



**Universitat de les
Illes Balears**

**APROXIMACIÓ A L'ANÀLISI GEOLÒGIC-ESTRUCTURAL
DEL SECTOR NORDOCCIDENTAL DE LA PENÍNSULA
D'ARTÀ (MALLORCA)**

LLUIS G. MORAGUES ZAFORTEZA. Llicenciat en Ciències Geològiques per la
Universitat de Barcelona (1974)

Memòria del Treball de Final de Màster

Màster Universitari d'Anàlisi, Planificació i Gestió en Àrees Litorals

de la

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Juny 2015

Autor : LUIS G. MORAGUES ZAFORTEZA (30/07/2015)

Certificat : BERNADÍ GELABERT FERRER

Acceptat : _____

Director del Màster Universitari d'Anàlisi, Planificació i Gestió en Àrees Litorals

AGRAIMENTS

Moltes són les persones que m'han ajudat a estructurar aquest modest Treball de Fi de Màster. Amb algunes d'elles ens uneix, a més de l'amistat, uns interessos professionals i/o acadèmics que compartim, però amb la majoria hi ha simplement amistat.

Tot això comença quasi com un joc, tot just quan m'acabo de jubilar. Volia rematar, ara que teòricament tendria més temps, algunes coses que me rondaven pel cap. Una d'elles era la dels jaciments de carbó de Mallorca, i aquí entra un altre jubilat: el meu amic i company de fatigues Manolo Espinosa. En Manolo és un geògraf inquiet, interessat per la geologia i amb el que he compartit molt de dies de camp a la recerca de pous de mina i jaciments de carbó.

Tenc alguna experiència en cartografia geològica, i vos puc assegurar que el tema dels jaciments de lignit és una de les coses més enrevessades que mai m'he trobat, tot fins que vaig mudar de model estructural com més tard explicaré. He de reconèixer que cartografiant som bastant anàrquic; idò en Manolo ha aguantat estoicament totes les meves anades, tornades i preguntes sense resposta durant quasi dos anys.

Amb en Manolo he compartit dies de camp pel Parc de Llevant, però també de forma puntual amb altres companys, en aquesta ocasió no naturalistes: són na Paula i en Lluís fills, na Magda, en Rafel de la Rosa i en Ramon Canet (aquest darrer es va girar un turmell tornant de sa font des Rossillers i encara rosega molèsties. A tots ells moltes de gràcies per compartir amb mi o ajudar-me amb aquesta estranya passió per les "pedres"

Però també he rebut altres ajudes i estímuls de tipus acadèmic, de entre elles la dels meus professors del Màster i sobre tot la d'en Bernadí Gelabert, que em tutoritza aquest treball. En Bernadí, tot i no compartir algunes de les meves "extravagàncies", m'ha recolzat sempre i s'ha comportat com a un autèntic investigador, capaç, com a mínim, de qüestionar-se molts dels actuals paradigmes.

Però una de les persones que més m'han influenciat ha estat el geòleg granadí Francisco Javier (Curro) Roldan. En Curro, que ha treballat una bona partida d'anys a les Bètiques, va romandre uns dies a Mallorca i vaig poder compartir amb ell algunes hores de camp. És un homo entusiasta i trencador, amb molts d'anys d'experiència i molt engrescat amb el que fa. Entre d'altres moltes coses, me va ensenyar a interpretar el paisatge des del punt de vista estructural, i vos puc assegurar que a partir de la seva estada ho veig d'una altra manera.

Aquest Treball de Fi de Màster ve acompanyat d'unes cartografies imprescindibles per donar coherència al informe. Aquí he d'agrair totes les facilitats que el meu professor de Màster Gabriel Alomar m'ha donat al guiar-me en aquesta tasca realitzar i introduir-me en una de les assignatures que més novedosses m'han resultat, com és la dels sistemes d'informació geogràfica.

També el meu agraïment als joves paleontòlegs José Juárez i Rafel Matamales, als que vaig acompanyar fins al jaciment cretàcic de sa Mesquida-Cala Torta i que m'han permès reproduir les seves recerques específiques d'ammonits.

Però també hi ha una munió de col·legues amb els que en ocasions he compartit discussions i enfrontaments de punts de vista sobre el tema dels models estructurals: Jordi Giménez, Bea Lores, Borja López, Guillem Mas, Joan Fornos, Joan Arbona, Ana Sevillano, Xema López, Rosa M^a Mateos... però sobre tot amb n'Alfredo Barón amb el que tantes vegades he polemitzat a la cantina del port de Cabrera sobre la "megalobretxa cabrerenca". Gràcies a tots ells.

Finalment vull ser especialment agraït amb la meva família i principalment amb la meva dona, na Magda, a la que he robat moltes d'hores de dedicació.

Lluís Moragues.

APROXIMACIÓ A L'ANÀLISI GEOLÒGIC-ESTRUCTURAL DEL SECTOR NORD- OCCIDENTAL DE LA PENÍNSULA D'ARTÀ (MALLORCA)

INDEX

1.- INTRODUCCIÓ

2.- OBJECTIUS

3.- ÀREA D'ESTUDI

4.- UNITATS LITOLÒGIQUES CARTOGRAFIADES

5.- TECTÒNICA DE GRAVETAT: MALLORCA, PROMONTORI BALEAR I SERRALADES BÈTIQUES

6.- ESTRUCTURES I TECTÒNICA GRAVITACIONAL

7.- DESCRIPCIÓ DE LES ESTRUCTURES DIFERENCIADES

8.- MAPA GEOLÒGIC-ESTRUCTURAL

9.- ESQUEMA TECTOSEDIMENTARI PROPOSAT

10.- CONCLUSIONS

11.- CONSIDERACIONS FINALS

ANNEX: Taula dels temps geològics

PLÀNOLS

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCIÓ

Durant el decurs de la meva trajectòria laboral, vaig treballar durant unes tres dècades en la recerca de varis tipus de recursos geològics, fonamentalment a l'illa de Mallorca i en les comarques del Raiguer, Pla i Serres de Llevant. A la majoria dels informes o estudis realitzats prenia com a base el ventall de publicacions -tant d'aspectes sedimentològics i litològics com estructurals- referides a la nostra illa, i a partir d'elles elaborava, amb més o manco encert, les meves pròpies conclusions.

Un dels treballs que més satisfacció professional m'ha produït ha estat el de la mineria del carbó. La investigació minera m'ha obligat a estar en contacte directe amb la geologia aplicada i, per tant, a adquirir un cert coneixement de la geologia insular.

Mentre treballava a les mines de carbó de Mallorca, me vaig adonar de que les noves recerques sobre els aspectes estratigràfics i sedimentològics dels jaciments de carbó eren, en termes generals, operatius a nivell pràctic. No succeïa el mateix amb els aspectes estructurals. Quan pretenia aplicar els esquemes tectònics compressius encara en ús, me trobava amb series dificultats, tant pel que fa al treball de camp com al dia a dia de la pròpia explotació minera. El mateix me succeïa quan intentava correlacionar els més de 150 sondatges d'investigació realitzats a les conques mineres mallorquines.

Per casualitat vaig consultar, un poc abans del tancament de la darrera mina de lignit (després de 160 anys d'explotació quasi ininterrompuda), un treball de L. Pomar del 1979 sobre tectònica gravitacional. Aleshores vaig començar a relacionar dades i, trencant esquemes, me vaig adonar de que si suposàvem que els jaciments de lignit paleògens del Raiguer, o de la zona de Sineu-Maria, eren olistòlits o olistostromes inserits en una matriu miocena i en un context distensiu, les dades de que disposava de les explotacions mineres tenien una certa coherència: era com posar ordre en aquell caos. Però, uns anys més tard, també hi va haver dos afloraments, curiosament tots dos relacionats amb el ferrocarril, que m'influenciaren intensament i que feren que me qüestionés el paradigma dels mantells de corriment propugnat per Fallot en 1922: les trinxeres del tren al seu pas per Sineu (Imatge 34) i per Sant Llorenç. En el dos casos, per explicar el que es veu no es pot aplicar-hi una tectònica compressiva; és netament distensió. Vaig recuperar algunes publicacions dels anys 80 del segle anterior comprovant que hi va haver alguns intents per qüestionar precisament aquest model compressiu d'en Fallot i que, pel que sembla, finalment no prosperaren.

Han passat 35 anys des del tancament de darrera mina: l'Acetileno d'Alaró, i ara, un cop jubilat, tenc la intenció de recuperar el tema i investigar-ho més a fons, inclús intentant encetar una Tesi Doctoral, per la qual cosa aquest TFM em serà, a més d'un requisit, d'una gran ajuda. He de reconèixer que és un tema prou complex i de que costa lluitar contra paradigmes de quasi 100 anys d'existència, però per jo és també un tema prou atractiu com per tornar a obrir el debat.

Per proximitat tenc una certa debilitat per les Serres de Llevant. Són unes muntanyes modestes en comparació a les de Tramuntana i no presenten la seva grandiositat, però, així i tot, tenen molt d'encant i són més accessibles, qüestió prou important per l'edat que començ a tenir. Aleshores vaig pensar que podria centrar les meves investigacions en aquesta part de Mallorca; Des d'Artà fins a Santanyí.

Cada any pas una temporada a la Colònia de Sant Pere del municipi d'Artà. He observat milers de vegades els relleus den Farrutx, en Xoroi o s'Atalaia Freda des de la costa i moltes vegades me he fet la mateixa pregunta: Cóm funciona això? Quin mecanisme ha pogut crear aquests relleus aparentment tan massius? Cóm s'explica aquesta distribució de fàcies tan caòtica?

Com que m'agrada més la muntanya que la mar, faig llargues passejades pels turons dels voltants de la Colònia i una de les zones, per a jo, més atractives són les del Parc Natural de la Península de Llevant. Curiosament a les instal·lacions de recepció del parc hi ha uns fulletons que expliquen els valors ambientals i etnològics d'aquesta zona protegida: flora, fauna i usos del sòl ocupen gran part de l'espai disponible... no és diu res de la geologia o la geomorfologia. Cóm és possible que a un parc a on el paisatge ve dominat pel rocam no es digui res de la geologia, de la geomorfologia o simplement de la dinàmica litoral?

Tota aquesta explicació introductòria ve al cas per justificar el tema i el territori escollit per realitzar aquest TFM. El títol del treball: *Aproximació a l'anàlisi geològic-estructural del sector nord-occidental de la península d'Artà (Mallorca)*, i l'espai escollit per desenvolupar-ho serà el que es marca al Pànel de Situació, que inclou la zona protegida abans esmentada. D'aquesta manera es justifica el present TFM com a aportació al futur Pla Rector d'Usos i Serveis del Parc Natural de la Península de Llevant.

Dues són les qüestions que han capitalitzat aquest treball. La primera una cartografia geològica emprant els mecanismes habituals però enfocada cap als aspectes més estructurals que estratigràfics o paleontològics. La segona una recerca bibliogràfica per analitzar quin podria ser actualment "l'estat de la qüestió." i a partir d'aquí realitzar propostes de recerca.

La Memòria del TFM que aquí es presenta és el resultat de la tasca realitzada durant un període d'uns quatre mesos. Com a conclusió final s'adjunta un mapa geològic-estructural més una proposta justificada d'evolució tectosedimentaria de la zona estudiada.



Puig de sa Talaieta. Península d'Artà

2.- OBJECTIUS

Varis són els objectius d'aquest TFM; uns tenen un caire més acadèmic i els altres són més de recerca científica. Ambdós, pensam, queden reflectits en aquest document.

- El primer objectiu era escollir un tema innovador -sempre d'acord amb els interessos de l'alumne- i un indret a on aplicar-ho. D'això ja s'ha parlat al capítol anterior.
- El segon objectiu és fer un recull de tota la informació disponible per agrupar-la i analitzar-la.
- El tercer objectiu era realitzar un treball de camp posant atenció amb aquells aspectes més significatius: litologies, contactes, morfologies i estructures.
- El quart objectiu és fer un anàlisi crític i formular una hipòtesi a partir del treball de camp i les consultes bibliogràfiques.
- El cinquè objectiu és redactar una memòria descriptiva dels treballs realitzats i de les conclusions.

Atesa la dificultat que suposa verificar directament el treball de camp, aquesta memòria s'acompanya d'un gran nombre de fotografies.

Tots aquests objectius tenen com a finalitat aconseguir amb les competències bàsiques, tant genèriques com específiques, que marquen els objectius del Màster Universitari d'Anàlisi, Planificació i Gestió en Àrees Litorals (MAPL).

La idea final és intentar encetar de nou un debat que fa 40 anys es va obrir amb els treballs de Pomar, Rodríguez-Perea i Mataillet i Pechoux i que posteriorment, des del meu punt de vista sense cap justificació, es va tancar. La pregunta és: tot el preorogènic que veiem a Mallorca és fruit d'una tectònica tangencial vergent cap al NW ?

L'autor també pretén, mitjançant Tesi Doctoral, fer posteriorment extensiva l'àrea d'estudi al conjunt de les Serres de Llevant i Serralades Centrals.



3.- ÀREA D'ESTUDI

L'àrea escollida per la realització d'aquests TFM és la que ve reflectida al Plànol de Situació. Està situada a la vesant occidental de la península d'Artà, just a l'extrem septentrional de les Serres de Llevant de Mallorca, ocupant una superfície aproximada de 59,5 Km², amb uns 20 Km de costa. Tota la zona està ubicada al municipi d'Artà.

És un àrea muntanyenca, tot i que amb altures poc pronunciades (màxima de 560 m a s'Atalaia Freda). A l'oest i nord-oest el relleu està dominat per massissos rocallosos escarpats que mitjançant glacis evolucionen a una costa baixa a l'oest i nord-est, mentre que al nord-oest es abrupta. Des del punt de vista litològic, estructural i geomorfològic, hem delimitat dues zones amb característiques diferenciades separades pel Torrent de s'Aigo Dolça, situat a les proximitats de l'ermita de Betlem; La zona septentrional amb presència de extensos afloraments de margues cretàiques i comellars de direcció general NNE-SSW i la zona meridional, amb escassa presència de margues cretàiques, molt més muntanyenca.

Inicialment s'escollí la zona pels següents motius:

- La alternança de valls i relleus
- L'escassa presència, en general, de recobriment postorogènic (llevat de la franja costanera).
- L'absència de vegetació arbòria que facilita el treball de camp.
- La manca de zones urbanes o densament urbanitzades, que solen generar problemes d'accés al interior de les parcel·les
- La suposada diversitat de litologies
- La inclusió de la zona estudiada dins del Parc Natural de la Península de Llevant, fet que justificaria el tema escollit com a potencial aportació al Pla Rector de Gestió i Usos del Parc.

Un pic realitzat el treball de camp, s'ha pogut comprovar que, de cara als objectius que es pretenien assolir, la zona escollida, tot i tenir punts d'interès, no era la més adequada, principalment per la quasi absència de nivells miocens; nivells claus per a interpretar la cinemàtica dels relleus llevantins o de Mallorca en general i que, malgrat les nostres recerques, no hem pogut localitzar amb claredat.



Accés al Parc Natural de Llevant

4.- UNITATS LITOLÒGIQUES CARTOGRAFIADES

Les particularitats d'aquest TFM no ens han permès efectuar una detallada diferenciació de les unitats litològiques i cronològiques que hem introduït a la cartografia que s'adjunta. Per assolir aquesta tasca, hagués estat necessari, com a mínim, realitzar sèries estratigràfiques detallades, datar-les i comparar-les amb la resta de l'illa. Al nostre cas, hem anat a escollir aquells grups de fàcies cartografiades que ens permetien definir amb precisió les característiques estructurals de l'àrea d'estudi, objecte d'aquest treball.

Altrament, s'ha d'especificar que quan parlem de sèries, pisos, fàcies o nivells que figuren a l'Annex: *Taula dels Temps Geològics*, com més tard veurem ens referim als massissos rocosos de diferents mides i geometries que s'han desplaçat per gravetat fins a una conca que hem suposat miocena. A partir d'aquesta premissa prèvia, els materials localitzats van del Keuper fins a l'Aquitanià-Burdigalià, però, com també veurem, a la zona la sèrie no és completa, ni tan sols si la comparem amb les sèries de la resta de l'illa o de les mateixes Serres de Llevant.

L'edat que hem assignat a les unitats cartografiades -bàsicament litològiques- provenen de les tesis de Bourrouilh, R. (1973) i Sàbat, F. (1986), més algunes publicacions específiques de la zona: Alvaro M. et al. (1989), López-García J.M. et al. (2014) i també de l'experiència acumulada per l'autor d'aquest treball. Però, així i tot, ens hem trobat amb fàcies no descrites per aquets autors que ens han obligat a situar-les dins de la columna estratigràfica, en ocasions amb certes dubtes.

A més, la tectònica de gravetat presenta alguns problemes cartogràfics addicionals. Els fragments lítics de diferents mides desplaçats per gravetat a quins estats corresponen? Al de l'edat de la roca dominant o al de la edat del procés que l'ha generat? Per a resoldre aquesta dicotomia, al mapa geològic, com veurem més tard, hem combinat l'edat les litologies dominants amb els diferents processos gravitacionals que han intervingut.

Les unitats litològiques diferenciades i cartografiades són aleshores les següents:

	LITOLOGIA O FACIES DOMINANT	FORMACIONS ASSIGNADES	EDAT
1	Dolomies, bretxes dolomítiques massives i dolomies estratificades	Fm. Felanitx i Fm. Mal Pas	Retià- Hettangià
2	Calcàries i dolomies massives en la base i estratificades a sostre	Fm. Sóller ?	Sinemurià-Pliesbaquià
3	Margues i margocalcàries hemipelàgiques	Fms. Puig den Pare, Cutrí, Alfàbia, Puig de ses Fites, Carboneres i Puig den Borràs	Bajocià-Berriasià infer. (Dogger mitjà-Cretaci infer.)
4a 4b	Margues pelàgiques Margocalcàries de Cala Torta	Fàcies Maiòlica i Fàcies Cala Torta	Berriasià-Barremià (Neocomià)
5	Calcarenites i conglomerats	Fm. Calcarenites d'Alaró	Priabonià sup.- Estampià infer.
6	Bretxes, conglomerats, margues arenoses i calcarenites	Fm. Calcarenites de Sant Elm	Catià sup.-Aquitanià
7	Mélange gravitacional miocena	-	Burdigalià-Languià?
8	Postorogènic	Eolianites i platges	Pliocè i Quaternari

Figura 1: Unitats sedimentaries cartografiades

Dolomies, bretxes dolomítiques massives i dolomies estratificades (1): Corresponen a les Fms. Felanitx i Mal Pas de Alvaro, M. et al. (1984,1989). Sense un estudi de més de detall se'ns fa impossible diferenciar les dues formacions, que són azoiques. En general les dolomies massives es situen en la base i les estratificades a sostre però quan aquestes es presenten en forma d'olistòlits són sempre massives. Quedaria per explicar quin és l'origen dels grans paquets de dolomies massives i bretxes dolomítiques de fins a dos centenars de metres de potencia que han perdut per complet les seves estructures sedimentàries originals. En escasses ocasions, a la base de la Fm. Felanitx hi trobam carniols i margues del Keuper. L'edat l'atribuïm al Retià-Hettangià.



