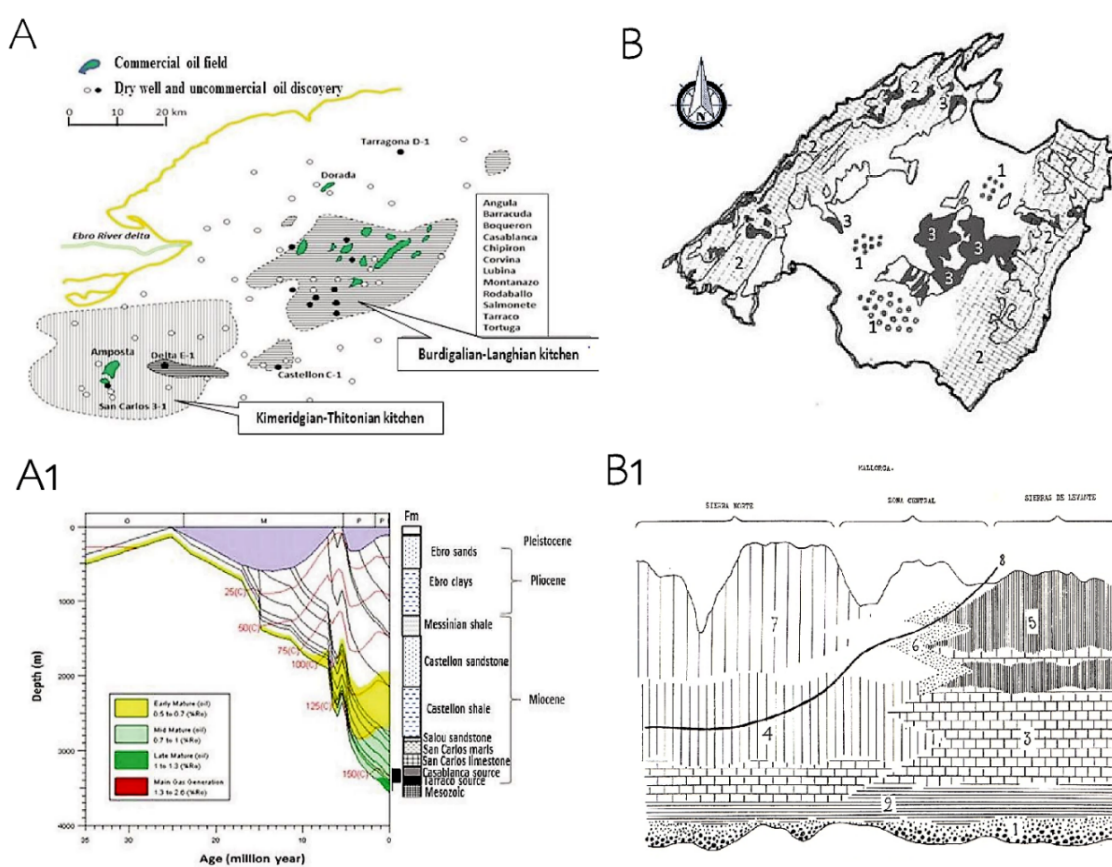
*El sistema especulatiu de l'oligocè-miocè de la depressió de València*

La denominada depressió de València (CANALS *et al.*, 1982) ha d'ésser considerada com una autèntica província geològica (Fig. 1A), on dos tipus de roques d'origen marí, del juràssic i de l'oligocè-miocè) que constitueixen dues cuines d'hidrocarburs diferents que estableixen dos sistemes d'hidrocarburs amb diferents models de maduresa de roca font i models de migració diferents (ESESTIME *et al.*, 2015; GRANADO *et al.*, 2016; MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019):

a) una cuina d'hidrocarburs juràssica, que ha donat lloc al sistema petrolífer d'edat kimmeridgià-titònica de la formació de margues del mas d'Ascla (Maestrat), que ha proporcionant un cru lleuger.

b) una cuina d'hidrocarburs miocena, que ha donat lloc al sistema d'hidrocarburs de l'oligocè final-miocè mitjà (grup Alcanar *s.l.*).

Ens interessa aquí bàsicament el sistema d'hidrocarburs de l'oligocè final- miocè mitjà, atesa la seva coincidència cronoestratigràfica, correlació de superfícies i igualtat de fàcies amb les formacions del miocè sinorògènic de Mallorca (Fig. 2).



**Fig. 1.** A. Localització del sistema d'hidrocarburs de la depressió de València (segons MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019). A1. Tall estratigràfic del sistema d'hidrocarburs de la depressió de València (segons MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019); B. Distribució *on-shore* de les formacions sinorògèniques Calcarenítica de Sant Elm (1 i 2) i Turbidítica de Banyalbufar (3), proposades com a anàleg de pre-sal *play* (a partir d'ÀLVARO *et al.*, 1986). Llegendra: 1. conglomerats de base, 2. calcàries de la unitat de conglomerats i calcàries, d'edat aquitànià-burdigalià inferior (segons ÀLVARO *et al.*, 1986) equivalent a la Formació Calcarenítica de Sant Elm (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984); 3. Turbidites de la unitat turbidítica-calcària, d'edat burdigalià-languià (segons ÀLVARO *et al.*, 1986) equivalent a la Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984); B1. Distribució estratigràfica del registre del miocè sinorògènic de l'illa de Mallorca (a partir d'ÀLVARO *et al.*, 1986 i COLOM, 1969): 1. conglomerats de base, 2. calcàries i gresos, 3. calcàries zoogèniques, 4. margues arenoses, 5. calcàries i margues arenoses de les serres de Llevant, 6. zona glauconítica i de moronites, 7. margues grises amb abundants globigerínids.

El grup Alcanar es disposa sobre la discordança erosiva del sostre del mesozoic, omplint les cubetes i amb relacions de tipus *on+amb lap* cap als alts mesozoics o del basament varisc. Les dades de pou indiquen una edat variable per aquesta unitat, que va des del paleocè al miocè mitjà. La part inferior de el grup Alcanar està formada per uns conglomerats poligènics coneguts com "la bretxa Alcanar". Cap a sostre es troben lutites riques en matèria orgànica d'edat burdigalià (v.g. Formació Casablanca). Sobre aquestes successions es troben altres successions margós-argiloses amb nivells de calcarenites d'edat miocè mitjà (KLIMOWITZ *et al.*, 2018).