Imatge 1: Nivells de Keuper al Pla de ses Bites. Únic aflorament amb fàcies Keuper de la zona cartografiada



Imatge 2: Bretxes dolomítiques del Retià-Hettangià



Imatge 3: Dolomies estratificades de la base de l'Atalaia Freda. A sobre calcodolomies massives del Lias

Calcàries i Dolomies del Lias (2): Aquestes litofàcies les atribuïm al Lias; Fm. Sóller d'Alvaro, M. et al. (1989). A la nostra zona venen caracteritzades per la presència de calcàries i dolomies fines d'ambients mareals, massives a la base i estratificades en bancs de 0,5 a 3,0 m a sobre. Hi ha un front de dolomitització, tant en la vertical com en la horitzontal. Alvaro, M. et al. (1989) li atribueixen una edat d'Hettangià superior a Sinemurià (Lias). El contacte amb les unitats inferior i superior és mecànic, de forma que en la base es poden acumular importants espessors de bretxes tectòniques. Constitueixen el gruix dels relleus de la zona a on generalment es presenten en forma de mantells, però també les hi trobam com a olistòlits: en aquest cas en forma de calcàries massives i amb nòduls de sílex intercalats.



Imatge 4: Litofàcies habitual de les calcàries del Lias



Imatge 5: Calcàries estratificades del sostre del Lias. Puig den Xoroi



Imatge 6: Calcàries estratificades molt plegades del Lias. Ribell de na Coc



Imatge 7: Calcàries massives del Lias del Puig des Corb



Imatge 8: Fragment d'olistó de calcàries del Lias amb nòduls de sílex no estratiformes.



Imatge 9: Dolomitització diferencial de les calcàries del Lias. Les dolomies corresponen als grisos més clars.

Margues i margocalcàries hemipelàgiques. Dogger-Malm (3): Corresponen a una alternança de margues i margocalcàries en ocasions noduloses. També pot presentar algunes passades conglomeràtiques amb clastes resedimentats. Localment són abundants els olistòlits carbonatats d'ambients d'aigües somes. Contenen filaments, radiolaris, ammonits, belemnits i nòduls de silexites estratiformes. Presenten freqüent slumpització, fundamentalment a la base. La potència no supera els 100 m.

A la península d'Arta el Dogger mitjà i Malm afluïren en grans extensions. Podem diferenciar dos dominis: Al sud-oest de l'ermita d'Artà la sèrie s'inicia al Batonià: López-García, J.M. et al. (2014), mentre que al nord-est s'iniciaria al Bajocià: Alvaro M. et al. (1989). Aquests autors interpreten que l'ambient sedimentari en que es dipositen aquestes fàcies correspon a una zona fragmentada amb individualització de petites conques internes i aportacions de materials resedimentats de plataforma. De tota manera, aquests autors no expliquen com a les sèries hemipelàgiques del Juràssic no apareixen algunes de les formacions més comunes del Dogger mallorquí: Es Cosconar, Gorg Blau i Cúber. Llacuna estratigràfica? Als capítols posteriors veurem que aquest fet ho atribuïm a un contacte mecànic.



Imatge 10: Margocalcàries hemipelàgiques del Dogger i Malm. Torrent de Sa Jonquera



Imatge 11: Calcàries noduloses del Dogger. Torrent de sa Jonquera



Imatge 12: Ammonitico rosso del peu del Puig Pelegrí



Imatge 13: Malm amb sílex estratiforme. Campament dels Soldats

Margues pelàgiques i Margocalcàries de Cala Torta. Neocomià (4a i 4b): A l'illa de Mallorca el Cretaci inferior, en general, ha estat insuficientment estudiat per les dificultats que presenten els seus afloraments. Es tracta de margues i margocalcàries pelàgiques dispostes en bancs que generalment no superen el mig metre de potència. Una de les seves característiques és la presència d'estructures de tracció i en ocasions -tot just en la proximitat dels contactes mecànics- una freqüent i acusada esquistositat. Aquestes fàcies són abundants a les Serres de Llevant (fàcies Maiòlica) i s'han atribuït al Cretaci inferior (Neocomià): Colom, G. (1973). A la nostra àrea d'estudi el Cretaci aflora en grans superfícies al sector septentrional mentre és poc potent o està completament erosionat al meridional. Bourrouilh, R. (1973) diferencia, a partir de criteris bioestratigràfics, un Berrasià, un Valanginià, un Hauterivià i un Barremià.

Però al litoral nord hem pogut diferenciar unes calcàries margoses ben estratificades en bancs de 20 a 50 cm de color gris i amb un gran nombre de vetes de calcita reblint esquerdes, que no presenten les estructures tractives ni l'esquistositat de les fàcies Maiòlica, per la qual cosa ens ha semblat important diferenciar una altra unitat litològica a cartografiar. En ocasions estan molt slumpitzades, talment com succeeix al famós aflorament de Cala Torta. A aquest nivell, per diferenciar-ho de l'anterior, l'hem denominat "fàcies Cala Torta", sense que aquesta denominació pretengui tenir un caràcter formal. Matamales, R. i Juárez, J. (comunicació personal) han trobat en aquestes margues ammonites que ens garanteixen, com a mínim, la presència dels següents estats:

- a. Valanginià superior: Zona Forcillata
- b. Hauterivià superior: Zona Ohmi, subzona Mortilleti
- c. Barremià inferior: Zona Hugii i zona Moutonianum
- d. Barremià superior: Zona Vandenheckei. Zona Sartousiana subzones Ferrandianusi i Provincialis

Les fàcies Maiòlica es situen sobre el Malm, però també es poden emplaçar sobre el Retià-Hettangià o el Lias. Al primer cas no hem pogut observar el contacte que està molt cobert. Bourrouilh, E. (1983) afirma que en la base del Neocomià hi ha nivells gravitacionals de fangs carbonatats, nodulosos i detrítics provinents d'una plataforma continental. Al segon cas es tracta d'un contacte substractiu.

No es pot observar la base de les fàcies Cala Torta que estan submergides. A la costa pròxima a l'Atalaia del Matzoc, al sostre hi ha les fàcies (7) atribuïdes al Miocè, però al interior aquestes fàcies desapareixen i es col·loquen les fàcies Maiòlica.

Els treballs clàssics de la zona cartografiaven les dues unitats com si formessin part d'un mateix sistema. Nosaltres les hem separat en 4a i 4b.



Imatge 14: Neocomià en fàcies Maiòlica



Imatge 15: Neocomià estratificat en "Fàcies Cala Torta". Cala Estreta



Imatge 16: Detall fàcies cala Torta. Abundants vetes de calcita.



Imatge 17: Margues neocomianes: Fàcies Cala Torta



Imatge 18: Margues noduloses neocomianes. Puig den Pelegrí.

Calcàrenites i conglomerats de plataforma soma. Priabonià-Estampià: (5): Es tracta d'unes fàcies poc representades a la zona estudiada que afloren a una franja molt coberta al sector meridional situat entre el Puig Figuer i el Puig den Pocafarina. Hi troben una alternança de calcarenites bioclàstiques i conglomerats de plataforma soma formant una sèrie poc potent. Bourrouilh, R. (1983) situa aquests nivells al Lutecià superior-Priabonià inferior mentre que Ramos, E. (1988) les emplaça al Priabonià superior-Estampià inferior (Fm. Calcarenites d'Alaró).

A l'oest del Puig den Pocafarina (cota 378), es troba el millor aflorament i aquí es pot observar com es dipositen sobre un Cretaci en fàcies Maiòlica.



Imatge 19: Conglomerats paleògens



Imatge 20: Detall conglomerats paleògens

Bretxes, conglomerats, margues arenoses i calcarenites (6): Aquesta Formació és l'únic representant del Miocè que hi trobam a la zona d'estudi i el pis més modern abans dels paroxismes miocens. Està constituït per biocalcarenites, margues arenoses i conglomerats propis d'un ambient costaner. Aflora únicament al sector meridional dipositant-se en contacte mecànic, ja sigui sobre el Cretaci o sobre el Malm.

Bourrouilh. R. (1973) li atribueix una edat aquitano-burdigaliana en base al seu contingut micropaleontològic, mentre que Sàbat, F. (1986) la situa al Catià superior. Correspon a la Fm. Calcarenites de sant Elm de Rodriguez-Perea, A. (1984).

Mélange gravitacional. Miocè (7): Es tracta d'una megabretxa d'olistòlits formats per unitats juràsiques i cretàiques. En ocasions (cas del Barracar), la matriu està constituïda per una marga arenosa un poc fètida de color gris obscur que conté alguns còdols d'edat mesozoica. No hem trobat més que alguns restes de bivalves mal conservats. En altres ocasions (Atalaia d'Albarca) el mélange no conté matriu.

Els olistòlits: dolomies massives del Retià o del Hettangià, micrites del Lias, margues estratificades del Dogger i Malm, margues cretàiques i margues noduoses de còdols cretàics, poden assolir mides que van dels pocs metres fins a varies desenes de metres y conserven la seva estructura original, presentant en general formes lenticulars en disposició paral·lela a l'estratificació, tot i que en ocasions estan slumpitzades. Les litologies dels olistòlits presenten en ocasions algunes diferències respecte a les seqüències habituals, però s'hauria de realitzar un estudi més detallat. Curiosament, els olistòlits de Cretaci conserven l'esquistositat que presenten en algunes zones pròximes als contactes mecànics, fet que també s'hauria d'analitzar. Altre fet curiós és el color vermell intens que presenten alguns olistòlits de dolomies: origen hidrotermal?

Per a nosaltres el Mélange gravitacional és, sens dubte, d'una unitat gravitacional lligada a una extensió.

No hem pogut observar amb claredat la base d'aquesta unitat. Únicament al est de l'Atalaia d'Albarca es veu com es disposa sobre el cretaci en fàcies Cala Torta, amb contacte que no sembla mecànic. Al sostre trobam altres unitats amb contacte mecànic. La seva potència no supera la trentena de metres en la costa de Albarca i el centenar en es Barracar.

La unitat aquí definida no ha estat descrita per cap dels autors abans esmentats que han reconegut la zona. Tant Darder com Bourrouilh i Sàbat als seus respectius mapes geològics ho cartografiaren com a Cretaci, sense més explicació, i així també figura al mapes geològics 1:50.000 del MAGNA.

Imatge 21: Margues miocenes? amb grans còdols mesozoics. Collet des Vent



Imatge 22: Detall del còdol de la Imatge 21



Imatge 23: Margues miocenes?



Imatge 24: Margues amb grans còdols. Miocè? Mélange des Barracar

Hem assignat aquesta unitat, amb dubtes, al Burdigalià superior-Languià. No disposam de cap criteri paleontològic ja que les recerques amb l'intent de trobar-hi microfauna han estat negatius, però ens basam en altres criteris de tipus regional:

- La unitat s'ha generat en un context típicament expansiu que provoca esllavissament de masses rocoses. La presència d'una expansió progressiva de conques al Miocè mitjà ha estat documentada per un gran nombre d'autors: Pomar, L. (1979); Pomar, L. i Rodríguez-Perea, A. (1983); Ramos-Guerrero et al. (1989)...

- Durant el Neogen (Oligocè superior-Miocè superior), tot el context general de la conca Catalano-balear és distensiu i també ho és la Conca Algeriana al sud de les Balears, argument que reforça la ubicació de les unitats delapsionals en aquest interval de temps geològic.
- Les roques preorogèniques més modernes que intervenen en la tectònica general pertanyen a l'Aquitanià superior- Burdigalià inferior, aleshores els desplaçaments gravitacionals haurien de ser, com a mínim, més moderns.
- Les margues de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar, que s'han datat com a Burdigalià-Languià, presenten a nivell insular freqüents elements delapsionats, el que ens indica la permanència d'un règim gravitacional durant aquesta època.
- Les unitats situades per sobre de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar: Limos de Manacor, Margas de Pina i Calizas de Son Verdera, són, en tot cas, continentals i sinorogèniques i no presenten les condicions paleogeogràfiques adequades per generar una tectònica gravitacional de grans dimensions.



Imatge 25: Mélange des Saulonar (Torre Albarca). Margues cretàiques i dolomies juràssiques a sostre



Imatge 26: Detall del mélange des Saulonar. Margues neocomianes esquistossades i dolomies



Imatge 27: Mélange. Olistòlits de Cretaci entre una matriu dolomítica molt trencada. Es Saulonar



Imatge 28: Aspecte ruïniforme del mélange des Saulonar



Imatge 29: Dolomies roges juràssiques amb eolianites discordants a sobre. Es Saulonar

Unitat postorogènica, Pliocè i Quaternari (8): Eolianites i ventalls al·luvials costaners dipositats fonamentalment a la costa sobre els anteriors relleus estructurats. Queden fora de l'abast del nostre estudi.

Aleshores aquestes vuit unitats conformen el gruix de la cartografia geològica.



Imatge 30: Ventall al·luvial amb grans còdols. Camí des Caló



Imatge 31: Eolianites plioquaternaries. Litoral nord



Imatge 32: Es Vells Marins. Ventalls al·luvials recents.

5.- TECTÒNICA DE GRAVETAT: MALLORCA, PROMONTORI BALEAR I SERRALADES BÈTIQUES

Des dels treballs de Fallot, P. (1922) i Darder, B. (1913,1921), la majoria d'estudis sobre l'estructura dels materials preorogènics de les Serres de Llevant, i de l'illa de Mallorca en general, han acceptat, amb alguns matisos, que l'estil era netament compressiu: Bourrouilh, R. (1973); Alvaro, M. i Del Olmo, P. (1984); Anglada, E. (1985); Pares, J.M. (1985); Sàbat, F. (1986); Moragues L. (1993) i Gelabert, B. (1997). Malgrat això, hi ha alguns treballs que incideixen, total o parcialment, sobre el caràcter gravitacional de l'estil estructural existent. Passarem a descriure'n alguns.

El primer autor que parla de l'existència d'algunes estructures gravitacionals és en Bourrouilh, R. (1973). A la seva tesi admet que la hipòtesi més simple per explicar la presència d'alguns afloraments de materials mesozoics i miocens sobre o immergits en les turbidites burdigalianes de la zona de Son Servera (Puig de Sa Font i Ses Peñas Vermeyas (sic.)), és acceptar l'existència d'olistòlits al interior de la conca de sedimentació. Això sense renunciar al caràcter compressiu de l'estil estructural dominant.

Chauve, P., Mataillet, R., Pechoux, J. i Rangheard, Y. (1976 i 1977), descriuen la presència de fenòmens tectosedimentaris ubicats a la zona occidental de la Serra de Tramuntana. Es tractaria de klippes sinsedimentaris prelunguans procedents de l'avanç d'un front de tectonització.

Pomar, L. (1977), publica un breu treball sobre la tectònica de gravetat basada en alguns dipòsits mesozoics, paleògens i neògens de la Serra de Tramuntana de Mallorca i l'illa de Cabrera. Descriu una sèrie d'afloraments a on sembla inqüestionable la presència de fenòmens gravitacionals sinsedimentaris. A partir d'aquests exemples, proposa una revisió d'algunes de les estructures compressives postburdigalianes i també una revisió crítica del model tectosedimentari de les Balears dominant en aquella època.

El mateix any, Pomar L. i Colom G. (1977), descriuen dipòsits de fluxos gravitacionals (*Grain-flow*, *Mass-flow*, *Debris-flow*, olistostromes i turbidites) a la costa de Sóller.

Mataillet, R i Pechoux, J., (1978) presenten la seva Tesi Doctoral a la Faculté des Ciències et des Techniques de l'Université de Franche-Comté, titulada: *Étude Géologique de l'Extrémité Occidentale de la Sierra Nord de Majorque (Balears, Espagne)*. Es realitza un anàlisi estratigràfic i un altre d'estructural de l'extrem occidental de la Serra de Tramuntana. Proposen un model tectosedimentari que trenca amb tots els esquemes anteriors. Es caracteritza per la presència d'apilaments caòtics de materials mesozoics i paleògens resedimentats en forma de klippes sedimentaris i olistostromes dins d'una matriu de sediments margosos burdigalians-languians. Per aquests autors, tots els contactes observats són de natura sinsedimentaria i suggereixen un emplaçament per lliscament a partir d'un massís estructurat situat, segons ells, probablement al SE.

Batlle, A., (1979), localitza, defineix i cartografia varis olistòlits en el Miocè de la zona central de la Serra de Tramuntana, tot i que també afirma que la zona està àmpliament dominada per una tectònica tangencial de compressió.

Pomar, L., (1979), reflexiona sobre el model estructural dominant aleshores i suggereix una nova hipòtesi sobre l'evolució tectosedimentaria de Balears (Menorca quedaria al marge). Proposa l'existència de tres cicles delapsionals, situant el primer al Dogger-Malm i Cretaci inferior, el segon al Paleogen i el tercer al Miocè mitja, tot sota el control de falles normals de direcció NE-SW o N-S. La única fase compressiva la situaria, amb dubtes, al Paleogen inferior. Es tracta d'un completíssim treball de síntesi que integra les dades de geologia marina del Mediterrani occidental amb les dades de camp aportades per l'autor.



Rodriguez-Perea, A. i Pomar, L. (1983), fan un anàlisi sedimentològic del Miocè turbidític del Port des Canonge (Banyalbufar); descriuen al sostre de la sèrie la *Subunitat Gravitacional*, formada per una massa bretxificada i caòtica de materials mesozoics, que ells interpreten com a un conjunt olistostròmic.

A partir d'aquesta darrera publicació, tots els treballs amb un cert contingut estructural realitzats a l'illa de Mallorca proposen un model basat en una tectònica compressiva vergent al NW que origina mantells, encavalcaments i escates; Les Tesis d'en Sabat, F. (1986) i Gelabert,

B. (1997), les Tesines de Pares, J.M. (1985) i Anglada, E. (1985), totes elles sota la coordinació de la UB, o els treballs de síntesi que es realitzaren per a la revisió del MAGNA 1:50.000, no esmenen la possibilitat de l'existència d'una tectònica gravitacional -segons el nostre parer sense prou arguments- i pràcticament no s'ha tornat a parlar d'aquesta hipòtesi als darrers 35 anys.

L'estructura de la veïnada illa d'Eivissa ha estat descrita pels treballs de Fallot, P. (1922), Spiker, E.N. i Haanstra, U. (1935), Rangheard, Y. (1971), Fourcade et al. (1982), i Duran-Delga, M. i Rangheart, Y. (2013). Tots ells proposen, amb algunes variacions, un model estructural semblant al de Mallorca, caracteritzat per la presència de tres escates vergents al NW amb sèries pelàgiques mesozoiques diferents per a cada una d'elles. Tot i això, Fourcade et al. (1982) i més tard García de Domingo et al. (2009), suggereixen la presència d'olistostomes al Miocè de la segona escata. Duran-Delga, M. i Rangheart, Y. (2013) estan en contra d'aquesta hipòtesi i afirmen que es tracta d'un autèntic Keuper o d'un Miocè transgressiu que retreballa el Muschelkalk.

A Menorca s'han descrit processos gravitacionals amb deposició d'olistostomes al Carbonífer inferior, tots ells afectats posteriorment per l'orogènia herciniana, aparentment sense cap relació amb l'evolució tectosedimentària de les illes de Mallorca i Eivissa. No es tenen referències de fenòmens semblants ni al Mesozoic ni al Miocè.

Però a on sí s'ha treballat intensament als darrers anys amb el tema de la tectònica gravitacional és a les zones externes de les Serralades Bètiques: García-Cortés A. et al. (1991); Roldan F. J. *et al.* (2006); Roldan F. J. *et al.* (2011); Roldan F. J. *et al.* (2012) i Rodríguez-Fernández J. *et al.* (2013). Aquests autors defineixen al Domini Subbètic de les Zones Externes la unitat anomenada "Olistostròmica del Guadalquivir (Languià sup.-Serravallà inf.), constituïda per una megrabrexa de matriu pelítica-guixosa producte del desmantellament gravitacional del prisma d'acreció, avui desaparegut, resultant de la col·lisió de la placa d'Alboran i el Bloc Ibèric. La unitat, orientada NE-SW, té uns 250 Km de llarg per fins a 50 Km d'amplària. Els litosomes gravitacionals, tectonosomes i olistostomes, estan formats per sèries fragmentades i trencades de materials d'edat compreses entre el Tries i el Miocè inferior pel primer cas, i per sèries massives de bretxes amb clastes de roques mesozoiques i terciàries pel segon cas.

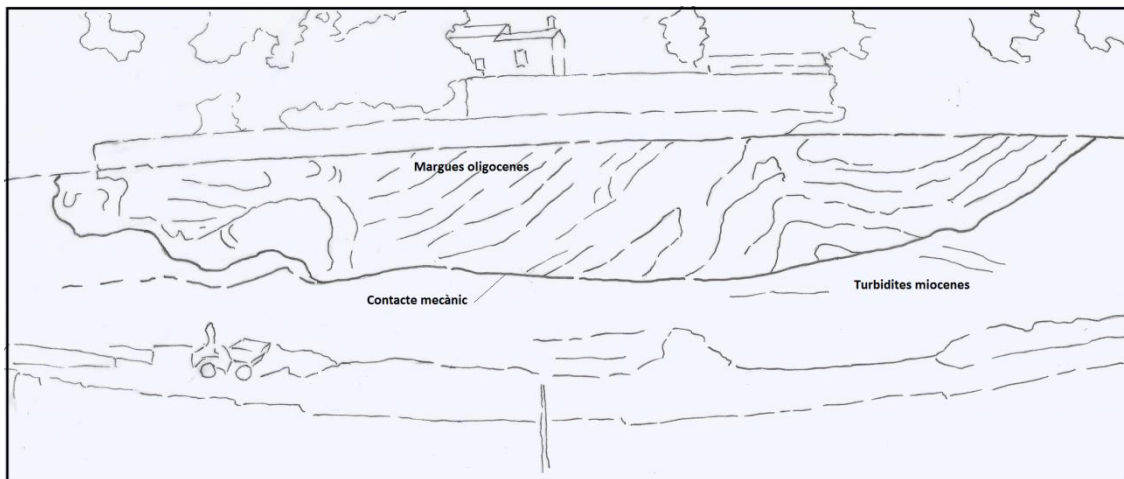
Exemples de tectònica gravitacional al voltant del Mediterrani occidental també s'han descrit a les cadenes alpines del nord d'Àfrica: Mattauer M. (1963); Negro F. et al. (2007) o als Apenins: Pini G.A. et al. (2004) i Festa A. et al. (2010 i 2010).

En general un gran nombre de geòlegs podrien actualment acceptar que durant la distensió neògena, que afecta a gran part de la franja costanera peninsular més pròxima al mar Catalano-Balear i a la conca algeriana situada al sud, es poden trobar olistòlits o olistostomes (en general mesozoics) englobats dins de les turbidites, que tenen un origen gravitacional, però sempre amb caràcter marginal i actuant com a precursors de les grans unitats encavalcants. Com hem vist, únicament Mataillet R. i Pechoux J. (1978) i Pomar L. (1979), qüestionen la presència d'una tectònica quasi exclusivament tangencial i proposen la introducció d'un model estructural que dona més pes a la gravetat.

En aquest TFM ens sumarem, modestament, a aquest reduït nombre d'investigadors que propugnem una revisió del paradigma compressiu i una nova forma d'enfocar la visió de l'evolució tectosedimentària de l'illa.



Imatge 33: Tall de la trinxera del ferrocarril Inca-Manacor al seu pas per Sineu. La base són turbidites burdigalianses i el sostre plegat margues lacustres oligocenes. Per evitar despreniments, l'aflorament actualment està sanejat i cobert. *Fotografia de Borja López Rayo.*



Esquema Imatge 33: Les margues oligocenes es posen en contacte amb les turbidites miocenes mitjançant contacte mecànic. Reparar que el contacte talla els plecs de les margues oligocenes: es tracta, molt probablement, d'un fenomen gravitacional.

6.- ESTRUCTURES I TECTÒNICA GRAVITACIONAL

La majoria de les deformacions que ens troben a l'escorça terrestre tenen el seu origen en el moviment relatiu de les plaques tectòniques. Tot i això, també ens hi podem trobar amb deformacions que tenen el seu origen principal en les forces de gravetat i que, a nivell global, no són gens menyspreables.

La primera qüestió de les estructures de deformació gravitacional és saber si es tracta d'un fenomen sinsedimentari o tectònic. A macoroescala, o a nivell d'orogen, està clar que algunes d'aquestes estructures tenen una component tectònica important, com per exemple els mantells de lliscament, mentre que a meso o microescala d'altres es formen durant la deposició dels sediments, com per exemple els olistòlits o els slumps. En tot cas, es tracta sempre de fenòmens, tant aeris com subaeris, que tenen lloc als nivells més superficials de l'escorça terrestre.

Les estructures gravitacionals s'ubiquen als marges de les cadenes muntanyenques. Poden ser pre, sin o postorogèniques i els desplaçaments, en ocasions, s'arriben a aproximar al centenar de kilòmetres. Els lliscaments gravitacionals depenen de varis factors: requereixen d'un relleu preexistent, d'un paleopendent fixo o mòbil i d'unes condicions litològiques determinades (presència de nivells plàstics), condicions que, en general, es solen donar als orògens.

Hi ha una certa confusió i dispersió terminològica en la classificació de les estructures gravitacionals i dels processos que les originen, de manera que, en moltes ocasions, el mateix terme pot tenir significats diferents en funció de l'autor. Quan es revisa la bibliografia existent ens hi trobam que normalment l'autor de cada publicació ha de redefinir els termes emprats al treball. Alguns d'aquests termes tenen un caràcter estratigràfic o sedimentològic, mentre que d'altres són purament estructurals. Passarem a revisar els més comuns i els que prioritàriament hem emprat en aquest TFM.

Debrites (Ricchi-Lucchi, 1986): Engloba a *Debris flows* i *Mud flows* generats per mecanismes d'esllavissament.

Delapsió: (Hoedemaeker, 1972). Terme que cobreix els processos superficials que es manifesten com a desplaçament de materials rocosos en suspensió o no (exceptuant els pendents dels ripples de corrent i els megarripples) després del seu despreniment de l'àrea d'origen baix la component tangencial de la gravetat. El terme assoleix els despreniments de roques, l'slumping, les turbidites i els olistostromes.

Klippe sedimentari; terme emprat pels geòlegs francesos. Equival a un cos rocós que ha llenegat i que es troba orlat de sediments més moderns. També s'utilitza com a equivalent d'olistostroma o olistòlit.

Mantell de lliscament (Mattauer, 1976): Mantells desplaçats únicament per l'efecte de la gravetat. El seu espessor és menyspreable en comparació amb l'àrea que cobreixen.

Mélange (Diccionari de Geologia del Institut d'Estudis Catalans (DGIEC)): *Cos cartografiable de roca format per una matriu de gra fi, pelítica, que inclou fragments de roca autòctons i al·lòctons de mides que poden anar de grànuls de pocs cm de diàmetre a compartiments de roques que poden assolir diversos km de dimensió* (DGIEC). S'originen

per esllavissades o per causes tectòniques. En moltes ocasions s'utilitza com a sinònim d'estructures caòtiques formades per fragments de roques que conserven els seus trets estructurals (Greenly, 1919 i Hsü, 1968) relacionades amb la denudació de prismes d'acreció. També és emprat com a sinònim d'olistostroma.

Olistó (DGIEC): massa o bloc de roca exòtica, de vegades de grans dimensions, inclosa en una sèrie estratigràfica més moderna.

Olistòlit (Flores, 1955): Elements individuals inclosos dins d'un olistostroma; (DGIEC): Bloc de roca exòtic transportat per esllavissament gravitatori submarí o subaeri i que ha quedat inclòs dins una sèrie sedimentaria recent, o que forma part d'un olistostroma.

Olistostroma: Definit a mitjans del segle passat, és un dels termes amb més accepcions. El DGIEC defineix olistostroma com a: Dipòsit sedimentari constituït per una massa caòtica de blocs de pedra, olistòlits, graves o sorres immergits en una matriu fangosa, que s'ha acumulat com una massa semifluida per efecte d'un esllavissament gravitatori submarí. El terme és comunament emprat per definir estructures gravitacionals de molts de tipus, con les argiles esquistoses dels geòlegs italians, o seqüències de roques molt diverses amb una distribució caòtica.; En ocasions també es confon amb els olistòlits o els tectonossomes.

Slump, Slump-creep o Slumping (DGIEC): Mecanisme de transport subaquós en què la reptació d'una massa sedimentaria és associada alhora amb esllavissades de mesures molt diverses...

Tectonossomes (Pini, 1999) o **Formacions trencades** (Hsü 1968): Unitats gravitacionals deformades amb disrupció d'estrats i blocs diversos, però que conserva la seva identitat estratigràfica, litològica i cronològica. En moltes ocasions es confonen amb els olistostromes dels que es diferencien per la manca de matriu pelítica.

Tectònica de gravetat, Tectònica de lliscament per gravetat, Gravitació tectònica o Tectònica gravitacional; Procés mitjançant el qual les forces gravitacionals provoquen la formació de falles i plecs deguts al moviment per un pendent de la cobertura sedimentaria d'una regió elevada.

Unitat olistostrònica (Roldan et al. 1988): Unitat geològica que presenta acusats processos d'esllavissament generats per gravetat. Els seus components són olistòlits i aquests es denominen paquets (slabs) o blocs esllavissats en funció de la seva morfologia ja sigui tabular o circular.

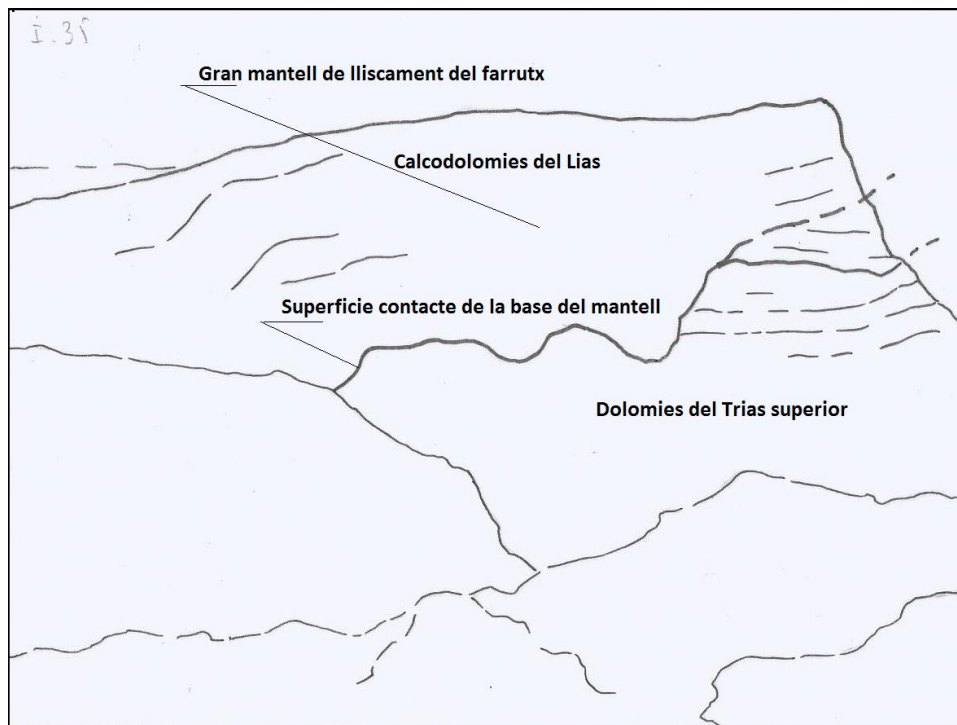
No totes les anteriors definicions és poden aplicar al que hem observat a la nostra zona d'estudi. Un exemple seria el terme "olistostroma" utilitzat a la bibliografia local per diferenciar alguns massissos rocosos originats per gravetat que no coincideixen amb la definició comunament acceptada aquí expressada.

Per finalitzar, les unitats estructurals gravitacionals utilitzades i cartografiades en aquest treball són tres:

1. **Mantells de lliscament:** Entenem per mantells de lliscament aquells cossos que, en general, mantenen les seves característiques litològiques i estratigràfiques originals i que han estat desplaçats de la seva posició inicial per un pendent per efecte de la gravetat a partir d'un nivell plàstic que actua com a nivell de lliscament, que pot formar part o no del mateix mantell. La superfície de contacte entre el bloc superior i el inferior pot estar plegada, bretxificada o fallada, en aquest darrer cas a partir d'un pla de falla subhoritzontal.



Imatge 34: Gran Mantell de lliscament sobre dolomies de materials del Lias que formen el Bec den Farrutx.



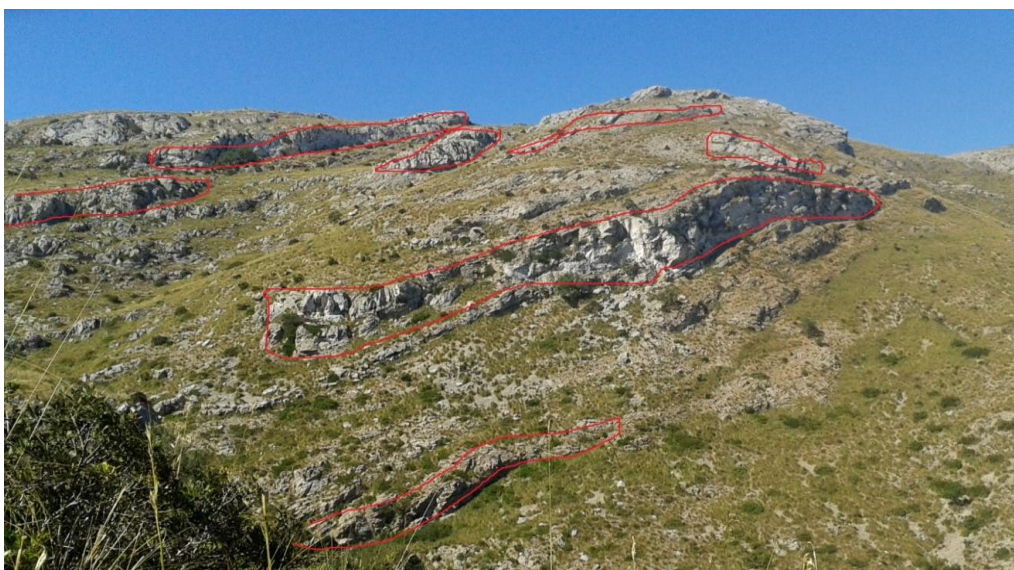
Esquema Imatge 34: Un potent paquet de calcodolomies del Lias es situa, mitjançant contacte mecànic, sobre les dolomies del trànsit Trias-Lias. Notar que el contacte talla l'estratificació de les dolomies

2. **Mélanges:** Corresponen a barreges caòtiques de fragments d'estrats de diferents litologies i edats que no han perdut la seva estructura original (olistòlits). Poden presentar una matriu detrítica o, més comunament, dipositar-se sense matriu. Segons la bibliografia clàssica, provenen del desmantellament d'antigues zones estructurades de contacte de plaques.



Imatge 35: Dolomies i margues cretàiques en mescles caòtiques. Es Saulonar. Costa nord. És possible que algunes estructures dels olistòlits que conformen la mélange siguin relictos d'una fase tectònica anterior.

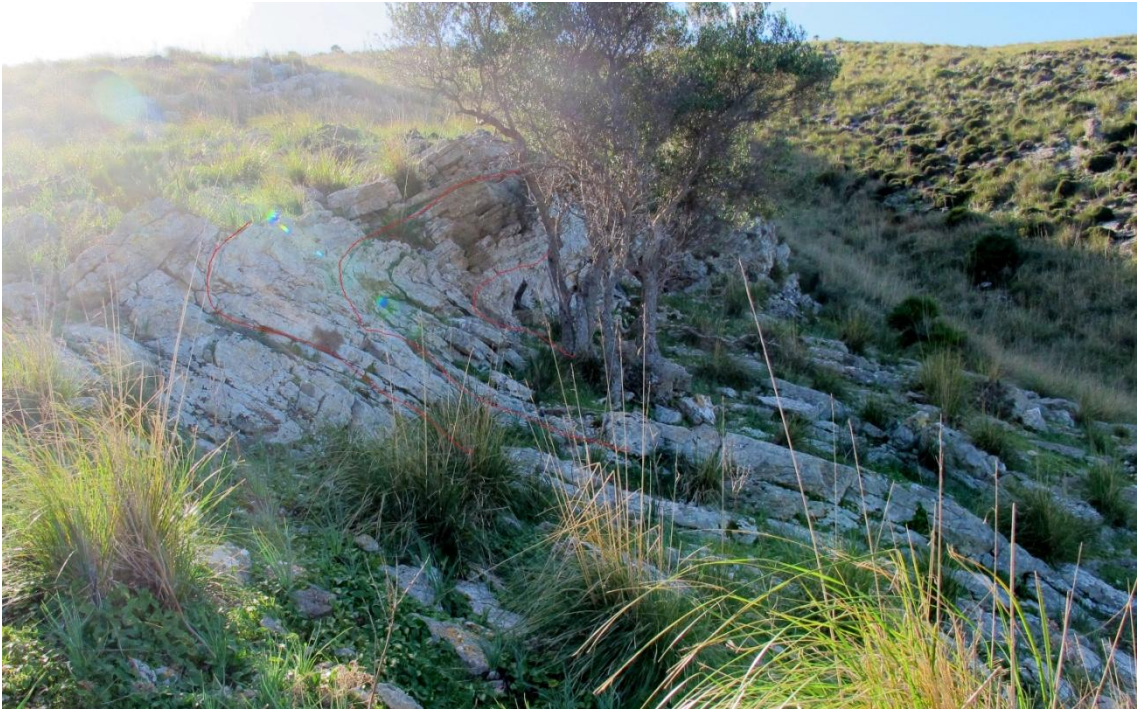
3. **Olistòlits o Olistons:** Són fragments d'unitats de roca que es desplacen per gravetat per un pendent. No han perdut les seves característiques originals. Es troben com a blocs al·lòctons aïllats dins o sobre d'una matriu margosa-argilosa o formant part d'estructures més complexes (olistostromes, tectonosomes o mélanges). Poden assolir mides de fins a varis centenars de metres. Únicament es representaran aquells que presentin unes mides cartografiabls.