Els principals trets del sistema petrolífer de l'oligocè tardà-miocè mitja venen definits pels següents ítems (MARTÍNEZ DEL OLMO & MOTIS, 2012; ESESTIME *et al.*, 2015; GRANADO *et al.*, 2016; MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019):

- Denominació: Sistema especulatiu de l'oligocè-miocè de la depressió de València (Grup Alcanar s.l.)
- Classificació: Sistema especulatiu
- Relació amb MSC: Pre-sal
- Situació: *Off-shore*
- Província/conca: Avant país (*foreland*) de la depressió de València
- Roca generadora: Formació Casablanca (burdigalià-languià). Històricament, l'exploració d'hidrocarburs s'ha centrat en aquest interval degut a la presència de lutites riques en

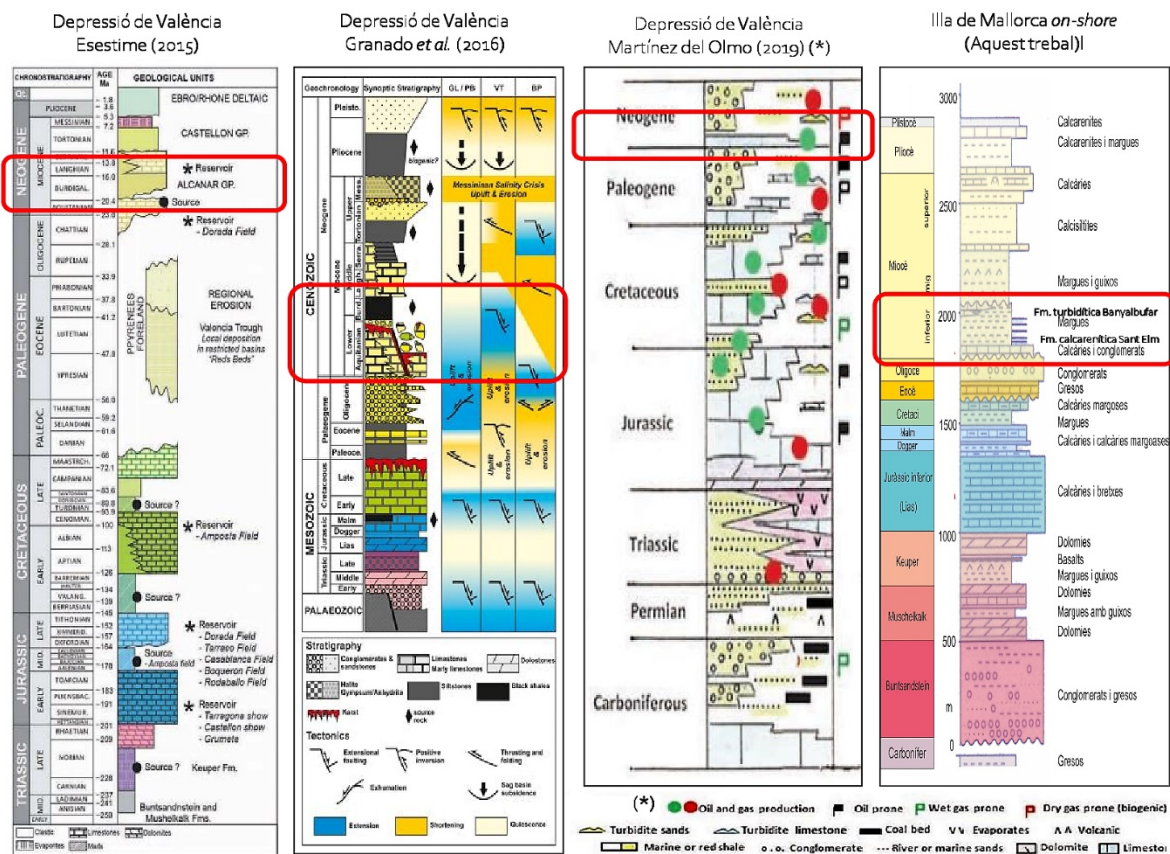


Fig. 2. Correlació (requadres vermells) entre columnes cronoestratigràfiques i sistemes d'hidrocarburs de la depressió de València amb el possible anàleg del miocè sinorogènic de l'illa de Mallorca: A. Depressió de València segons ESESTIME *et al.*, 2015 a partir de GELABERT *et al.*, 1992; B. Depressió de València segons GRANADO *et al.*, 2016, a partir de CLAVELL i BERASTEGUI, 1991 (llegenda: GL/PB, golf de Lió i conca Provençal; VT, depressió de València; BP, promontori Balear); C. Depressió de València segons MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019, a partir de MARTINEZ DEL OLMO i MOTIS, 2012; D. Illa de Mallorca segons MAS, 2015, a partir de RODRIGUEZ-PEREA i GELABERT, 1989 i GELABERT *et al.*, 1992.

matèria orgànica, provades roques propenses a la generació d'hidrocarburs en els camps i descoberts a la depressió de València (ESESTIME *et al.*, 2015)

- Trajecte migratori: Calcàries i gresos del miocè amb clar potencial de migració horitzontal, a través del nivell portador coincident amb de la inconformitat miocè-mesozoic
- Roca magatzem (reservori): Paleo-relleus de la inconformitat miocena-mesozoica
- Trampa sedimentaria: Paleorelleus de la inconformitat mesozoic-miocè
- Segell sedimentari: Argiles i esquistos del miocè

L'inici de depòsits de l'oligocè tardà-miocè mitja està controlat per la topografia erosiva irregular de la conca heretada de l'activitat tectònica anterior (Fig. 1-A1). El sistema basal transgressiu del miocè se situa en *on-lap* sobre inconformitat regional està compost per conglomerats i bretxes carbonatades (*bretxa d'Alcanar*), que també formen part del dipòsit.

### El miocè sinorogènic de Mallorca

Podem dividir els depòsits miocens de Mallorca en dos grans grups: els depòsits sinorogènics i els postorogènics (POMAR *et al.*, 1983; FORNÓS *et al.*, 1991; FORNÓS i GELABERT *in* VERA, 2004). Els sediments miocens sinorogènics es van depositar coincidint amb els moviments tectònics i es disposen discordants formant una superfície irregular sobre el mesozoic o el paleogen.