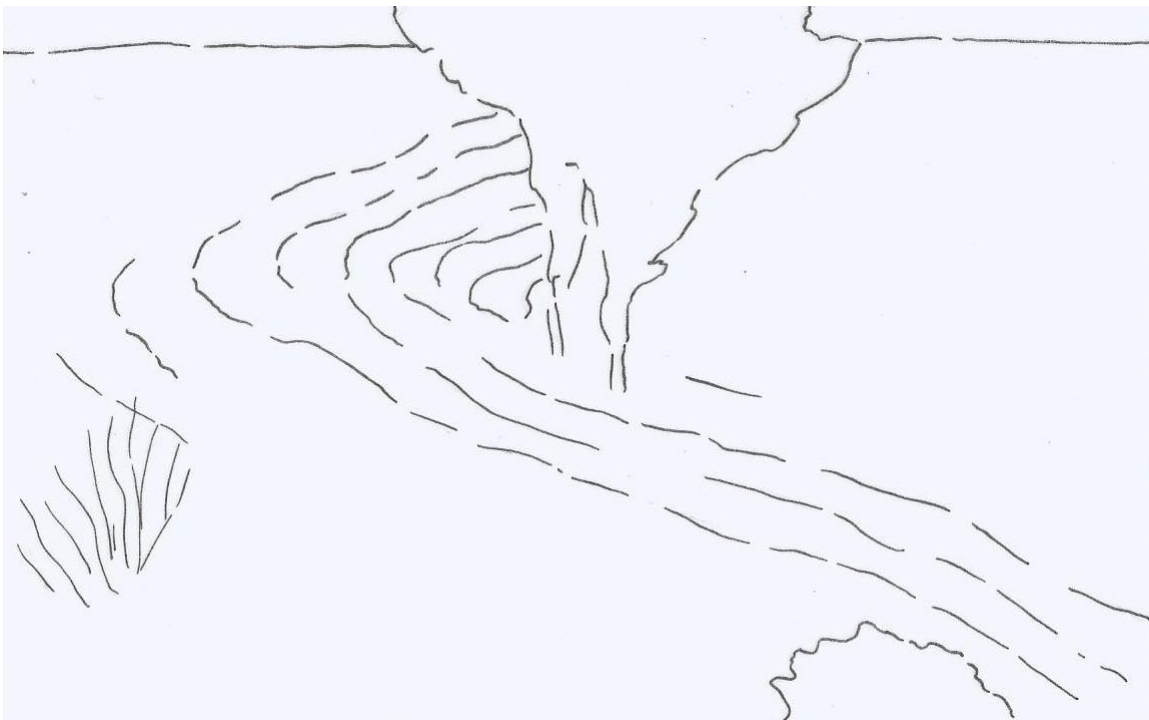
Imatge 36: Olistons de calcàries de plataforma en Juràssic pelàgic. Puig den Pelat

4. Altres estructures no cartografiables

Hem trobat altres estructures geològiques, principalment falles, slumps i alguns plecs, que per les seves dimensions no són cartografiables. Mostrarem alguns exemples gràfics:



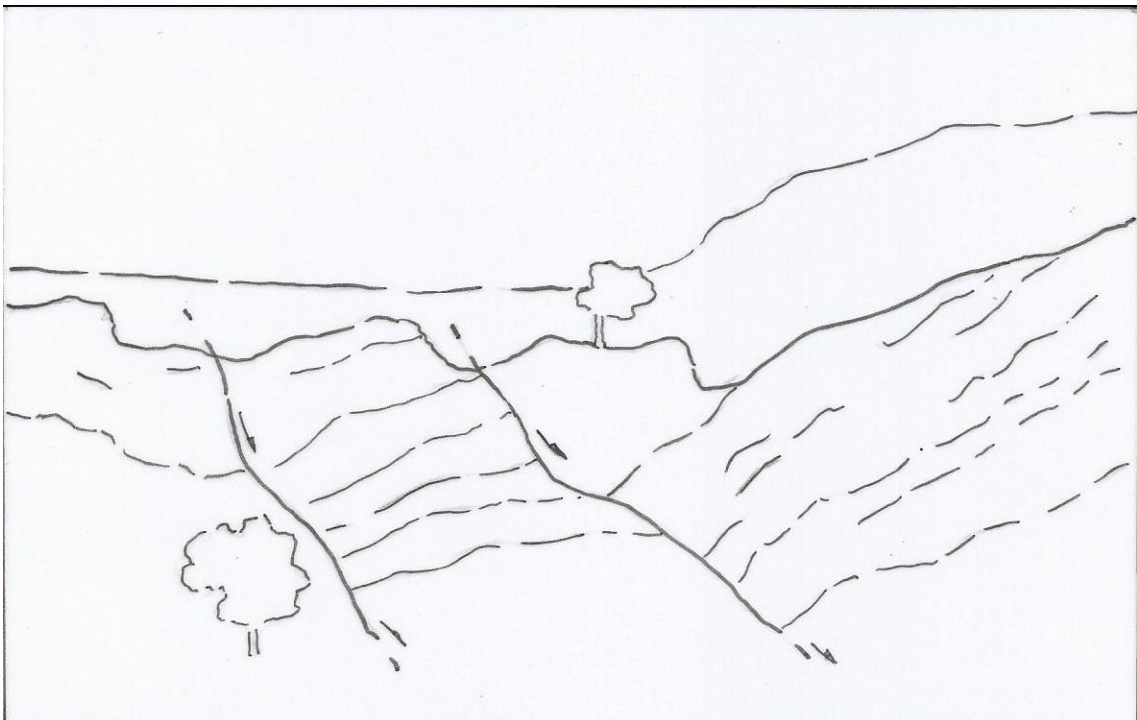
Imatge 37: Anticlinal ajagut de calcàries pelàgiques. Ribell de na Coc



Esquema Imatge 37: Plec anticlinal no cartografiable



Imatge 38: Falles normals afectant a les margocalcàries pelàgiques. Ribell de na Coc



Esquema Imatge 38: Falles extensionals no cartografiables que tallen al pelàgic.



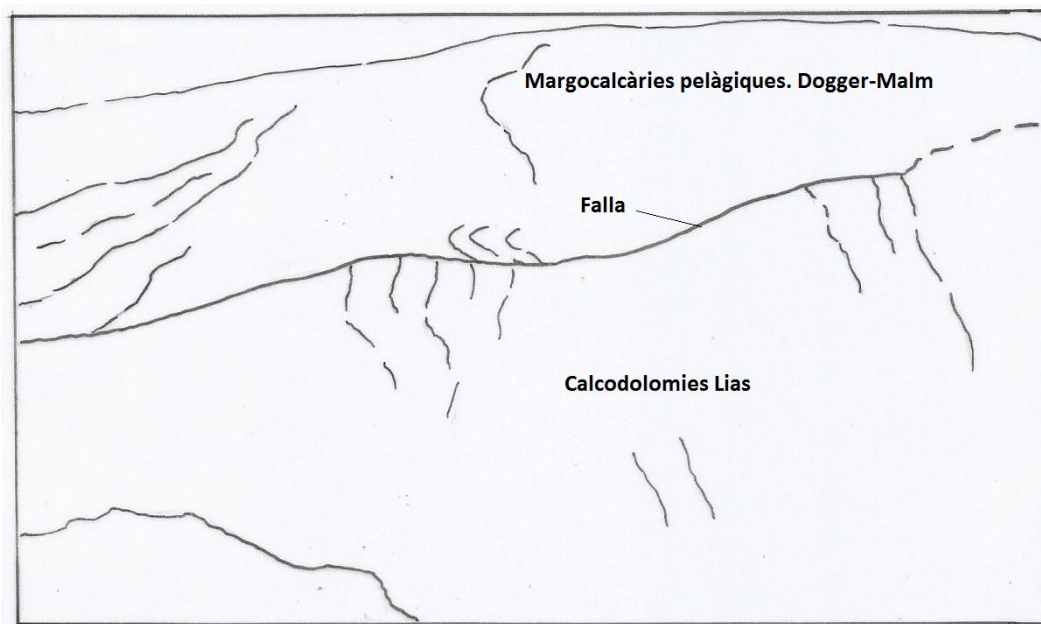
Imatge 39: Plecs disharmonics al Juràssic. Base del Puig Pelegrí



Imatge 40: Falles de lliscament entre materials pelàgics. Puig des Porrassar



Imatge 41: Falla molt ajaguda de lliscament. Ribell de na Coc



Esquema Imatge 41: Falla subhoritzontal tallant les calcàries del Lias que, tot i el seu aspecte massiu, són localment subverticals. El plec ajagut del flanc superior de la falla, és el de la imatge 37.

Tant a les Tesis den Bourrouilh com den Sàbat, es cartografiaren unes falles de direcció N120-140° amb traces pràcticament coincidents pels dos autors i recorreguts quilomètriques. Bourrouilh suggereix que aquestes falles venen a ser uns passadissos estructurals que tallen els encavalcaments i separen blocs amb litologies i estructures diferents. Nosaltres no hem trobat criteris sòlids per cartografiar aquestes falles. Algunes d'elles ens semblen simplement límits de mantells de lliscament.

7.- DESCRIPCIÓ DE LES ESTRUCTURES DIFERENCIADES

Observacions preliminars

Ja hem parlat abans de que la regió estudiada ha estat reconeguda i interpretada per, com a mínim, dues tesis doctorals: la d'en Bourrouilh, R. (1973) i la d'en Sàbat, F. (1986). Sense entrar en detalls, ambdues tesis propugnen un model estructural compressiu vergent al NW d'edat burdigaliana. A primera vista, i revisant la cartografia i els perfils geològics que ambdós autors proposen, aquest model sembla coherent i podria efectivament explicar l'evolució tectosedimentària de la regió. La qüestió és que aquest esquema, relativament simple, no s'adapta a la realitat quan es treballa amb més detall, es a dir, a escala decamètrica o hectomètrica.



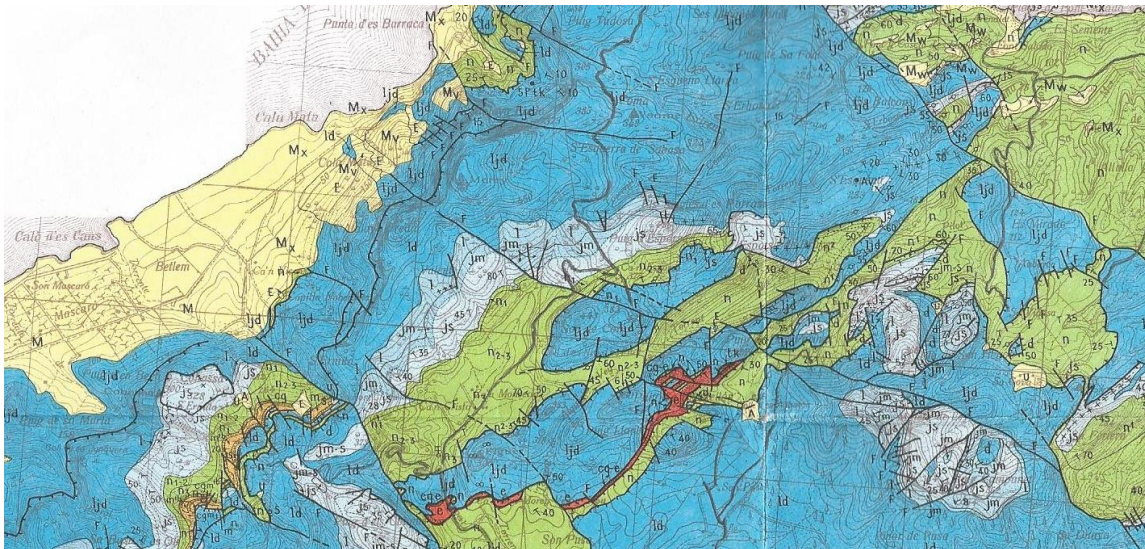
Bourrouilh se'n adona de la complexitat existent (Figura 3) i per resoldre-ho apel·la a una fase de distensió N-S a N 30°-50° que la compressió N 120-140° posterior transforma en encavalcaments al NW.

Sàbat coincideix en molt d'aspectes amb l'esquema d'en Bourrouilh. Per a ell les estructures dominants són els encavalcaments, però lleva importància a les falles N-S a N 30-50 i descriu falles de traça quilomètrica i orientació NW-SE que són contemporànies als encavalcaments. És interessant l'estudi que fa de les microestructures; a partir d'elles conclou que a les estacions escollides les deformacions són simples. La majoria de les estacions corresponen a falles distensives anteriors o posteriors al basculament de l'estratificació, suggerint que algunes podrien ser mesozoiques, tot i que afirma que la distensió no és simple i que calen més estacions. Respecte a les falles compresives, menys comunes que les distensives, postula que són anteriors la basculament de les capes i a les megaestructures d'escurçament (encavalcaments i plects), algunes d'elles amb una component direccional important.

En geologia, i probablement en altres àmbits de les ciències, s'han de cercar sempre les explicacions que donin solucions al major nombre possible d'interrogants però que, a la vegada, siguin les més senzilles; Per comprendre la complexitat existent a la zona estudiada no és suficient amb una fase tectònica compressiva a les acaballes del Burdigalià com proposen, amb matisos, els actuals models; En tot cas, s'haurien de superposar vàries fases compressives i algunes de distensives, en aquests moments difícils de reconstruir a partir de la cartogràfica geològica o de la geologia regional. Pensam aleshores que l'explicació més senzilla seria suggerir un model estructural dominat per la gravetat..

Proposar un model diferent a l'existent, com aquí apuntam, requereix d'una base molt sòlida i d'estudis més acurats; més propis d'una Tesi Doctoral que d'un Treball de Fi de Màster. Tot i això, el que aquí modestament intentarem es qüestionar aquest model i proposar-ne un altre alternatiu. Es pretén, finalment, aportar arguments per capgirar el paradigma de la tectònica tangencial com a base del model estructural de l'àrea aquí estudiada, però també, i a partir d'observacions realitzades fora del àrea d'estudi, pensam, i és lògic, que aquest model alternatiu podria ser transportable a un àrea més extensa.

Figura 3. Detall del Mapa Geològic de Bourrouilh (1973).



Les figures 4 i 5 són representatives del que anteriorment apuntavem. A la figura 4 es mostra un tall geològic situat a les proximitats de l'Ermita de Betlem. En ell s'observa que es repeteixen una sèrie de contactes additius i substractius que tenen una molt complexa explicació a partir d'un model únicament compresiu. Així i tot, Sàbat proposa a la seva Tesi Doctoral el esquema evolutiu que es mostra a la figura 5.

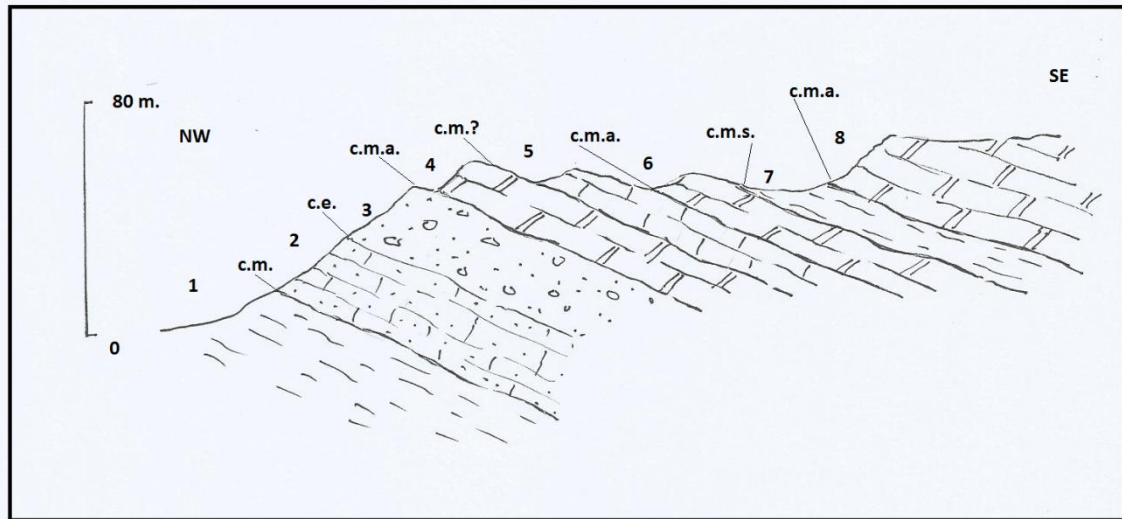


Figura 2: Tall geològic des del tirany de l'ermita al puig Farrutx a la base fins al camí del Pas de sa Mèl·lera a sa Talaïeta a sostre; 1, Margues cretàtiques fàcies maiòlica. 2, biocalcarenites miocenes. 3, conglomerats miocens. 4, dolomies del Retià-Hettangià. 5, calcàries liàsiques. 6, dolomies Retià-Hettangià. 7, Margues cretàtiques fàcies maiòlica. 8, dolomies massives del Retià-Hettangià. c.e. contacte estratigràfic; c.m. contacte mecànic; c.m.a. contacte mecànic additiu; c.m.s. contacte mecànic substractiu.