L'actual estructura de la l'illa de Mallorca és el resultat d'un conjunt d'esforços extensionals de direcció principal NE-SW que van donar origen a un sistema d'alternança de *horsts* (zones elevades: serralades i relleus) i *grabens* (zones enfonsades: conques i plataformes). Els materials que conformen el basament pre-miocè i les seqüències miocenes sinorogèniques afloren en els relleus estructurats que constitueixen els *horsts*, mentre que les seqüències postorogèniques afloren com a materials de rebliment dels *grabens*.

El miocè sinorogènic de Mallorca presenta tres seqüències deposicionals, formades per un total de 6 unitats, que registren des de sedimentació inicial sobre el relleu irregular fins la sedimentació continental finorogènica. Entre aquestes unitats sinorogèniques, les 2 inferiors han estat proposades amb categoria de formació (FORNÓS *et al.*, 1991) i que són les que aquí ens ocupen: formació Calcarenítica de Sant Elm i la formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984).

No ens interessa aquí repetir l'estudi detallat a la menuda realitzat pel descriptor en la formulació d'aquestes formacions (Fig. 3) dins de la seva tesi doctoral (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), sinó destacar els trets diferencials més significatius que ens puguin ajudar a confrontar aquestes unitats amb altres de similars.

#### *Formació Calcarenítica de Sant Elm (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984)*

La Formació calcarenítica de Sant Elm, formulada a la tesi del Dr. Rodríguez-Perea (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), en ocasions també denominada *unitat basal* (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), està formada essencialment per calcàries bioclàstiques, i en menor mida conglomerats, calcàries esculloses i paleosòls (Figs. 3 i 4). Presenta potència i distribució irregulars al llarg de tota l'illa (POMAR *et al.*, 1983; FORNÓS *et al.*, 1991; FORNÓS & GELABERT *in* VERA, 2004).

La sedimentació s'atribueix en general a ambients de plataforma somera i mitjans litorals, amb petites aportacions de sediments terrígens. S'hi poden distingir 5 associacions de fàcies diferents: (i) depòsits continentals (bretxes calcàries i paleosòls), (ii) ambients restringits (calcisiltites arenoses i calcàries lacunars amb cadenes algals i restes vegetals) (Fig. 4A-B), (iii) sediments litorals (conglomerats i calcarenites amb foraminífers bentònics, bivalves, equinoderms, rodofícies, peixos i cocodrils) (Figures 3 i 4C), (iv) fàcies esculloses (*framestone* de creixement de coralls, de reduït volum i predomini del gènere *Porites*) (Figura 4D) i (v) plataforma oberta (calcisiltites amb foraminífers planctònics, rodofícies, poliquets, esponges, briozous i equinoïdeus).

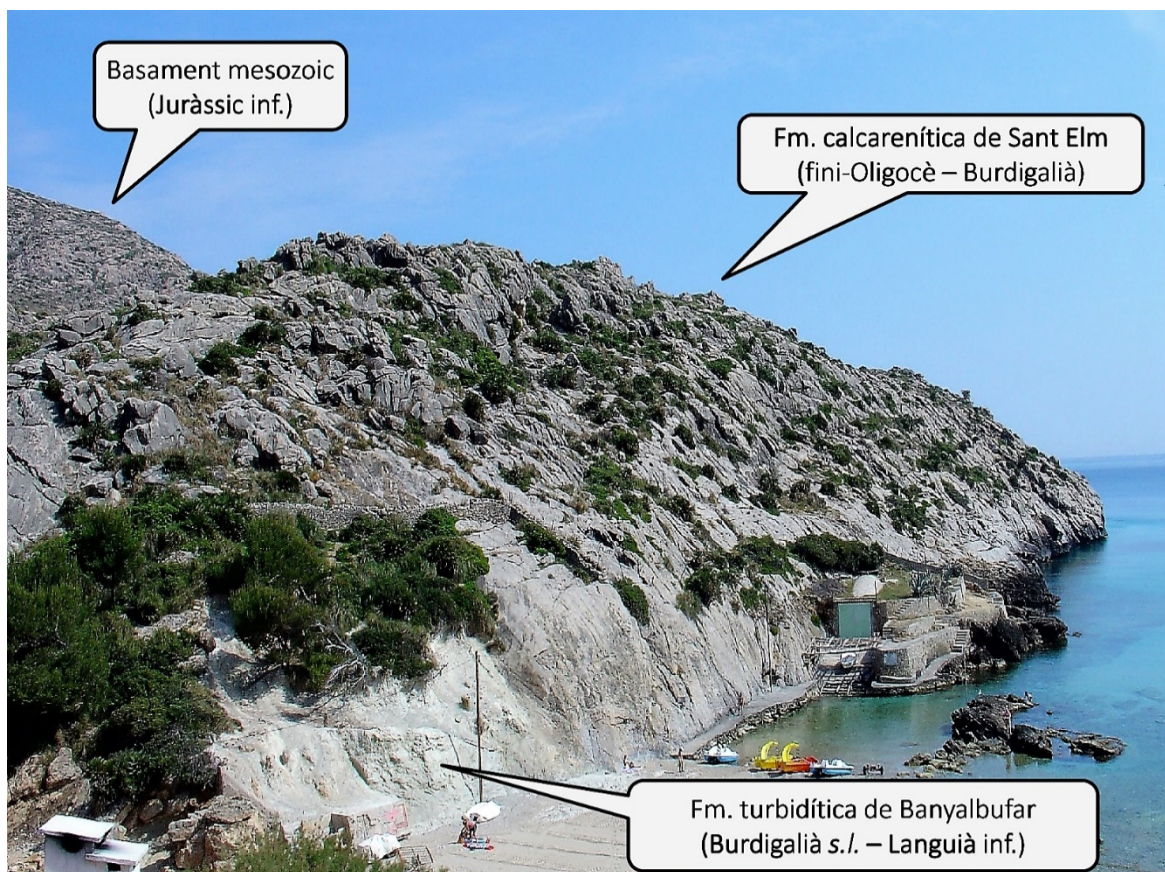


Fig. 3. Relació cronoestratigràfica del miocè sinorogènic de l'illa de Mallorca (cala Sant Vicenç. Pollença).

L'anàlisi de la fauna ictiològica i herpetològica de l'associació de fàcies litorals, ha indicat l'existència d'un paleoambient corresponent a un clima de caire subtropical (VICENS i RODRÍGUEZ-PEREA, 2003; MAS i ANTUNES, 2008; MAS i FIOL, 2009; MARTORELL, 2012).

La presència de roques piroclàstiques associades als dipòsits litorals de la Formació Calcarenítica de Sant Elm a permès evidenciar l'existència a la zona de Mallorca d'un episodi volcànic eruptiu correlacionable amb el cicle volcànic calcoalcalí que va ocórrer a la depressió de València durant el miocè inferior (RYAN *et al.*, 1972).

Com a curiositat, indicar que coincidint amb la celebració del Geolodia 2011, vaig tenir ocasió de poder identificar, amb la presència del Dr. Antonio Rodríguez Perea i altres participants, un aflorament inèdit (Fig. 4A i B) format per un tram de margocalcaries lacunars tallades pel desmunt de la carretera M-10 (Valldemossa-Deià) situat just al front del camí de sortida cap a la finca de Miramar (km 68, sentit Deià). Contenen fauna paràlica, restes de vegetals i litologia molt semblant a la descrita a les fàcies lacunars-paràliques del burdigalià inferior (OLIVEIROS *et al.*, 1960b, COLOM, 1967, 1968).

#### *Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984)*

La Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), formulada a la tesi del Dr. Rodríguez-Perea (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), es disposa discordant sobre l'anterior unitat (formació Calcarenítica de Sant Elm) (Fig. 3) o sobre el substrat mesozoic i paleogen. Estan compostes per margues grises amb fauna planctònica (Fig. 5AB), que situa aquestes unitats entre el burdigalià superior i el languià (GONZÁLEZ-DONOSO *et al.*, 1982). Presenten una estratificació molt definida, amb intercalació de nivells de conglomerats, calcarenites i bretxes amb olistostomes i *slumps*. A la zona de Tramuntana (Fig. 5) arriben a potències de 450 m, en els solcs de avantpaís relacionats amb



**Fig. 4.** Formació Calcarenítica de Sant Elm (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), A. Fàcies paralíquiques d'ambients restringits; B. Detall de A; C. Sediments litorals amb *Ostrea* sp., força bretxificats, D. Fàcies esculloses amb clapes de *Porites*.

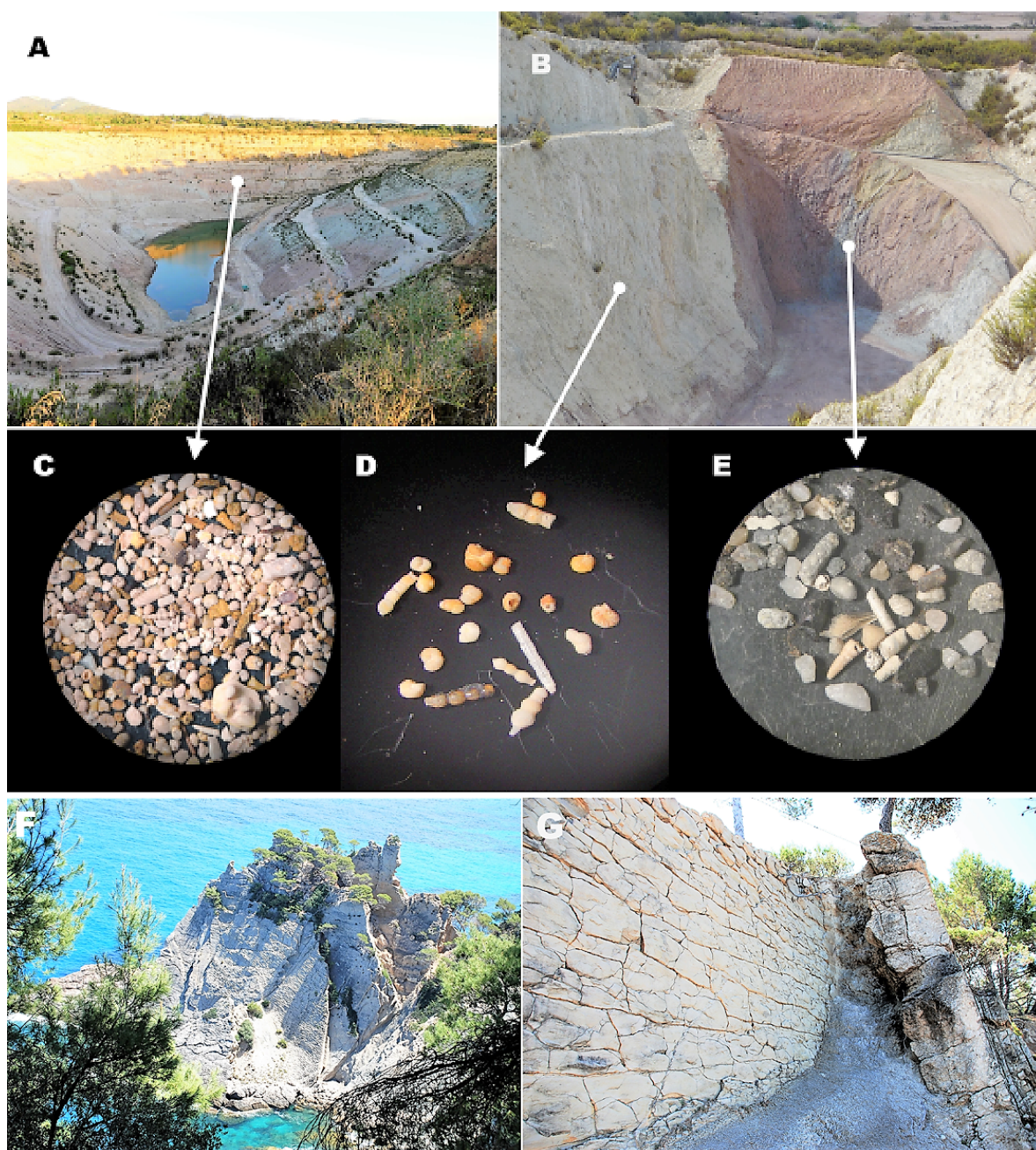
l'emplaçament dels encavalcaments, els quals trunquen el límit superior d'aquesta seqüència. En el seu conjunt s'interpreten com turbidites dipositades durant l'emplaçament dels encavalcaments (GELABERT, 1988).