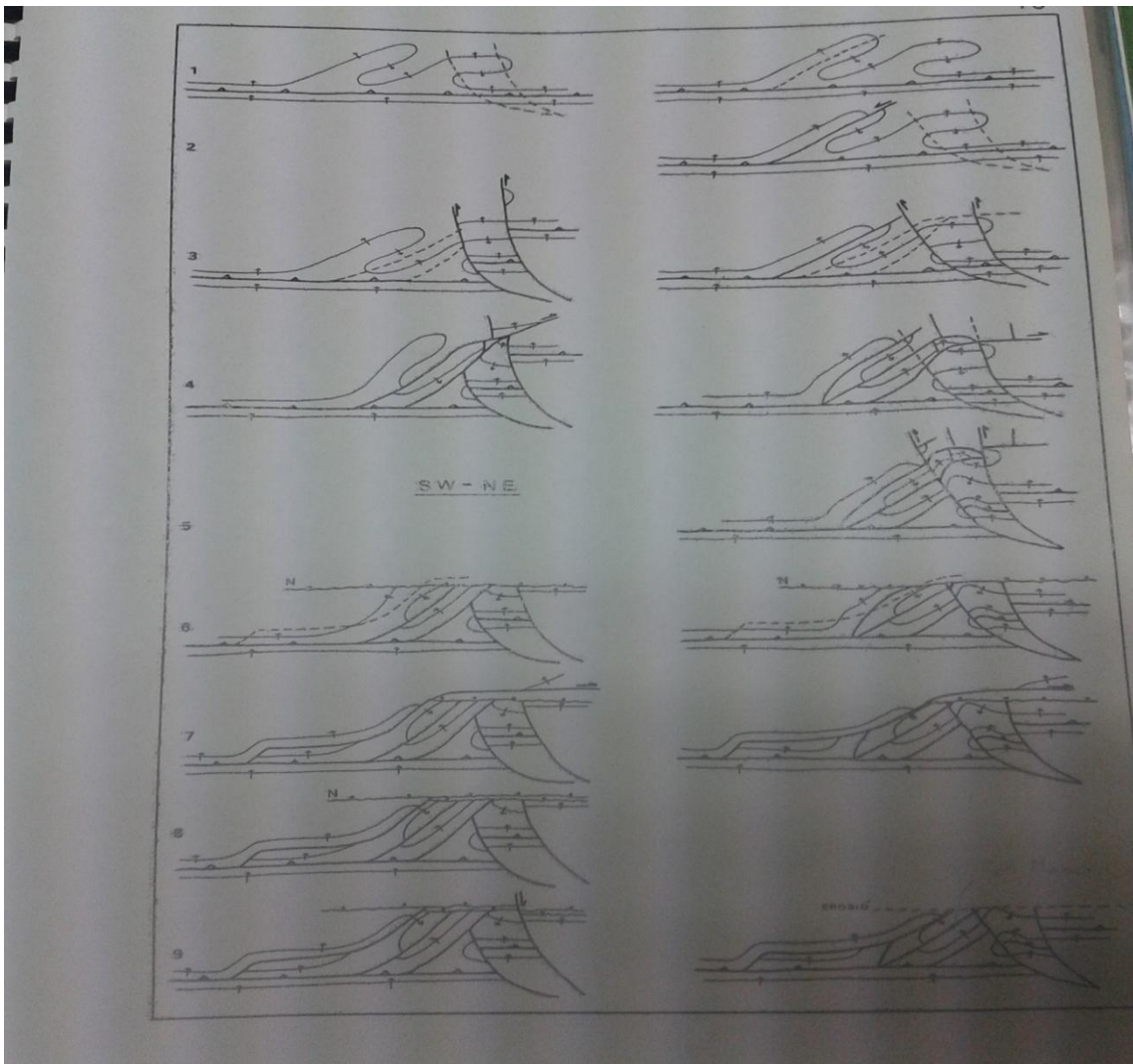


Figura 3. Esquema de Sàbat, F. (1983) d'evolució tectònica per explicar el suposat plec del Miocè de l'Ermita. Observar la complexitat del procés a partir d'un esquema tectònic compressiu. Correspon al tall de la figura 4

Volem remarcar que les conclusions que figuren al final d'aquest treball s'han de prendre amb reserves: faltarien moltes més dades. Algunes de les tasques a realitzar per consolidar aquesta proposta i que aquí, principalment per manca de temps i d'infraestructures, no s'han pogut executar serien:

- a) Ampliar l'àrea d'estudi per presentar una visió més global de la possible evolució cinemàtica de les Serres de Llevant.
- b) Definir amb més detall i amb un recull de dades paleontològiques, les diferents unitats litoestratigràfiques aflorants i situar-les dins de la successió cronoestratigràfica.
- c) Consultar les dades referents als sondeigs o a la testificació geofísica.
- d) Fer estudis detallats de microtectònica per determinar quines han estat les fases i les direccions i sentits del desplaçament o desplaçaments.
- e) Localitzar afloraments de Miocè i relacionar-los amb les unitats descrites. Ja hem comentat abans que la manca d'afloraments de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar a la zona estudiada dificulta la interpretació estructural.
- f) Determinar don provenen les unitats delapsionades o eslleisades i el sentit de les paleopendents. Necessitem d'un massís emergit que avui en dia ni veiem ni sabem a on es podria situar.
- g) Relacionar totes les dades amb les darreres investigacions sobre l'evolució de les Bètiques i el Mediterrani occidental.

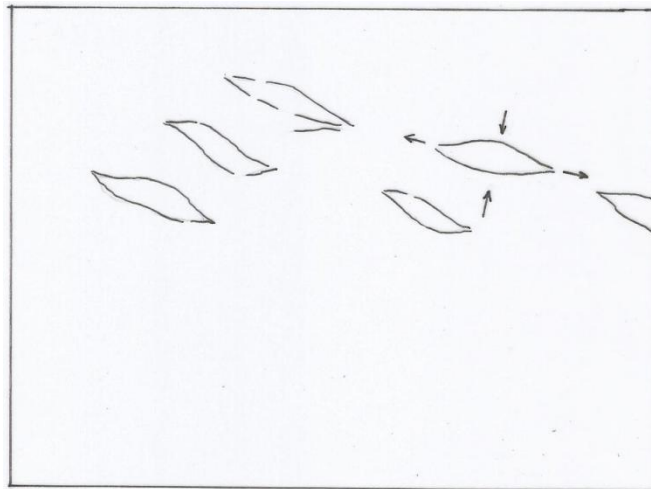
Tot i aquestes mancances, tenim tres grans arguments que pensam són suficients per, com a mínim, suggerir una revisió del model estructural avui vigent a la zona:

A) Geometria dels massissos rocosos

A macro i mesoescala una de les característiques a destacar és la discontinuïtat de molts dels afloraments rocosos; Les disruptions brusques d'aquestes unitats en són freqüents, ja sigui per que formen olistòlits (que descriurem més tard) o per que formen massissos rocosos discontinus amb geometries lenticulars a manera de rosaris, que en ocasions es poden seguir al llarg de varis kilòmetres. Aquestes mateixes estructures lenticulars les hi trobam també a microescala, principalment als nivells margosos, a on formen sigmoïdes en general paral·lels a l'estratificació. Quedaria pendent, com hem apuntat abans, l'estudi d'aquestes estructures sigmoïdals i de les estries associades a les falles que les acompanyen, però aquestes, juntament amb les estructures d'ordre major, són en tot cas més pròpies d'un sistema distensiu que compressiu.



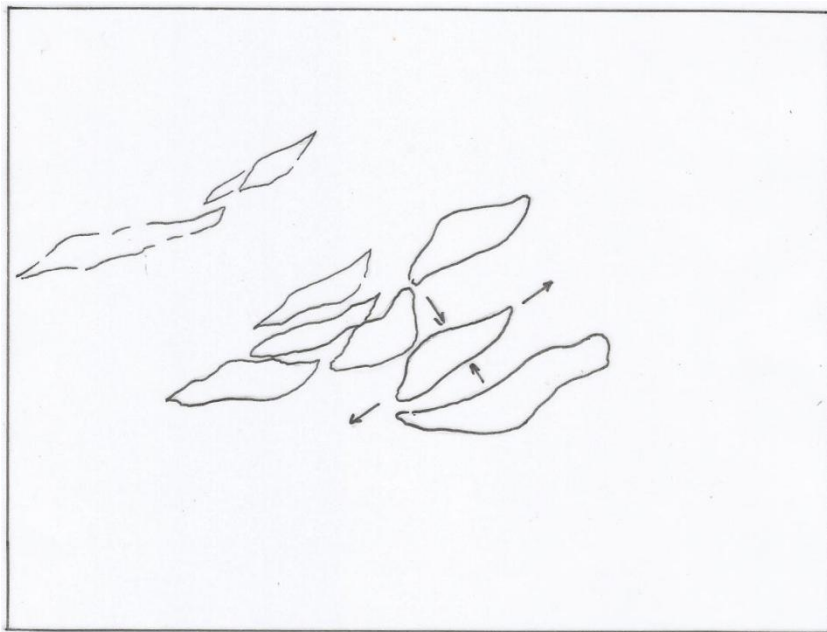
Imatge 42: Sigmoides a les margues del cretàic. Estructures de distensió.



Esquema Imatge 42: Alguns sigmoides de les margues cretàiques. Aquest tipus de fàbrica és molt abundant en aquestes margues. La geometria dels sigmoides denota una fase distensiva acusada.



Imatge 43: Sigmoides a les margues pelàgiques. Cala de la Font Celada.



Esquema imatge 43: Al igual que la imatge anterior, la geometria dels sigmoides en relació a l'estratificació, ens indica una clara distensió.



Imatge 44: Formes lenticulars dels massissos rocosos. Puig d'en Pelat

B) Contactes entre les diferents unitats

Hem posat molt d'esment en els contactes entre les diferents unitats cartografiades. Som de l'opinió de que aquest, juntament amb un posterior estudi detallat de microtectònica, és un dels arguments definitius en favor del replantejament del model estructural que aquí es proposa.

Contactes subtractius

Aquests contactes són habituals a la zona estudiada. Hem diferenciat tres tipus:

Cretàcic sobre Retià-Hettangjà

Faltaria aleshores una bona part de la sèrie. Les margues cretàciques presenten una esquistositat molt marcada paral·lela a l'estratificació. El més curiós d'aquests contactes és que, en general, són subhoritzontals amb la qual cosa es descartaria que el seu origen sigui a partir de falles extensives verticals o subverticals. Podrien tenir el seu origen, en tot cas, en falles molt esteses relacionades amb esllavissaments gravitacionals miocens. Els hi trobam, per exemple, a la pujada del Coll de sa Mèl·lera o a les proximitats del Pas de sa Mel·lera.

Bourrouilh, R. (1973) per justificar alguns contactes subtractius (Retià-Hettangjà amb Cretaci) parla d'un front de dolomitització que partint del Triàsic superior pot assolir fins al Malm. Aquesta interpretació la trobam poc justificada, ja que aquest fet suposaria que, a més de les

dificultats del intercanvi Calci/Magnesi en els nivells margosos del Dogger i Malm, s'han perdut totes de les estructures sedimentàries: fundamentalment plans d'estratificació o nivells de sílex estratiformes.



Imatge 45: Cretaci sobre dolomies. Ctra. Ermita Km. 5,7



Imatge 46: Cretaci sobre dolomies. Ctra. Ermita Km. 7,2



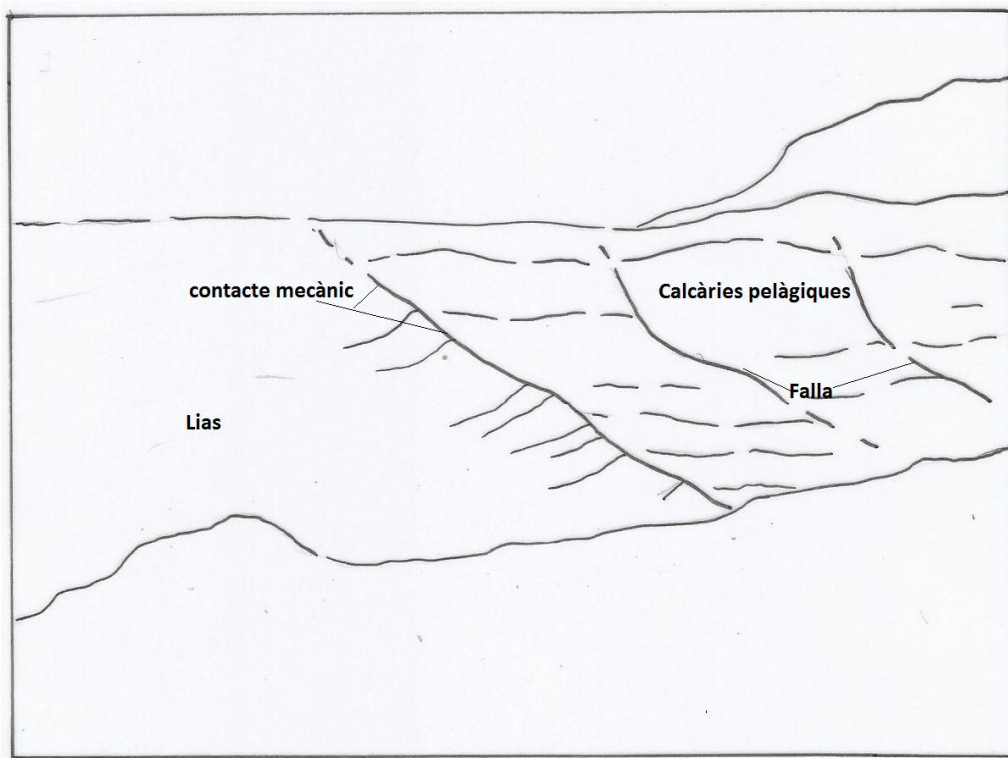
Imatge 47: Cretaci sobre dolomies. Camí den Mondoï. Albarca

Dogger sobre Lias

En aquesta ocasió els contactes poden ser mecànics o disharmònics (slumps). El que d'entrada sobta és que entre el Lias i el Dogger mitjà hi ha una llacuna estratigràfica de manera que falten alguns nivells molt estesos a la resta de l'illa: Fms. Cosconar, Gorg Blau i Cuber. És possible que si el contacte és disharmònic l'origen sigui estratigràfic, però pels contactes mecànics trobats ens inclinam per un origen gravitacional. Un exemple estaria situat al Ribell de na Coc, a la base del Puig de sa Talaieta; es pot observar com una falla subhoritzontal talla els nivells del Lias (Imatge 48), el que justificaria l'absència de les Formacions anteriors. Exemples de plects disharmònics serien la vesant nord del Puig des Porrassar o el nord de s'Alqueria d'Avall.



Imatge 48: Discordança entre Dogger (sostre) i Lias (base). Contacte mecànic. Ribell de na Coc



Esquema Imatge 48: S'observa con el contacte entre el Lias i el Dogger no és estratigràfic com caldria esperar. Es, en tot cas, un contacte extensiu.

Dogger sobre Retià-Hettangià

Aquest tipus de contacte substractiu es pot observar en vèris indrets: el Puig de la Mare de Deu, Puig de sa Vinyassa, Torrent de s'Aigo Dolça, ... Al primer cas les dolomies són massives però a Sa Vinyassa el Dogger presenta una lleugera discordança sobre les dolomies estratificades de l'Hettangià. Al igual que el cas anterior, pensam que es tracta d'un contacte mecànic gravitacional en que el nivell de desenganxament serien les margues del Dogger inferior, però també podria tractar-se una falla normal.



Imatge 49: Dogger-Malm sobre dolomies. Pas des Grau, camí Betlem a Ermita.



Imatge 50: Dogger-Malm sobre dolomies. Lleugera discordança. Puig de sa Vinyassa

Paleogen sobre Cretaci

Des de la base meridional del Puig Figuer fins al sud del Puig den Pocafarina s'estén una franja de materials paleògens. L'aflorament més representatiu està situat al nord-est del Puig des Castellot (cota 378) a on s'observen calcarenites i conglomerats situats a sobre del neocomià en fàcies Maiòlica.

El Paleógen de la península d'Artà fou descrit per primera vegada per n'Hermite, H. (1879). Bourrouilh, R. (1973) i Sàbat, F. (1986), en base al seu contingut en Nummulits li atorguen una edat de Lutecia superior-Priabonià inferior.

El contacte entre el Cretaci i el Paleogen és erosiu.



Imatge 51: Contacte Cretaci-Paleògen. Puig des Castellot

Miocè sobre Cretàcic

Des del torrent de s'Aigo Dolça fins al Puig den Pelat trobam materials miocens aflorant en una franja estreta d'uns 3,5 Km de direcció NNE-SSW. Darder, B. (1932) ja menciona el Burdigalià a l'ermita d'Artà, mentre que tant Bourrouilh, R. (1973) com Sàbat, F. (1986), per explicar la complexa successió estratigràfica dibuixen a l'ermita un sinclinal tombat vergent al SE.

Es tracta de calcaries i calcaries margoses alternat amb conglomerats i microconglomerats que Bourrouilh situa en l'Aquitanià-Burdigalià i Sàbat en el Catià-Aquitanià (Fm. Calcarenites de Sant Elm)

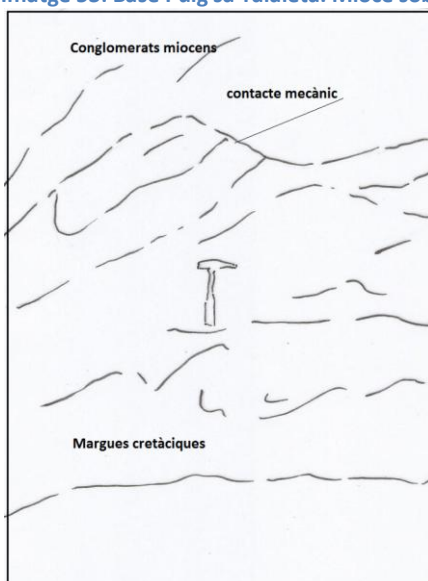
El contacte entre les margues de la seqüència del Cretaci inferior i la seqüència miocena és mecànic: en molt de punts es pot observar com està fortament tectonitzat (Imatge 53) o, com succeeix en les proximitats de l'ermita, la superfície de contacte Cretaci-Miocè, talla a l'estratificació del Miocè. A més, sobre les margocalcàries de la unitat miocena es dipositen calcaries del Lies, Dolomies del Retià i, en ocasions, margues cretàciques. dibuixen un contacte discordant que no hem pogut observar per mor de l'acusada tectonització. Es tracta, per tant, d'un contacte molt mecanitzat a on no es pot observar la suposada discordança dels anteriors autors.



Imatge 52: Base Puig sa Talaieta. Balma amb estries de Miocè sobre Cretaci.



Imatge 53: Base Puig sa Talaieta. Miocè sobre Cretaci. Contacte mecànic



Esquema imatge 53: El contacte entre el Cretaci i el Miocè no és un contacte erosiu, com caldria esperar; està en totes les ocasions fortament tectonitzat, el que ens indica que hi ha hagut un desplaçament relatiu entre ambdues unitats

Contactes additius

Distingirem dos tipus:

Lias sobre Cretàcic

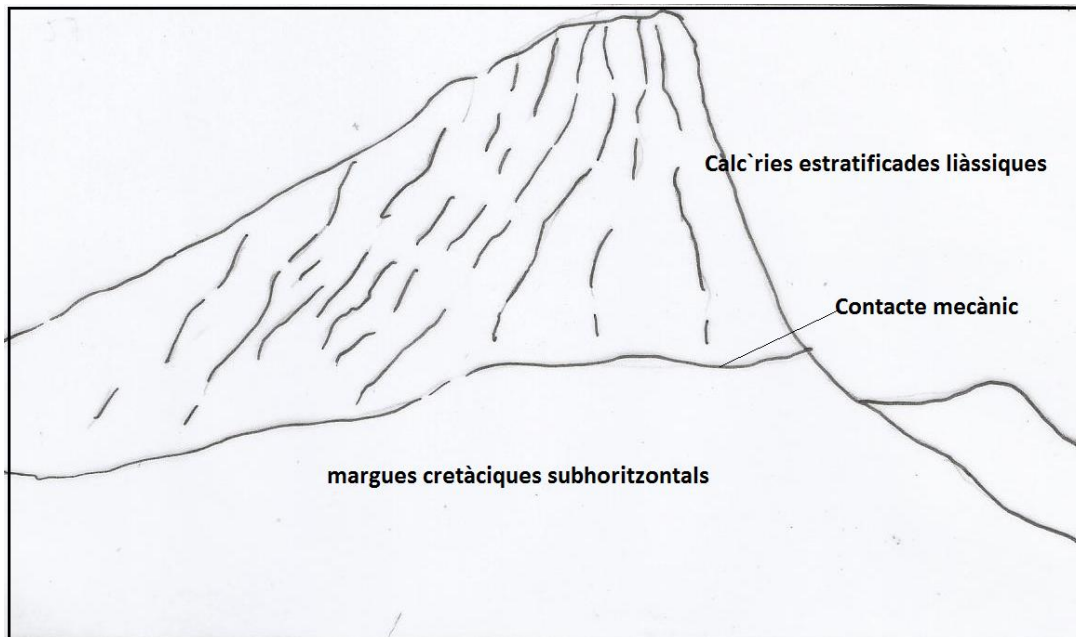
Aquest tipus de contacte és comú a la zona compresa entre s'Alqueria Vella i Albarca. Les margues cretàciques formen el fons de les valls mentre que les calcàries i dolomies del Lias formen els turons: Puig des Corb, Serra den Cremat, Puig Genet, Puig des Castellot, Puig den Poca Farina, Ses Murades, Puig Pelegrí, etc. La interpretació clàssica és que els turons constituïrien klippes d'un mantell de corriment, mentre que el cretàcic seria l'autòcton relatiu.