Aquesta unitat es correspon amb el miocè inferior marí d'OLIVEROS *et al.* (1960a) i COLOM (1975), on distingeixen tres zones de sedimentació diferents dels depòsits corresponents a la gran transgressió del burdigalià a l'illa de Mallorca (Fig. 1B1 i 5), acompanyades sempre dels corresponents termes de transició entre les mateixes: i) la zona de la serra de Tramuntana, caracteritzada bàsicament per depòsits margosos profunds amb gran quantitat de globigerínids (Fig. 5D,F,G) la regió central de l'illa, amb depòsits gresosos-margosos rics en diatomees, radiolaris i espícules d'esponges, corresponent a una sedimentació de talús; i) la serra de Llevant, caracteritzada per depòsits més calcaris i detrítics corresponents a una sedimentació molt més litoral (Fig. 5C).

Els nivells corresponents a canals i lòbuls turbidítics de colors ocres-marronencs embeguts entre sedimentació profunda de colors grisencs (Fig. 5AB) cap a la regió central de illa (Felanitx, Vilafranca de Bonany, Petra) han estat els més cercats i explotats per a l'extracció de la denominada "terra de gerrer", utilitzada com a matèria primera per les múltiples teuleres antigament operatives en aquesta zona (MAS *et al.*, 2013).

#### La conca de Mersin - Andara (Anatòlia, Turquia) possible anàleg a la Mediterrània oriental

La conca sedimentaria de Mersin-Andara (Anatòlia, Turquia) correspon a una zona geològicament complexa de la Mediterrània oriental, situada a l'E de la Mediterrània turca (Fig. 6). Aquesta comple-



**Fig. 5.** Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984). Canals i lòbuls turbidítics (colors marronencs) intercalats entre sedimentació profunda (colors grisencs). A. Som Colom (Felanitx); B. Alcúdia-Arrom (Vilafranca de Bonany); C. Barreja de foraminífers planctònics profunds amb multitud de formes bentolitorals (turbidita de gra fi); D. Foraminífers planctònics i radiolaris (fàcies sedimentació profunda Interlòbuls); E. Bioclasts corresponents a microfauna marginal rodada (foraminífers bentolitorals, ostracodes, briozous, peixos) acompanyats de litoclasts d'origen marginal-continental (lignit, aportació terrígena) (turbidita de gra gruixat); F i G. Turbidites potents amb alternança de capes calcàries i margues, corresponents a fàcies de ventall distal (port des Canonge, serra de Tramuntana).

xitat resultat de la convergència de les plaques africana, àrab i eurasiàtica del Triàsic al recent (GEZE-KALANYUVA *et al.*, 2013; YILTZ-ÇIFTÇI *et al.*, 2004, 2013; YILDIZ-ÇIFTÇI i GEZE-KALANYUVA, 2013.).

La signatura sísmica reflecteix geometries aïllades de carbonats on l'efecte d'emascament de la sal és menor o absent. Les turbidites sorrenca del miocè mitjà és un dels dipòsits clàstics de la conca del Mersin-Andara. Aquests reservoris de gres es van formar entre diferents blocs del basament.



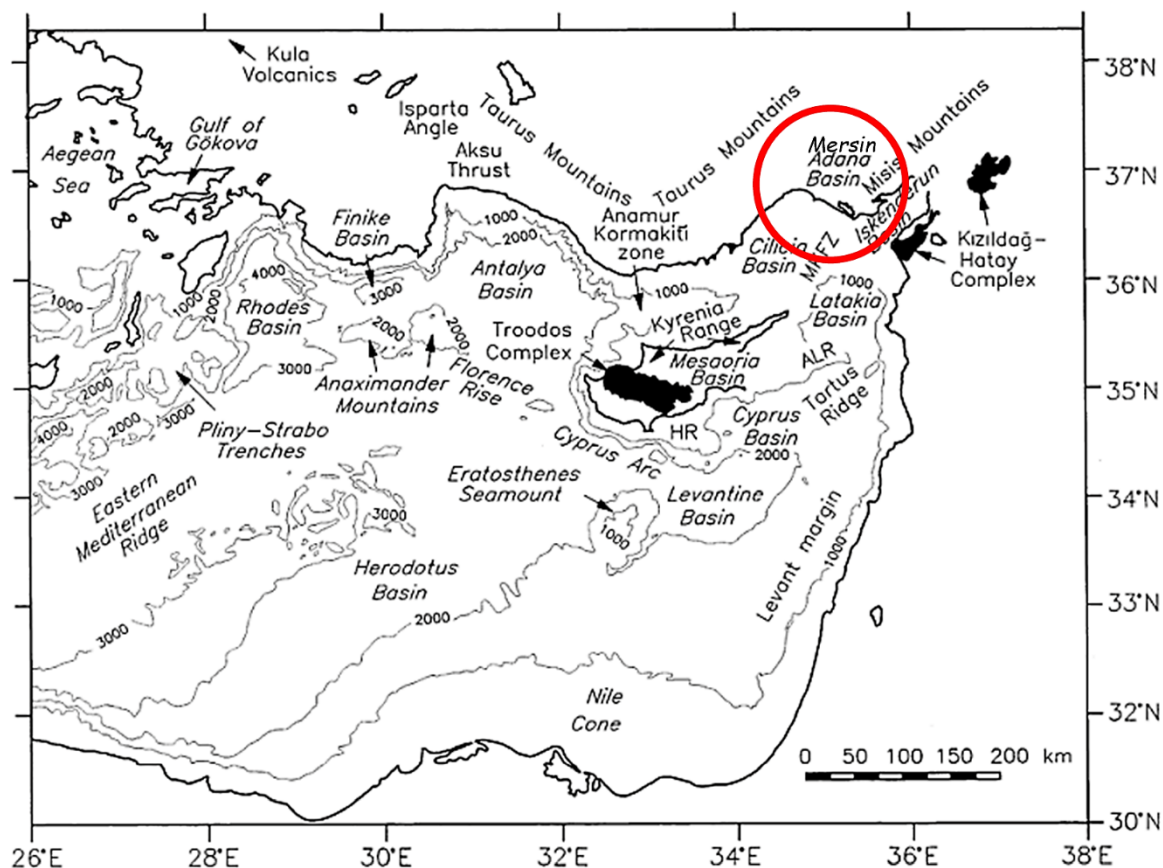


Fig. 6. Ubicació de la conca sedimentaria de Mersin-Andara (Anatòlia, Turquia) sobre mapa batimètric simplificat de la mar Mediterrània oriental (modificat a partir d'AKSU *et al.*, 2005).