Aquest tipus d'interpretació requeriria que, en termes generals, l'estratificació del Lias (bloc superior) fos paral·lela al pla d'encavalcament, ja sigui en replà o en rampa. Això no succeeix ja que mentre, tant el Cretaci com el suposat contacte tectònic entre les margues i les calcodolomies del Lias són subhoritzontals, el Lias presenta cabussaments acusats, i inclús verticals com succeeix al puig de Ses Murades.

La nostra interpretació és que, mentre el Cretaci es diposita en un context general distensiu, dels talussos es desprenen olistòlits de Lias que ara trobam en forma de klippes sedimentaris entre les margues neocomianes.



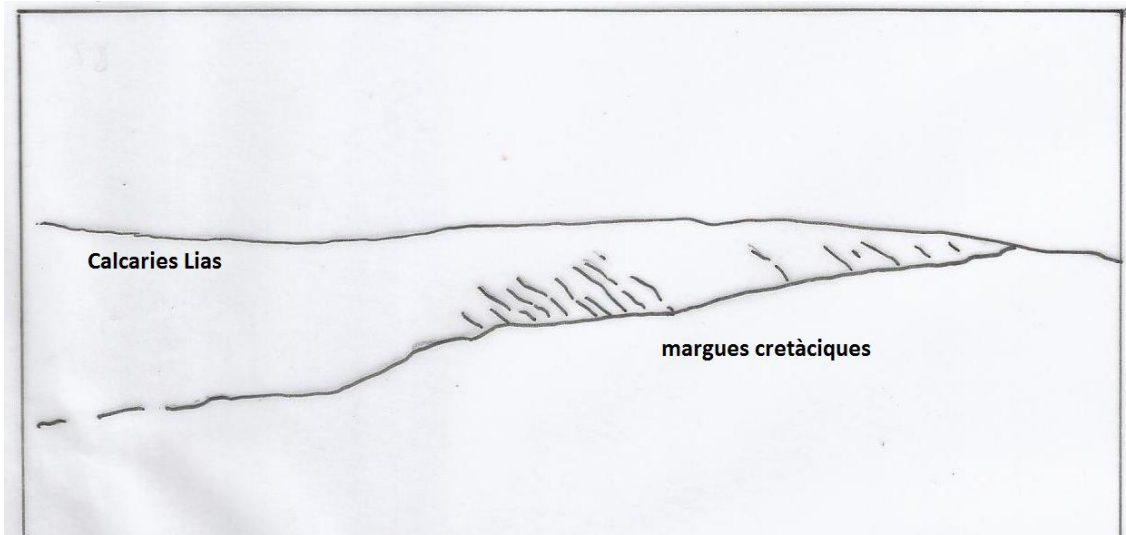
Imatge 54: Calcàries verticals del Lias sobre el Cretàcic. Contacte mecànic. Ses Murades



Esquema imatge 54: Les calcàries del Lias molt verticalitzades es dipositen sobre un Cretaci subhoritzontal. Aquest model, llevat de casos molt excepcionals, està en contradicció amb una Klippe tectònica, que és el que proposen els anteriors investigadors. Les calcàries del bloc superior haurien de ser paral·leles al contacte mecànic.



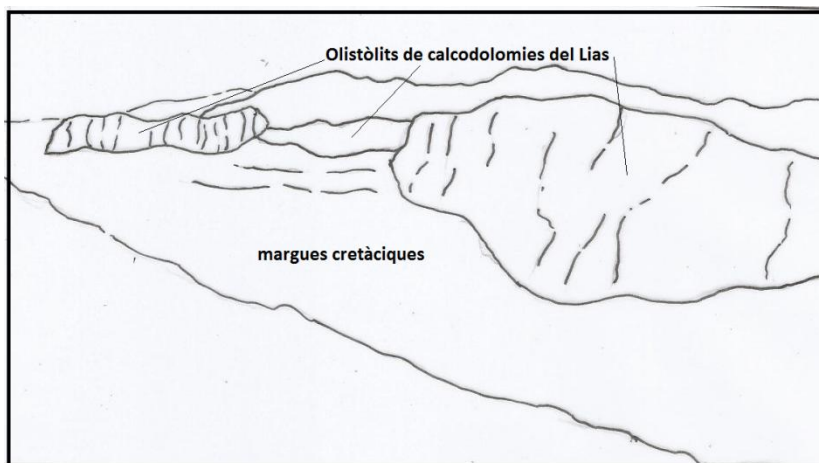
Imatge 55: Contacte mecànic discordant entre les Calcàries del Lias del Puig Pelegrí i el Cretaci de la base



Esquema imatge 55: Les calcàries del Lias seccionen el contacte additiu sobre les margues del Cretaci.



Imatge 56: Calcàries verticalitzades del Lias del Puig den Poca farina i ses Murades sobre Cretaci subhoritzontal



Esquema imatge 56: Grans olistòlits de calcodolomies verticals o subverticals sobre margues cretàiques subhoritzontals.

Retia-Hettangià sobre Cretàcic

Aquest és un dels contactes més estesos i sobre el que s'han basat gran part les hipòtesis compressives dels anteriors investigadors. Es tracta d'un suposat pla d'encavalcament subhoritzontal situat sobre els nivells neocomians molt esquistosats, sobre tot a les proximitats del pla. Podríem acceptar que es tracta veritablement d'un encavalcament però hem trobar a alguns indrets -el més significatiu seria el de Ses Penyes den Barxo, al sud del Puig de sa Vinyassa- a on l'estratificació de les dolomies talla al suposat pla d'encavalcament. Aquest fet ens obliga a plantejar-nos si en realitat es tracta d'un encavalcament o d'estructures extensives subhoritzontals relacionades amb un mantell de lliscament.



Imatge 57: Dolomies sobre fàcies maiòlica cretàiques. Ctra. Ermita Km.4,8



Imatge 58: Dolomies massives sobre Cretaci. Oest de Can Cristo

Altres contactes mecànics

A la zona estudiada ens hi trobam amb altres tipus de contactes que són mecànics sense ser additius ni substractius.

Lies sobre Retià-Hettangià

A l'apartat d'estratigrafia diferenciàvem un Retià-Hettangià dolomític d'un Lias calcodolomític. Tot tres investigadors: Darder, Bourrouil i Sàbat, proposen una sèrie completa tiàsico-jurassica molt potent i composta per dolomies, de massives a estratificades.

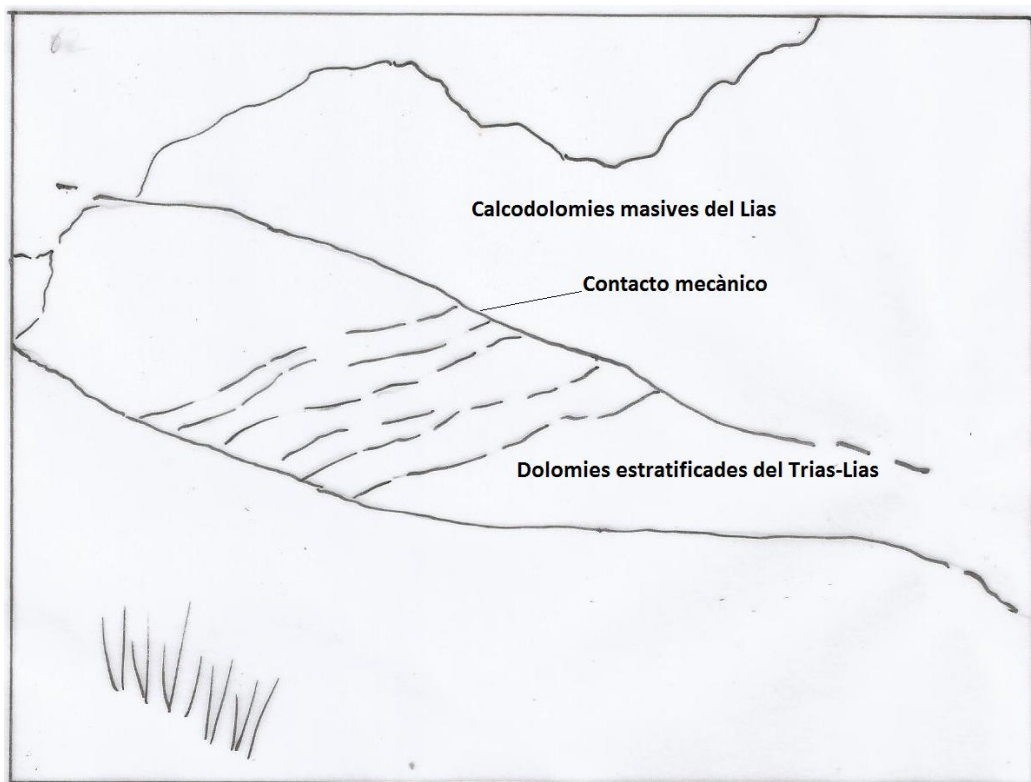
Les nostres observacions ens indiquen que, en ocasions, el contacte entre les dolomies –quan aquestes estan estratificades- i la massa del Lies talla a l'estratificació de les primeres. Això es pot observar, per exemple, a la base del puigs den Xoroi o Farrutx, o al circ del Barracar (Imatge 59). Altrament, el contacte entre les calcodolomies del Lies i les dolomies retianes-hettangianes es troba en moltes ocasions molt bretxat (imatge 60) .

Darder, B. (1925) i Sàbat, F. (1983), dibuixen una sèrie continua que formaria els espadats situats al darrere del litoral de la Colònia de Sant Pere, mentre que Bourrouill, R. (1973) adverteix el canvi i dibuixa un encavalcament de “Tries sobre Tries”.

Pensam que es tracta d'un contacte mecànic generat per un pla de lliscament subhoritzontal que desplaça un gran mantell de Lias (Imatge 34) .



Imatge 59: Lias massiu que talla a les dolomies taulejades mitjançant contacte mecànic. Circ des Barracar



Esquema imatge 59: Les calcodolomies massives liàsiques tallen mitjançant contacte mecànic a les dolomies de la sèrie inferior.



Imatge 60: Bretxes tectòniques de la base del Lias en contacte amb les dolomies del Retià-Hettangià. Torrent des Parral



Imatge 61: Calcodolomies massives del Lias sobre dolomies estratificades en contacte mecànic. Torrent des Parral

C) Mélanges

La presència indiscutible d'estructures gravitacionals cenozoiques, com són les que hem denominat Mélanges, formades per mescles caòtiques d'olistòlits triàsics, juràsics i cretàtics, amb matriu o sense matriu, és un dels millors arguments a favor de la presència d'una tectònica gravitacional. Posarem dos exemples:

Es Barracar-Coll des Vent

Aquests indrets estan emplaçats entre la urbanització de Betlem, es Caló de Ferrutx i la Talaia Moreia; El primer en una zona molt coneguda per mor dels seus ventalls al·luvials plio-quadernaris. Es tracta d'una superfície escarpada que forma un circ, obert en direcció a la costa. Tant per Bourrouilh, R. (1973) com per Sàbat, F. (1986), en aquest punt aflora en la base el Neocomià al que se'l superposen, mitjançant pla d'encavalcament, les dolomies del Retià. Es tractaria, per Sàbat, de l'autòcton relatiu i la primera escata.

Quan s'observa la zona més detingudament, es pot veure que el que aquí s'ha interpretat com a Cretaci inferior en realitat són unes margues arenoses que contenen grans còdols arrodonits de materials mesozoics. Hem intentat datar aquestes margues però els levigats ens han sortit estèrils. En tot cas, es tracta d'unes fàcies no descrites fins ara que no tenen a veure amb el Neocomià que aflora a l'àrea.

Però les margues arenoses contenen més coses a més dels còdols mesozoics; entre elles hi ha grans olistons de margocalcàries del Cretaci, de dolomies massives retianes, de calcàries del Lias, de margocalcàries del Juràssic pelàgic i de dolomies tablejades. Aquestes fàcies margoarenoses amb olistòlits inserits es poden seguir també al oest i nord de la Talaia Moreia (Collet des Vent i Cap de Ferrutx).

Aquí és més que evident que l'estructura del conjunt abans descrit no té res a veure amb els encavalcaments, en tot cas es fruit de moviments gravitacionals.



Imatge 62: Olistòlit de Juràssic pelàgic. Es Barracar



Imatge 63: Detall de l'anterior olistòlit.



Esquema Imatge 63: S'observen les margocalcàries molt plegades i slumpitzades com a conseqüència de desplaçaments gravitacionals



Imatge 64: Olistòlits juràssecs inserits en una matriu atribuïda al Miocè. Es barracar



Imatge 65: Olistons de dolomies massives immergits en una matriu suposadament miocena. Es Barracar

Es Saulonar

Es tracta d'un aflorament molt particular situat a la costa nord de la península d'Artà, entre la cala de la Font Celada i la Torre de Matzoc. A algunes topografies apareix com a es Sementer.

Presenta característiques diferents al cas anterior. És una *mélange* sense matriu de blocs de mètrics a decamètrics formada per dos tipus de litologies: bretxes dolomítiques que presenten un acusat color vermell i margues clares cretàtiques amb abundant esquistositat.

Al igual que el cas anterior, interpretam que es tracta de fenòmens gravitacionals de edat probablement miocena.

Alguns contactes entre les diferents litologies del *mélange* ens podrien indicar que provenen d'una fase tectònica compressiva anterior (paleògena?). Per confirmar-ho caldria encetar un estudi de microestructures. Tornarem a parlar posteriorment d'aquesta suposada fase tectònica.



Imatge 66: Contacte entre el mélange (part superior) i el Cretaci (part inferior) en fàcies Cala Torta. Torre des Matzocs.



Imatge 67: Detall Mélange. Cretaci amb molta esquistositat i dolomies rotges



Imatge 68: Aspecte general caòtic de les fàcies de mélange.



Imatge 69: Estructures gravitacionals al interior del Mélange des Saulonar. Olistons de cretaci.

4.- Altres estructures cartografiades: Esllavissades superficials rotatòries

En la costa de ponent de la península d'Artà, entre es Barracar i es Caló, trobam una zona a on la seqüència liàsica presenta una potencia quasi el doble de la normal. Per a interpretar aquesta anomalia hem deduït que es donen fenòmens d'esllavissades superficial aprofitant els nivells margosos suposadament miocens de la base. Al mapa geològic queden reflectides aquestes estructures molt probablement postorogèniques.



Imatge 70: Falles rotacionals. Base Puig de sa Tudossa.

8.- MAPA GEOLÒGIC-ESTRUCTURAL

El mapa geològic que acompanya a aquest TFM no és en realitat un mapa geològic al ús, ja que hauria d'estar acompanyat d'un treball previ estratigràfic i paleontològic: és un mapa que pretén destacar els trets estructurals més importants de la zona escollida.

Ja hem parlat de les dificultats de realitzar un mapa geològic a una zona on predomina una tectònica gravitacional. Si, com hem suposat, els relleus del sector occidental de la península d'Artà són el resultat de l'apilament (megabretxa) d'estructures gravitacionals que succeí al Miocè mitjà, tots els materials preorogènics (que representen quasi el 90% de la superfície) haurien de presentar la mateixa trama corresponent al Miocè. Seria un mapa únicament amb dos colors.

Però una tal cartografia no tendria el significat que solen tenir aquests tipus de representacions geològiques; al cap i a la fi, un mapa geològic és un mapa d'edats, però també de processos. Aleshores s'ha optat per fer un mapa que conjugui les fàcies amb les estructures gravitacionals que les suporten, d'aquesta manera s'han diferenciat 9 grups de fàcies (Figura 2), tres tipus d'estructures gravitacionals i una de sedimentària. De les combinacions possibles ens hi trobat a la realitat:

LITOFACIES DIFERENCIADES	AMB CONTACTES SEDIMENTÀRIS	AMB CONTACTES GRAVITACIONALS		Mélanges
		Mantells de lliscament	Olistòlits*	
Dolomies, bretxes dolomítiques massives i dolomies estratificades	-	1	2	-
Calcàries i dolomies massives en la base i estratificades a sostre	-	3	4	-
Margues i margocalcàries hemipelàgiques	-	5	6	-
Margues pelàgiques. Fàcies Maiòlica	7	8	-	-
Margocalcàries pelàgiques. Fàcies Cala Torta	-	9	-	-
Calcarenites i conglomerats paleògens	10	-	-	-
Bretxes, conglomerats, margues arenoses i calcarenites	-	11	-	-
Mélange gravitacional miocena	-	-	-	12
Postorogènic	13	-	-	-

Figura 4* Els olistòlits únicament es representen si són cartografiables.

9.- ESQUEMA TECTOSEDIMENTARI PROPOSAT

Ja hem apuntat al capítol 7 que aquest TFM no és més que una primera aproximació a una temàtica complexa que requereix d'estudis molt més acurats que els realitzats fins ara, i que està previst formin part d'una posterior Tesi Doctoral. Així i tot, i acceptant la provisionalitat de l'esquema estructural que adjuntam, no ens podem estar de fer una proposta d'evolució tectosedimentaria de la zona d'estudi.

És comunament acceptat que l'illa de Mallorca forma part de la prolongació de les Serralades Bètiques cap al NE, concretament de les anomenades Zones Externes. A gran trets, la sedimentació s'inicia a les acaballes del Pèrmic quan la zona és relativament estable, des del Triàsic inferior fins al Lias, dipositant-se seqüències tant continentals (fàcies Buntsandstein i Keuper) com marines de plataforma soma (Facies Muschelkalk i Lias). A la nostra àrea d'estudi els materials més antics pertanyen al Keuper.

A partir del Lias superior (Toarcià) s'individualitza una conca que guanya en profunditat fins al Cretaci mitjà (Neocomià). Estaria formada per zones més elevades (horts) i zones deprimides (grabens). De les primeres, o de la mateixa plataforma, es desprenen al sector septentrional massissos rocosos de materials triàsics i juràssics que es dipositen en forma d'olistòlits immergits entre o sobre les margues del Dogger, Malm i Neocomià, formant sèries fragmentades i disperses. De forma molt preliminar, les estries ens podrien indicar que els olistòlits provenen del NNE, però s'ha de verificar amb moltes més estacions de mesura.

Al sector meridional, per contra, predominen els olistòlits del Liàsic o del mateix pelàgic, en aquest cas oolític o de plataforma, immergits dintre de la matriu de Juràssic hemipelàgic.



Imatge 71: Olistòlit de calcàries de plataforma entre sediments pelàgics. Ribell de na Coc



Imatge 72: Olistons al Juràssic pelàgic. Ribell de na Coc



Imatge 73: Olistons de Lias immergits en Cretaci de fàcies maiòlica. Campament dels Soldats

La presència de olistòlits al domini de les Serres de Llevant inserits al Juràssic pelàgic ha estat descrita per nombrosos autors: Sàbat, F. i Santanach, P. (1984); Barnolas, A. (1984); Alvaro, M. et al. (1989), etc. Per a tots ells, els olistons estarien formats per seqüències oolítiques de plataforma que durant el Dogger lleneguen per la plataforma fins a dipositar-se a la conca. En aquest cas, l'olistòlit tendria la mateixa edat que la matriu que l'envolta.

Amb aquest treball hem ampliat aquesta fase gravitacional lligada a l'obertura de conques: des del Dogger mitjà fins al Neocomià. La presència d'olistòlits al Cretaci inferior únicament havia estat descrita per Pomar, L. (1978) a la Serra de Tramuntana.

Hi ha nombrosos exemples que ens indiquen que es tracta d'un fenomen sinsedimentari, ja que tant en el Juràssic com en el Cretaci hi trobam olistòlits de formes lenticulars envoltats de sediments pelàgics (Imatge 73).

Les sèries paleògenes estan mal representades a la zona. A la península d'Artà el registre s'inicia a l'Eocè superior; Consisteix en una franja allargada formada per calcarenites i conglomerats (Fm. Calcarenitas de Alaró). A les Serres de Llevant per Sàbat, F. (1986); Ramos-Guerrero, E. (1988); Ramos-Guerrero et al. (1989), hi ha un hiat des de la base del Cretaci superior (Cenomanià) fins a l'Eocè inferior (Ypresià). La no presència de Cretaci superior s'atribueix a una fase erosiva, ja que al Paleogen trobam còdols de nivells superiors del Cretaci: Bourrouilh, R. (1973), mentre que del Paleocè i Eocè inferior a una manca de sedimentació.

A les serres de Llevant i centre de Mallorca, el Paleogen apareix en afloraments aïllats amb fàcies de sediments continentals o de plataforma marina soma. Alguns autors: Pomar, L. (1979), han suggerit que durant el Paleogen inferior hi va haver una emersió general de l'àrea relacionada amb una fase tectònica compressiva que afectà al Mediterrani occidental (Alps, Pirineus, Bètiques, ...). A més, la presència a Mallorca d'un important registre sedimentari durant el Paleogen superior caracteritzat per seqüències detrítiques continentals (Fm. Detrítica de Cala Blanca), és un argument més per recolzar aquesta suposició.

Colom, G. (1975), proposa l'existència d'una transgressió que en direcció NW avança de l'Eocè mitjà fins a l'Oligocè mitjà. Ramos-Guerrero, E. (1988) realitza un acurat estudi de les característiques estratigràfiques i sedimentològiques del Paleogen de les Balears, però casi res diu de les estructures tectòniques associades a aquests sediments.

No tenim suficients elements per sumar-nos incondicionalment a les hipòtesis que propugnen una fase compressiva al inici del Paleogen, però per explicar els fenòmens gravitacionals que suposam es succeïren durant el Neogen, necessitam de la presència d'uns relleus relativament pròxims generats abans, probablement al Paleogen. Aquests relleus actualment no afluïren a l'illa, però pensam que podrien ser els mateixos que apareixen al nord de l'illa de Menorca. L'alternança de una base més rígida, formada per calcàries i dolomies, amb una altra més tova, formada per margues pelàgiques, afavoriria la formació d'estructures gravitacionals.

Les relacions estructurals entre Menorca i Mallorca i l'acabament bruscat de les Bètiques entre les dues illes ha estat un tema àmpliament debatut, encara que no del tot resolt. Bourrouilh, R. (1973) i altres estudiosos d'aquesta illa, proposen que els encavalcaments menorquins, tot i la manca de registre sedimentari, probablement tingueren lloc entre l'Albià basal i l'Oligo-Miocè inferior. Menorca podria aleshores formar part de l'àrea emergida de on provendrien els lliscaments miocens de l'illa de Mallorca.

Al trànsit Oligocè-Miocè es diposita al sector meridional de la zona estudiada una altra seqüència detrítica: es tracta de la Fm. Calcarenitas de Sant Elm. Ja hem comentat que la trobam emplaçada mitjançant contacte mecànic sobre el Cretaci o sobre el Malm.

Els sediments més moderns implicats amb les zones estructurades trobats a la nostra zona d'estudi són les margues carbonatades, calcarenites i conglomerats que es situen en la Fm. Calcarenitas de Sant Elm del trànsit Oligo-Miocè, mentre que els sediments més antics no implicats amb les zones tectonitzades pertanyen ja al Pliocè. Al igual que la gran majoria d'autors, pensam que el paroxisme que provocà la formació de totes les serralades mallorquines té lloc durant el Burdigalià-Languià, i la nostra zona d'estudi no n'és una excepció.

Al Miocè mitjà (Burdigalià) s'inicia una fase distensiva clau per entendre l'evolució tectosedimentaria de l'illa de Mallorca. Aquesta fase ha estat ben estudiada a la Serra de Tramuntana, però és poc coneguda a les Serres de Llevant, a on els afloraments són molt més dispersos. A Tramuntana s'han descrit olistòlits lligats a la part més alta de les seqüències turbidítiques d'edat Burdigalià-Languià (Mataillet, R. i Pechoux, J. (1978); Rodríguez-Perea, A. i Pomar, L. (1983)), però també al Llevant (Bourrouilh, R. (1973)). Rodríguez-Perea i Pomar ho relacionen amb una fase diatròfica que provoca a la serra de Tramuntana importants esllavissades gravitacionals.

La nostra hipòtesi (insistim en que està pendent de confirmar amb estudis més detallats), pressuposa que durant el Burdigalià-Languià la zona d'estudi es troba situada al marge d'una conca turbidítica que tendria el seu epicentre més al sud. La zona emergida estaria situada al nord, nord-est o est coincidint amb la situació de Menorca. La mateixa distensió que crea la conca provoca que des dels marges rellisquin paquets importants de sediments formant autèntics mantells de lliscament. Els mantells estarien constituïts per un ventall de litofàcies que anirien del Retià fins al Catià-Aquitanià. El sentit dels desplaçaments podria ser al NW.

Els nivells plàstics serien: el Keuper que aflora en la base de les dolomies i el Cretaci, que generalment es troba molt esquistosat, però també poden ser les margues de la base del Dogger. Únicament pel cas dels mantells de Lias sobre Retià-Hettangià és més difícil trobar-hi un nivell poc competent.

Les unitats formades per margues i margocalcàries pelàgiques juràsiques i cretàiques que contenen olistòlits sinsedimentaris inserits, també es desplacen posteriorment com a mantells.

Però a més dels mantells de lliscament, hi ha altres estructures gravitacionals intercalades: entre elles les que hem denominat Mélanges, que consisteixen en mescles caòtiques de sediments de varis tipus amb o sense matriu. Aquestes mélanges s'intercalarien entre els mantells abans descrits.

És important ressaltar l'al·lòctona de gran part del conjunt. Desconeixem quin nivell podria actuar com a substrat inferior de l'apilament d'unitats gravitacionals, que són l'origen del conjunt muntanyenc. Podria ser el Paleozoic rígid i ja plegat que aflora a l'illa de Menorca, o ser més superficial i estar format per les mateixes turbidites miocenes que afloren a uns 12 Km més al sud.

Finalment, en època més recent, trobam a la zona costanera blocs esllavissats mitjançant falles rotacionals.

Pensam que l'estudi dels el·lipsoïdes de deformació dels olistòlits, pendent de realitzar, ens podria donar algunes pistes sobre la possible tectònica compresiva-distensiva paleògena i/o miocena.

A la **Figura 7** es presenta un esquema de l'evolució tectosedimentària de la zona.

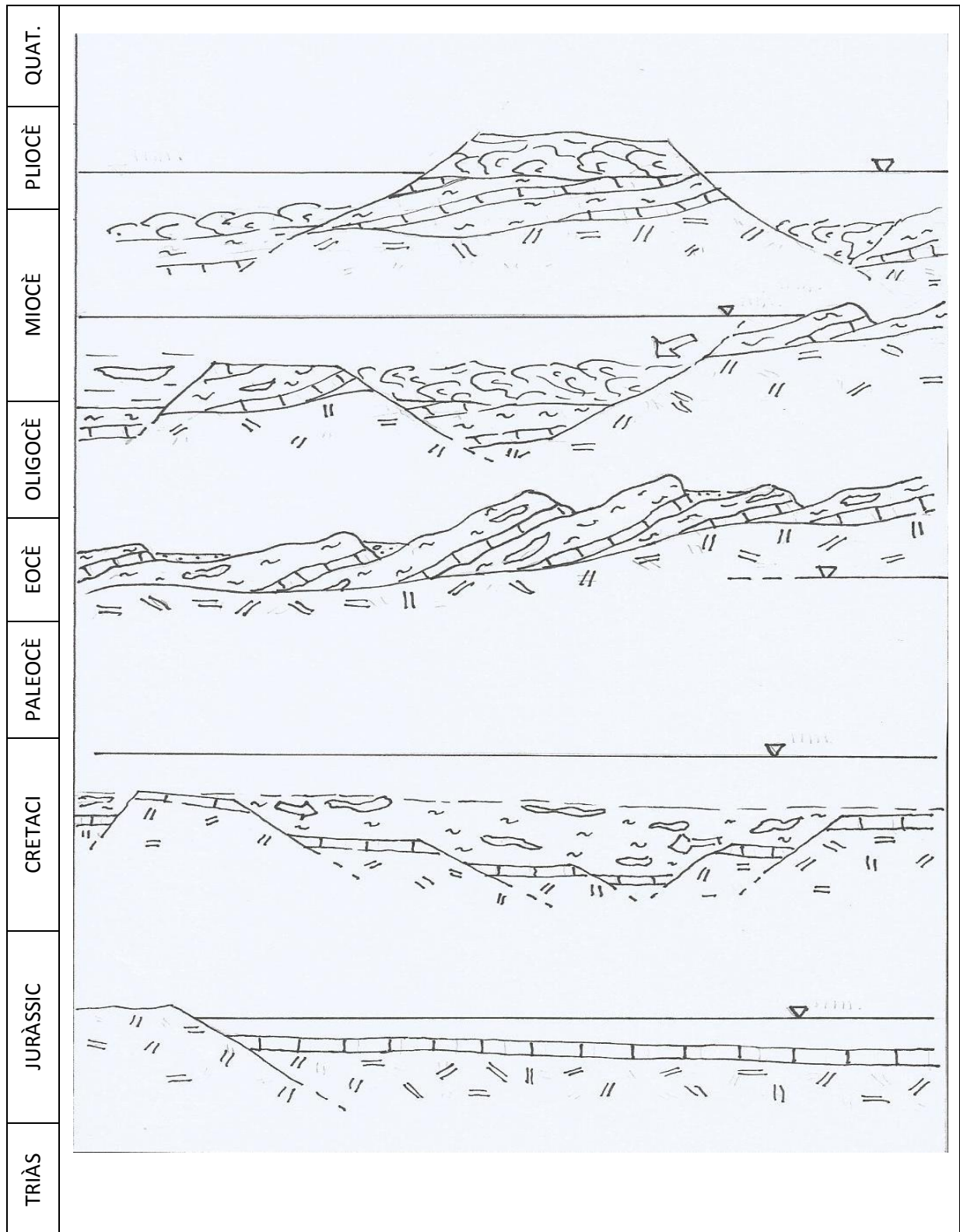


Figura 7: Esquema de l'evolució tectosedimentaria de la península d'Artà. La dreta de la gràfica representa l'est i l'esquerra l'oest.

10. CONCLUSIONS

Des de l'any 1922 en que Paul Fallot llegeix la seva tesi doctoral sobre la Serra de Tramuntana de Mallorca, hi ha un acord quasi unànim sobre el model estructural i cinemàtic que generà aquests relleus i, per extensió, els de la resta de l'illa. El model de Fallot és un model típicament compressiu amb una única fase que modela unitats encavalcants vergents al NW durant el Miocè mitjà. Per explicar algunes estructures complexes, posteriorment s'afegí una fase extensiva paleògena: Gelabert, B. (1997).

Durant la dècada dels vuitanta del segle passat, però, hi va haver algunes crítiques a aquest model per part de Luis Pomar i dels geòlegs francesos Regis Mataillet i Jacques Pechoux. El primer postulava una revisió en base a les seves observacions de fenòmens típicament extensionals a la Serra de Tramuntana i de les dades aportades per la geologia marina. Els segons proposaven per l'extrem meridional de la Serra un model exclusivament distensiu, fruit del desmantellament gravitacional d'un orogen bètic que ells situaven al SE, de forma que els suposats encavalcaments de Fallot no eren més que olistostromes desplaçats per gravetat durant el Miocè mitjà. Els treballs d'aquests autors no tingueren continuïtat, i els posteriors estudis de caràcter estructural, impulsats per la Universitat de Barcelona o per l'Instituto Geológico y Minero de España (Plan MAGNA), es realitzen partint de l'esquema inicial d'en Fallot.

L'autor d'aquest Treball de Fi de Màster va treballar en temes de recursos geològics a empreses mineres durant dècades. La mineria exigeix un treball molt més de detall que els grans esquemes estructurals, i aleshores va ser quan es va començar a qüestionar alguns dels aspectes del model compressiu.

Anys més tard, i fruit d'aquest qüestionament, neix aquest TFM, que espera pugui tenir continuïtat en forma de Tesi Doctoral. La seva modesta intenció és reiniciar la polèmica sobre si el model que hem aplicat fins ara és vàlid, i per això s'ha escollit com àrea d'inici d'estudi el sector més occidental de la Península d'Artà.

A l'àrea d'estudi s'ha realitzat un treball de camp centrat en aquelles zones que ens han semblat més significatives: com són aquelles en les que ens trobam amb una superposició de litofàcies o amb les de contacte entre elles.

Un pic finalitzat el treball de camp, s'ha pogut comprovar, en contra del que es pensava inicialment, que l'àrea d'estudi no era probablement la més adient, a causa de la poca presència d'afloraments cenozoics, de gran ajuda per interpretar l'evolució estructural. Tot i això, s'han trobat alguns sòlids arguments com per, com a mínim, qüestionar-nos el model cinemàtic imperant.

La península d'Artà és un promontori muntanyenc format per un apilament d'estructures gravitacionals que s'estén al nord-est de l'illa de Mallorca. Presenta dos sectors: l'oriental amb relleus més baixos i una major ocupació urbana i l'occidental, molt més muntanyenc. En aquest darrer sector cal diferenciar la zona de costa baixa, situada al oest, del nucli de les serres, que és a on s'ha centrat el nostre estudi i que es a on es situa precisament el Parc Natural de Llevant.

Des del punt de vista estructural, podem definir la zona com un apilament caòtic de mantells de lliscament entre els que s'intercalen megalobretxes -amb o sense matriu- d'olistòlits d'elements triàsics, juràsics i cretàtics. Tres havien estat d'entrada els eixos a investigar per donar suport a la nostra hipòtesi: l'establiment d'una columna lito i cronoestratigràfica bàsica, l'estudi dels contactes i la mesura de microestructures: estries de falla i clivatge. Els dos primers s'han executat, mentre que el tercer queda pendent.

Pel reconeixement de les unitats litoestratigràfiques i la seva posició cronològica ens hem basat en els treballs anteriors als que hem afegit algunes aportacions personals. Un dels temes que presenten més dubtes i que distorsionen el treball de camp és el de la dolomitització dels nivells del Triàsic superior i Juràssic inferior. Aquí hem separat dos unitats que hem denominat Fms. Felanitx/Mal Pas i Fm. Sóller, les dues primeres són dolomítiques i la segona calcodolomítica. No acceptam la tesis d'en Bourrouyilh que suposa que la dolomitització arriba en ocasions fins al Cretaci inferior.

També hem separat dos tipus litològics de Neocomià que presenten tant litologies com fàbriques diferents: Les fàcies Maiòlica i les que hem denominat "Fàcies Cala Torta". El significat d'aquests dos grups de fàcies que presenten la mateixa edat, és un dels temes que han quedat pendents.



Imatge 74: Vista general des dels relleus del circ des Barracar. Al fons la badia d'Alcúdia i el Cap Pinar.

Tant al Juràssic pelàgic com al Neocomià en fàcies Maiòlica, hem pogut comprovar que són freqüents els olistòlits que corresponen a fàcies litorals, ja siguin tiàsiques o juràsiques. El fenomen és concordant amb l'obertura i aprofundiment de la conca que s'inicia al final del Lias. La presència d'olistons al Juràssic estava àmpliament documentada, però els olistons adherits al Cretaci, principalment els de major mida, s'havien interpretat abans de forma errònia com a klippes tectònics.

Les unitats litològiques ens han servit per estudiar els contactes entre elles, un dels temes claus per suportar la nostra argumentació. A la zona són molt freqüents els contactes mecànics, tant substractius com additius, ordenats en seqüències caòtiques. Els contactes substractius corresponen a falles extensionals, mentre que els additius deurien correspondre a falles inverses. En aquest segon cas, alguns d'ells està clar que són contactes mecànics de la base dels olistòlits, la resta, sobre tot aquells que presenten una gran extensió, són els que s'han interpretat fins ara com a encavalcaments.



Respecte a aquests darreres contactes additius, hem de significar que en ocasions el suposat pla d'encavalcament talla a l'estratificació del bloc superior quan, de forma habitual, pla i estratificació haurien de ser paral·leles. Aleshores interpretam que en realitat es tracta de fractures subhoritzontals que desplacen mantells de lliscament.

Però hi ha altres contactes que haurien de ser concordants o, en tot cas, erosius, que en realitat són contactes mecànics més o manco horitzontals, i que ens parlen també del desplaçament gravitacional d'unes unitats sobre les altres.

Altres estructures cartografiades també tenen un marcat caràcter gravitacionals. Tal és el cas del que hem denominat Mélanges, formats per un amuntegament caòtic d'olistons de dolomies, calcaries i margues mesozoiques en una matriu margosa o simplement sense matriu.

Hem diferenciat dos episodis gravitacionals. El primer situat entre el Dogger mitjà i el Neocomià superior que, com hem comentat, genera fronts d'olistòlits provinents d'una plataforma pròxima. El segon episodi, que genera mantells de lliscament i mélanges, l'hem emplaçat al Burdigalià-Languià per criteris de geologia regional. La Fm. Calcareitas de Sant Elm, de edat Catià superior, és la formació més moderna que intervé en el procés, aleshores el més raonable és que el segons fenomen gravitacional estigui relacionat amb la fase posterior distensiva burdigaliana.

Entre els dos episodis gravitacionals hem de situar una fase compressiva paleògena no aflorant i poc coneguda, de la que provindrien els mantells de lliscament miocens. Aquí suggerim que podria estar relacionada amb la part nord de l'illa de Menorca. Contràriament al que es proposa fins ara, la compressió seria, al igual que en Menorca o els Pirineus, paleògena i no miocena. Aquesta línia ens podria conduir a la solució del problema de la relació estructural entre les illes de Mallorca i Menorca.

Tot i que de manera provisional, hem proposat la següent evolució tectosedimentaria:

En un primer cicle es dipositen sediments continentals o de plataforma soma durant el Triàsic superior i Juràssic inferior. Amb l'obertura d'una conca profunda s'inicia un nou cicle caracteritzat per la presència de margues i margocalcàries pelàgiques durant tot el període que va del Dogger al Neocomià. La inestabilitat de la zona provoca el desplaçament gravitacional de massissos rocosos des de la plataforma i zones elevades fins al centre de conca en forma d'olistòlits.

Al igual que en altres zones del Mediterrani occidental, durant el Paleogen inferior s'haurien generat uns relleus avui en dia probablement submergits. Sobre aquests nous relleus es dipositen l'Eocè, l'Oligocè i el Miocè inferior amb fàcies litorals, lacustres i fluvials que avui trobam disperses a les Serres de Llevant i centre de l'illa en forma d'unitats al·lòctones immergides entre turbidites burdigalianes.

Durant el Burdigalià superior o el Languià a l'àrea d'estudi ens trobam amb un apilament d'unitats gravitacionals, moltes d'elles al·lòctones, que formen l'estructura bàsica dels actuals relleus. Sembla que el sentit de desplaçament és cap al NW.