Taula 1. Comparació d'anèlegs de play Oligocè-Miocè mitjà pre-sal a la Mediterrània nord-occidental.

Denominació	Descripció	Edat / MSC	Roca font	Migració	Trampa	Segell	Referència
Sistema especulatiu de l'oligocè-miocè de la depressió de València Grup Alcanar s.l.	Depòsits carbonatats litorals i distals <i>Off-shore</i>	paleogen miocè mitjà Pre-sal	Formació Casablanca Lutites riques amb matèria orgànica burdigalià	Calcàries i gresos burdigalià	Paleorrelleus de la incoformitat miocena-mesozoica	Argiles i esquistos miocens	Esestime, 2015 Granado <i>et al.</i> , 2016 Martínez del Olmo, 2019
Miocè sinorogènic de l'illa de Mallorca. Formacions Calcarenítica de Sant Elm i Turbidítica de Banyalbufar (Rodríguez-Perea, 1984)	Depòsits detrítics, carbonats i turbidites <i>On-shore</i>	oligocè final - aquitània inferior Pre-sal	Anàleg: Formació Calcarenítica de Sant Elm	? Calcàries i gresos de la Formació Calcarenítica de Sant Elm	Anàleg: Paleorrelleu heretat de la topografia irregular-del límit oligocè-miocè	Anàleg: Turbidites	Mas (Aquest treball)

Les calcarenites deltaïques del miocè superior són l'altre reservori clàssic de la conca de Mersin-Andara. Com a resultat, els dipòsits de gres carbonatat, turbidític i deltaic són els objectius prominents de les obres d'exploració del miocè a la Mediterrani turc.

La presència de diferents sistemes d'hidrocarburs suposa un canvi en la interacció entre diversos controls principals sobre el marc dipositant de l'ompliment de la conca, el més important és factor

estructural o tectònic, la ubicació dels alts soterranis, la taxa de sedimentació/procedència i el nivell relatiu del mar a través del temps. Les primeres acumulacions d'esculls del miocè mitjà estaven creixent en diferents blocs que conformen el basament. La signatura sísmica reflecteix geometries aïllades de carbonats on l'efecte d'emascament de la sal és menor o absent. Les turbidites de gra gruixut del miocè mitjà és un dels dipòsits clàstics de la conca de Mersin-Andara. Aquests reservoris de gresos es van formar entre diferents blocs del basament que mostren diferents característiques de canal que tendeixen de nord-oest a sud-est.

El gres deltaic superior del miocè és l'altre reservori clàssic de la conca del Mersin-Andara. La depressió creada tectònicament es va omplir per una ràpida deposició de successió deltaica i les signatures sísmiques d'aquests sediments tortonians es caracteritzen per baixades. Per a tot això, els dipòsits de gres carbonatat, turbidític i deltaic són els objectius prominents de les obres d'exploració del miocè a la Mediterrània turca.

## Discussió

Un ràpid cop d'ull sobre la descripció de les unitats objecte d'estudi (Figures 1 i 2) és suficient per adonar-se de l'alt nivell d'analogia existent entre les formacions de miocè sinorogènic de Mallorca i els dipòsits de l'oligocè final-miocè mitjà de la depressió de València (grup Alcanar *s.l.*). L'anàlisi exhaustiva de les característiques que defineixen el registre sedimentari, estratigràfic i estructural d'ambdós sistemes, ens du necessàriament a observar les següents analogies evidents entre les formacions regionals (Fig. 2, Taula 1):

- a) L'inici d'ambdós sistemes coincideix en el temps (oligocè superior).
- b) Ambdós sistemes s'inicien amb dipòsits detrítics guixats, conglomerats poligènics de "bretxa Alcanar" a la depressió de València i conglomerats de base de la formació calcarenítica de Sant Elm a l'illa de Mallorca).
- c) L'inici de la sedimentació en ambdós sistemes està controlat per una topografia força irregular, heretada de l'activitat tectònica i erosió anterior, que coincideix amb el límit oligocè-miocè. Sincronia cronoestratigràfica en la durada i processos. Mentre que a la depressió de València el grup Alcanar ocupa el tram paleogen-miocè mitjà, a Mallorca el miocè sinorogènic ocupa el tram oligocè final-aquitanià inferior
- d) Coincidència en la tipologia i diversitat de fàcies.
- e) Similitud de patrons (*patterns*) i límits de seqüència (*sequence boundaries*).
- f) Històricament, l'exploració d'hidrocarburs s'ha centrat en aquest interval degut a la presència de lutites riques en matèria orgànica; roques generadores provades propenses al petroli dels camps i descobriments en la depressió de València. La forta aportació de material detrític i matèria orgànica associada als lòbuls turbidítics de la Formació Turbidítica de Banyalbufar assimila aquesta formació a les lutites riques en matèria orgànica roques generadores provades.

De totes maneres, cal tenir en compte, que la generació i migració d'hidrocarburs, és un fet actualment evidenciat per la detecció de filtracions de petroli a la conca balear profunda (*Deepwater Balearic Basin*), que han pogut observar-se en forma de pel·lícula tenyida o taques en la superfície del mar visibles a les imatges satèl·lit (HARGREAVES *et al.*, 2014).

Per a tot això, hem de considerar les formacions miocenes sinorogèniques de l'illa de Mallorca com un anàleg *on-shore* sincrònic del *play* del miocè pre-crisi de salinitat de la província geològica de la depressió de València.

La possibilitat d'un segon anàleg, localitzat a la Mediterrània oriental a la conca de Mersin Turquia (ÇİFTÇİ *et al.*, 2013a,b,c), serà abordat en major profunditat en una propera publicació específica al respecte (Mas *et al.*, en preparació), ja que aquest no és l'objecte d'aquesta comunicació d'homenatge al Dr. Antonio Rodríguez Perea.

La disponibilitat d'anàlegs de bona qualitat, assequibles *on-shore*, facilita l'anàlisi i millora el coneixement de sistemes d'hidrocarburs *off-shore*, anteriorment descrits només a partir de dades

fragmentaries proporcionades per pous o la sísmica, permeten una millor observació-avaluació directe, proporcionant una major objectivitat en la investigació d'hidrocarburs.

## Conclusió

Ateses (i) l'equivalència cronoestratigràfica (coincidència de processos idèntics en el temps), (ii) la similitud en la tipologia i diversitat de fàcies (litologies, paleoambient, evolució lateral de fàcies, etc.), així com (iii) la idèntica posició/seqüència estratigràfica (patrons estratigràfics i evolució estructural), s'ha de concloure necessàriament que es resta davant un cas excepcional d'analogisme, podent considerar les formacions miocenes sinorogèniques de l'illa de Mallorca, com són la Formació Calcarenítica de Sant Elm i la Formació Turbidítica de Banyalbufar, formulades a la tesi de doctorat del Dr. Antonio Rodríguez Perea (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), un anàleg *on-shore* d'extensions productives d'hidrocarburs del miocè pre-crisi de salinitat de la província de la depressió de València a la Mediterrània nord-occidental.

L'anàlisi d'anàlegs de bona qualitat, assequibles *on-shore*, facilita un millor coneixement dels sistemes anteriorment descrits només a partir de dades fragmentaries de pous o sísmica, permeten una millor observació-avaluació de la diversitat i detall.



**Fig. 7.** A) El Dr. Antonio Rodríguez Perea, primer per l'esquerra, actuant con a secretari de tribunal qualificador de tesi de l'autor, amb la Dra. Isabel Cacho Lascorz i el Dr. Mateu Esteban Cerdà (membres vocals del tribunal qualificador de tesi), el Dr. Joan J. Fornós Astó (director de tesi) i Guillem Mas Gornals (doctorant), a la sessió de defensa pública de la tesi de doctorat de l'autor d'aquesta col·laboració (Sala de Graus, EDUIB, febrer 2016). B) *A espaltes de gegants...* Andreu Muntaner, Antonio Rodríguez i Alfredo Barón, a l'Escola de Doctorat el dia de la defensa de la tesi doctoral de l'autor d'aquesta col·laboració (EDUIB, febrer 2016). C) Antonio Rodríguez i l'autor de la present col·laboració, en plena dialèctica sobre temes geològics d'interès, en una reunió a estovalles prèvia a una sortida de camp (Petra, febrer 2019, Foto: Francesc X. Roig Munar). D) Antonio Rodríguez amb Bernardí Gelabert, Guillem Mas, Jose Angel Martin i Francesc X. Roig en una sortida de camp d'observació de nivells d'estabilització de sistemes dunars tallats pels desmuntats d'algunes carreteres properes a Son Serra de Marina (febrer 2019, Foto: Francesc X. Roig Munar).

## Agraïments

Agrair i reconèixer al Dr. Antonio Rodríguez Perea, professor i amic, la sempre bona disponibilitat per a consultes, pràctiques o discussions intenses sobre temes geològics o d'interès general (Fig. 7). Esperant que pugui gaudir d'un bon jubileu que li permeti desenvolupar i compartir les inexorables currolles pròpies. Agrair a Joan J. Fornós i Francesc X. Roig la revisió del manuscrit inicial, millorant així la qualitat de l'original finalment presentat. Als editors, especialment a Lluís Gómez-Pujol, pels comentaris i la paciència en la gestió dels manuscrits.

## Bibliografia

- AKSU, A.E., HALL, J. i YALTIRAK, C. (2005): Miocene to Recent tectonic evolution of the eastern Mediterranean: New pieces of the old Mediterranean puzzle. *Marine Geology*, 221: 1-13.
- ALLEN, P.A. i ALLEN, J.R. (2013): *Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment*. Wiley-Blackwell, New Jersey, 632 pp.
- ALVARO, M., BARNOLAS, A., DEL OLMO, P., RAMÍREZ DEL POZO, J. i SIMÓ, A. (1984): El Neógeno de Mallorca: Caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. *Bol. Geol. Miner.*, 95(1): 3-25.
- CABELLO, P., LÓPEZ-BLANCO, M., FALIVENE, O., ARBUÉS, P., RAMOS-GUERRERO, E., CABRERA, L. i MARZO, M. (2006): Modelos 3D de análogos de reservorios sedimentarios: Aplicación al abanico costero eoceno de Sant Llorenç del Munt (Cuenca del Ebro). *Geo-Temas*, 9: 45-48.
- CANALS, M., SERRA, J. i RIBA, O. (1982): Toponímia de la mar catalano-balear (amb un glossari de termes generics). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 169-194.
- COLOM, G. (1967): Los depósitos lacustres del Burdigalense superior de Mallorca. *Mem. R. Acad. Cien. Art., Barcelona*, 58, (5): 69 pp.
- COLOM, G. (1968): El Burdigaliense inferior, parálico, de la ladera Norte del Puig Mayor (Mallorca). *Mem. R. Acad. de Ciencias Exac. Fis. y Nat., (C)*, 24: 1-44.
- COLOM, G. (1975): *Geologia de Mallorca*. Diput. Prov. Bal. Inst. Estudios Baleáricos. Patronato "J. M<sup>a</sup> Quadrado". CSIC. Palma de Mallorca, 2 vols. 519 pp.
- DREYER, T., FALT, L.M., MØY, T. KNARUD, R.; STEEL, R.J. i CUEVAS, J.L. (1993): Sedimentary architecture of field analogues for reservoir information (SAFARI): a case study of the fluvial Escandía Formation, Spanish Pyrenees. In: FLINT, S. i BRYANT, I.D. (eds.), *The geological modelling of hydrocarbon reservoirs and outcrop analogues*. IAS, Spec. Pub., 15: 57-80.
- ESESTIME, P., WRIGLEY, R. i HODGSON, N., 2015. The Western Mediterranean: established concepts and new insights. *EAGE First Break*, 33: 71-79.
- ESTEBAN, M. (2013): Outcrop Analogs of the Gulf of Valencia Oil Fields (Western Mediterranean). AAPG European Regional, Conference & Exhibition. Barcelona, Spain, April 2013 Post-Conference Field Trip.
- FORNÓS, J.J., MARZO, M., POMAR, L., RAMOS-GUERRERO, E. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1991): *Evolució tectono-sedimentaria y análisis estratigráfico del Terciario de la Isla de Mallorca*. I Congreso del Grupo Español del Terciario. Libro-Guía Excursión nº 2. Ed. F. Colombo. 145 pp. Vic.
- GELABERT, B., SÀBAT, F. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra the Tramontana of Majorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167-183.
- GONZALEZ-DONOSO, J.M., LINARES, D., PASCUAL, I. i SERRANO, F. (1982): Datos sobre la edad de las secciones del Mioceno Inferior de Es Port d'es Canonge y de Randa (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 229-232.
- GEZE-KALANYUVA, Y., YILDIZ-ÇİFTÇİ, S., TEMEL, O.R. i KANSU, E. (2013): Carbonates of Miocene Mersin Basin, Turkish Mediterranean. In: *AAPG European Region 2013 Annual Conference, Exploring the Mediterranean: New Concepts in an Ancient Seaway*, 8-10 April 2013, Barcelona, Spain, p 17.
- KLIMOWITZ, J., ESCALANTE, S., HERNÁNDEZ, E. i SOTO, J.I. (2018): Estructuración tectónica alpina del margen occidental del Surco de Valencia (Mediterráneo occidental). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 31(2): 83-100.

- LARUE, D.K. (2004): Outcrop and Waterflood Simulation Modeling of the 100-Foot Channel Complex, Texas, and the Ainsa II Channel Complex, Spain: Analogs to Multistorey and Multilateral Channelized Slope Reservoirs. *AAPG Memoir*, 80: 337-364.
- MAGOON, L.B. (1995): The play that complements the petroleum System - a new exploration equation. *Oil & Gas Journal*, 93 (40): 85-87.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, W. i MOTIS, K. (2012): Lo aprendido de la pasada exploración y un vistazo a su futuro. VIII Congreso Geológico de España. Oviedo, *Geotemas*, 13: 582-586.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, W. (2019): The Spanish petroleum systems and the overlooked areas and targets. *Boletín Geológico y Minero*, 130 (2): 289-315.
- MARTORELL, J. (2012): Primera cita de *Acanthurus* sp. (Osteichtyes) en el Burdigaliense de las Illes Balears. *Batalleria*, 17: 80-83.
- MAS, G. (2015): *El registre estratigràfic del Messinià terminal i del Pliocè a l'illa de Mallorca. Relacions amb la crisi de salinitat de la Mediterrània*. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears. 534 pp.
- MAS, G. i ANTUNES, M.T. (2008): Presència de *Tomistoma* cf. *lusitanica* (Vianna i Moraes, 1945) (Reptilia: Crocodylia) al Burdigalià inferior de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). Implicacions paleoambientals. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51: 131-146.
- MAS, G. i FIOL, G. 2009. Ictiofauna del Burdigalià inferior de cala Sant Vicenç (Illes Balears, Mediterrània occidental). Una aproximació paleoecològica. *Batalleria*, 14: 67-84.
- MAS, G., MORAGUES, L., MESTRE, J. i ESPINOSA, M. (2013): El patrimoni geoindustrial de Felanitx (Mallorca). In: Pons, G.X., Ginard, A. i Vicens, D. (eds.) *VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*: 53-55. Palma, Soc. Hist. Nat. Balears.
- ELÉNDEZ-HEVIA, F. i ÀLVAREZ DEL BUERGO, E. (1996): Oil and gas resources of the Tertiary basins of Spain. In: FRIEND, P.F. i DABRIO, C.J. (eds.), *Tertiary Basins of Spain*: 20-25. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- OLIVEROS, J.M., ESCANDELL, B. i COLOM, G. (1960a). Estudio de los terrenos postburdigalienses en el llano central de la Isla de Mallorca. *Mem. del Inst. Geolog. y Min. de España*, 61: 349-394.
- OLIVEROS, J.M., ESCANDELL, B. i COLOM, G. (1960b): El Burdigaliense superior salobre-lacustre en Mallorca. *Mem. del Inst. Geolog. y Min. de España*, 61: 265-348.
- POMAR, L., POMAR, L., MARZO, M. i BARÓN, A. (1983): El Terciario de Mallorca. In: *El Terciario de las Baleares/10 Congreso nacional de Sedimentología. Guía de las excursiones. Menorca*, 26-30 septiembre 1983 (pp. 21-44).
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1984): *El Mioceno de la Serra Nord de Mallorca. Estratigrafia, sedimentologia e implicacions estructurals*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona y Palma de Mallorca. 532 pp (inèdit).
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. i POMAR, L. (1983): El Mioceno de la Sierra Norte de Mallorca (Sector centro-occidental). *Acta Geològica Hispànica*, 18(2): 105-116.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. i GELABERT, B. 1998. Geologia de Mallorca. In: Fornós, J. (ed.): *Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*: 11-38. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J., HONNOREZ, J., WEIBEL, M., CANN, J. R., FENARA G., BIGAZZI, G., BONADONNA, F. P. i GIULIANI, O. (1972): Petrology and geochemistry of the Valencia Trough volcanic rocks. *Init. Rep. DSDP*, 13: 767-773.
- VARELA, J., VICENTE BRAVO, J. C., NAVARRO, J., ESTEBAN, M. i MARTÍNEZ DEL OLMO, W. 2005. *The oil fields in the Spanish Mediterranean Sea*. In: MARTÍNEZ DEL OLMO, W. (ed). *Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo. 25 Aniversario*: 121-129. AGGPE. Madrid.
- VICENS, D. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2003): Vertebrats fòssils (Pisces i Reptilia) del Burdigalià de cala Sant Vicenç (Pollença, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 46: 117-130.
- YILDIZ-ÇİFTÇİ, B.N., AVIANTARA, Y., A.A., HURLEY, N.F. i KERR, D.R. (2004): Outcrop-based Three dimensional Modeling of the Tensleep Sandstone at Alcali Creek, Bighorn Basin, Wyoming. *AAPG Memoir*, 80: 235-259.
- YILDIZ-ÇİFTÇİ, S. i GEZE-KALANYUVA, Y. 2013. Miocene Exploration Plays in the Mersin Basin, Turkish Mediterranean Sea. In: *AAPG European. Regional 2013. Conference & Exhibition, Exploring the Mediterranean: New Concepts in an Ancient Seaway*. Abstract Book. 8-10 April 2013, Barcelona, Spain, p. 43.

---

Data recepció: 13.10.21

Data revisió: 20.10.21

Revisió acceptada: 25.10.21