Probablement en època recent, esllavissaments rotacionals a la costa oest han configurat els actuals penya-segats, i per finalitzar els ventalls al·luvials o els nivells de platja es dipositen discordants sobre la costa.

Volíem fer notar que en el nostre esquema evolutiu no hi figuren ni els encavalcament ni les altres estructures compressives neògenes. També hem eliminat les grans falles i plects que cartografiaven els anteriors autors.

Tota la península d'Artà presenta uns valors geopatrimoniais importants, però si hi ha un lloc a on recomanem una màxima protecció és concretament al indret anomenat "es Saulonar" situat a la zona costera, entre l'Atalaia d'Albarca i la cala de la Font Celada. És un dels millors indrets a on poder observar com actua la tectònica de gravetat i també les dolomies roges, úniques en Mallorca. Es tracta d'un aflorament que ocupa una superfície reduïda i pel que circula molta de gent. Requeriria d'una regulació d'usos per evitar l'erosió.



11.- CONSIDERACIONS FINALS

Som conscient de que dins de la nostra reduïda comunitat científica intentar acabar amb un paradigma que ha durat quasi cent anys pot resultar, per a un modest investigador com jo, com a mínim pretensions i arriscat. La idea d'una tectònica gravitacional no parteix d'aquest TFM: alguns investigadors ja me varen precedir. Jo la venc madurant als darrers anys i cada vegada son més els jaciments que vaig trobant per Mallorca o Cabrera que me fan qüestionar el model d'imbricacions d'en Fallot.

Quan coment el tema amb els meus col·legues generalment me miren amb cara d'incrèdilitat: Cóm és possible que dubtis de la tectònica de mantells o escates? A la Serra de Tramuntana està molt clara!!... Tenc contestes per algunes poques de les qüestions que se me formulen però certament no per a totes. Son massa els interrogants que encara no he pogut i esper poder resoldre. De on provenen els olistòlits? I els mantells? Quan es varen realment dipositar? Hi pot haver una compressió paleògena? A on podia situar-se l'avantpaís? Els fenòmens gravitacionals es poden fer extensius a tota Mallorca? Cóm explicaria les estructures de la península de Formentor mitjançant un esquema extensiu? Cóm es que hi ha sèries de bretxes dolomítiques de 300 m de potencia sense un ximple pla d'estratificació? Cóm és que el Cretaci està tan intensament esquistosat? Pot estar afectat per un metamorfisme de baixa temperatura i alta pressió?...

A l'any 1979 Pomar escrivia en una de les seves publicacions en la que es qüestionaven les tesis d'en Fallot: *"La hipótesis que se propone en este trabajo no se presenta como definitiva; pretende aportar unas ideas distintas de las consideradas hasta la fecha, sobre la evolución tectosedimentaria de las Baleares, en el marco de la historia evolutiva del Mediterráneo occidental. Las polémicas que este trabajo pueda levantar al respecto, servirán sin duda para lograr una mayor aproximación al conocimiento de un modelo integrado para las Baleares, y si ello se consigue, este trabajo habrá logrado uno de sus objetivos"*.

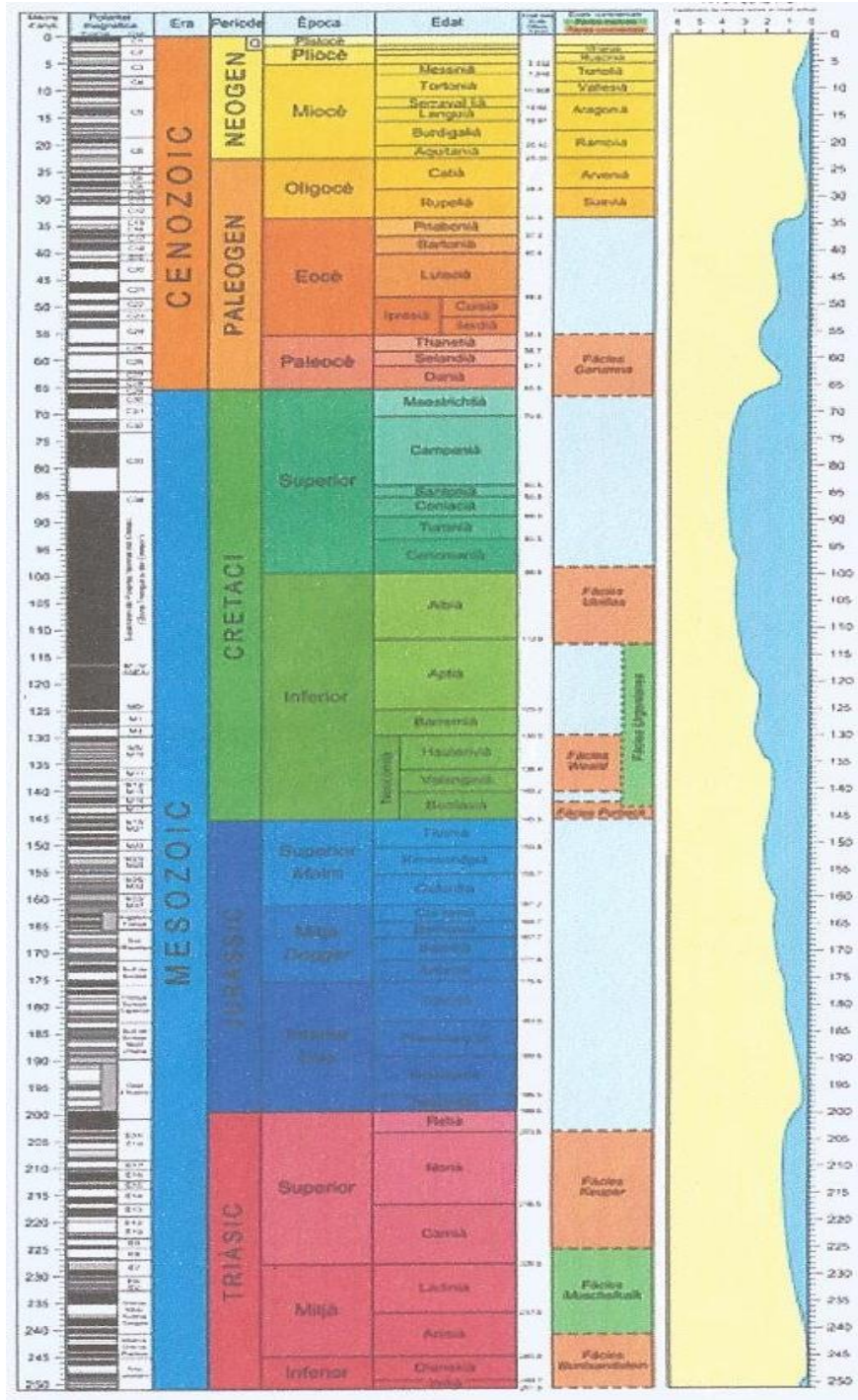
Amb tota la modèstia que cal, aquest Treball ha intentat donar una explicació als fenòmens observats que sigui a la vegada coherent i simple. Després de 34 anys crec necessari reprendre les recomanacions de Pomar i tornar a qüestionar, total o parcialment, el model estructural compressiu que actualment es proposa de forma quasi generalitzada per a les Illes Balears. Conèixer realment el model estructural no té unes aplicacions purament acadèmiques. És bàsic per a gestionar els recursos geològics de la Comunitat, com per exemple els aqüífers, les pedreres o els recursos energètics.

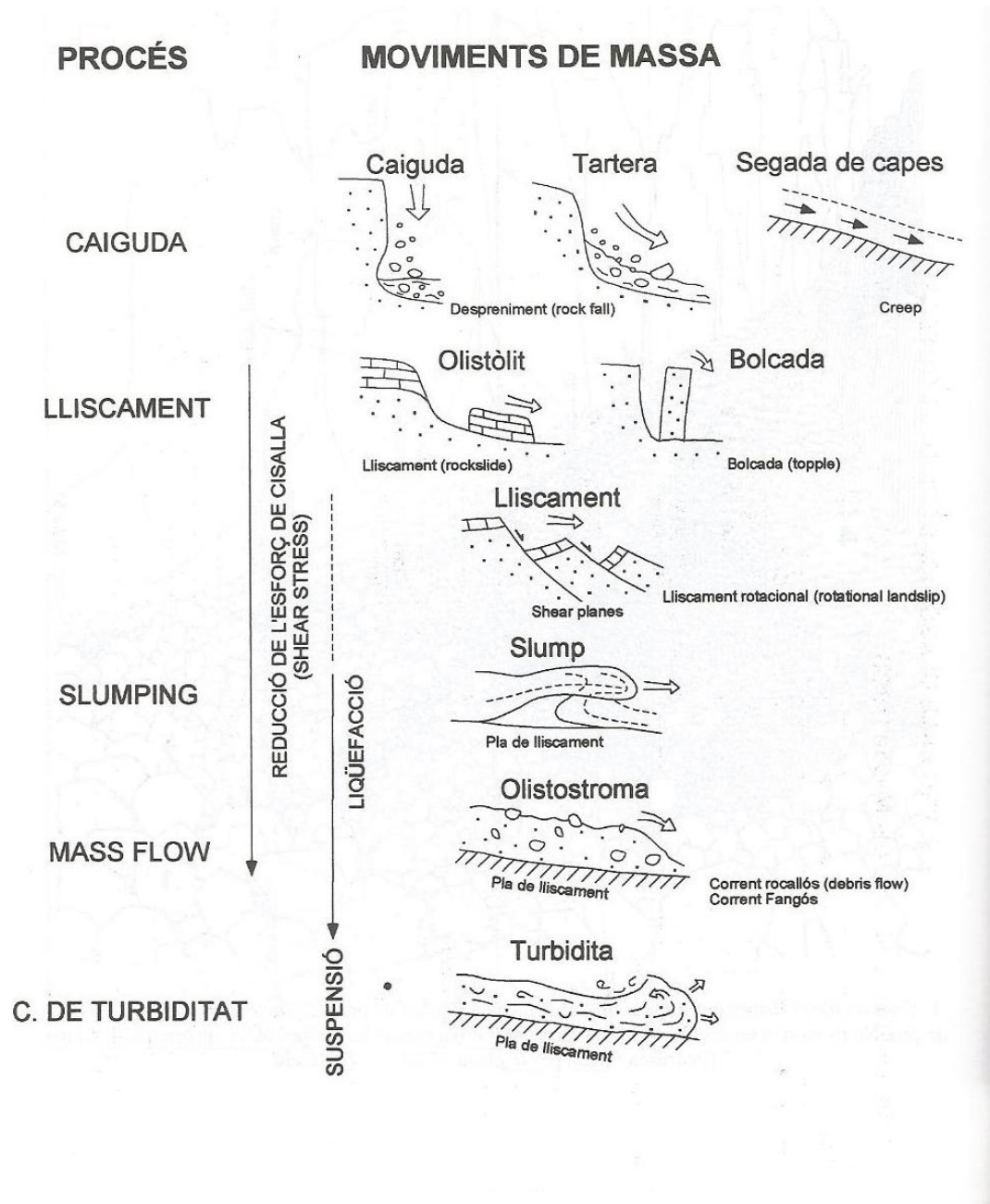
La revisió d'aquest model estructural és una tasca immensa que requereix de personal, temps i dedicació, però és una tasca segur que encoratjadora per a les noves generacions. Ara únicament restaria que la comunitat científica i les administracions s'impliquin.

Felanitx, Juliol de 2015.

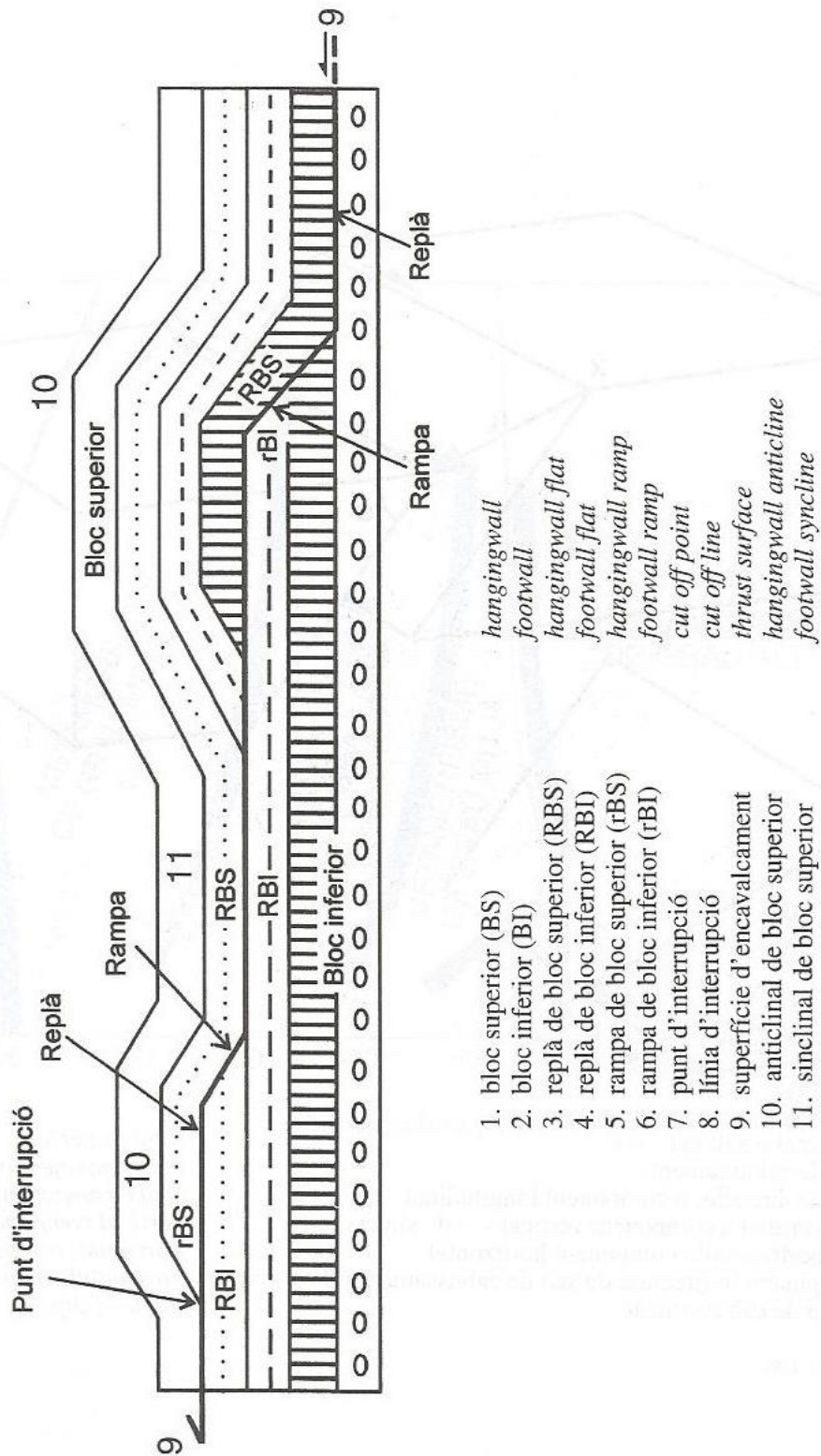
ANNEXS

Taula dels temps geològics





Alguns dels processos gravitacionals més comuns. Diccionari Geologia Enciclopèdia Catalana.



Elements d'un Encavalcament. Diccionari de Geologia. Enciclopèdia Catalana.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARO, M. i DEL OLMO, P. (1984): *Las unidades tectónicas de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares)*. I Cong. Geol. España, Segovia 1984. Comunicació 3.
- ALVARO, M., BARNOLAS, A., DEL OLMO, P. i SIMO, A. (1983): *Depósitos de talud carbonático en el Dogger de la Sierra de Artà, Mallorca*. In: A. OBRADOR (Ed): X Congr. Nac. Sedim., Menorca 1893.
- ALVARO, M., BARNOLAS, A., CABRA, P., COMAS-RENGIFO, M.J., FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S.R., GOY, A., DEL OLMO, P., RAMIREZ DEL POZO, J., SIMO, A. i URETA, S. (1989): *El Jurásico de Mallorca (Islas Baleares)*. Cuadernos de Geología Ibérica, 13.
- ANGLADA, E. (1985): *Estudi geològic del Massís de Randa (Mallorca)*. Tesis de Licenciatura. Universitat de Barcelona.
- BATLLE, A. (1979): *Presència d'Olistòlits a la sedimentació burdigaliana de la Serra Nord de Mallorca*. Acta Geològica Hispànica. Homenaje a Lluís Solé Sabaris, t. 14
- BOURROUILH, R. (1973): *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminasion nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale*. These de doctorat d'Etat. Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- CARACUEL, J.E. i OLÓRIZ, F. (1998): *Revisión estratigràfica del Jurásico superior de la Sierra Norte de Mallorca*. Rev. Soc. Geol. España, 11 (3-4).
- COLOM, G. (1973): *Esbozo de las principales lito-facies de los depósitos jurásico-cretácicos de las Baleares y su evolución pre-orogénica*. Mem. R. Acad. Cien., Madrid. Ser. Cien. Nat., T 25, Mem. Nº 2.
- COWAN, D.S. i PINI, G.A. (2001): *Disrupted and chaotic rocks in the Apennines*. In: Anatomy of an orogen. I.P. Martini i G.B. Vai, Eds.
- CHAUVE, P., MATAILLET, R., PECHOUX, J. i RANGHEARD, Y. (1976): *Phénomènes tectonosédimentaires dans la partie occidentale de la Sierra Nord de Majorque (Baleares, Espagne)*. Ann. Soc. Univ. Besançon, Geol. 26, série 3.
- CHAUVE, P., MATAILLET, R., PECHOUX, J. i RANGHEARD, Y. (1977): *Structure de l'Ouest de la Sierra Nord de Majorque*. 5ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre. Rennes.
- DARDER, B. (1913): *Los fenómenos de corrimiento en Felanitx (Mallorca)*. Tra. Mus. Nac. Cie. Nat. Serie geol. Nº 6. Madrid.
- DARDER, B. (1921): *Nota preliminar sobre la tectónica de la región de Artà (Mallorca)*. Boletín de la Soc. Esp. His. Nat. 1921.
- DURAND-DELGA, M. i RANGHEARD, Y. (2013): *Structure de l'île d'Eivissa (Ibiza) et sa place dans le cadre baléare*. Bol. Soc. His. Nat. Balears, 56.
- FALLOT, P. (1922): *Etude géologique de la Sierra de Majorque*. Thèse d'état, Libr. Polytechnique Ch. Beranger, Paris i Liège.
- FESTA, A., PINI, G.A., DILEK, Y., CODEGONE, G., VEZZANI, L., GHISSETI, F., CORRADO, C. i OGATA, K. (2010): *Peri-Adriatic Mélanges and their evolution in the Tethyan realm*. International Geology Review. Vol. 52 (4-6)
- FESTA, A., PINI, G.A., DILEK, Y. i CODEGONE, G. (2010): *Mélanges and Mélange-forming processes: a historical overview and new concepts*. International Geology Review. Vol.52 (10-12).

- FLORES, G. (1955): *Les résultats des études pour les recherches pétrolifères en Sicile: Discussion*. In: Colombo, C. (Ed.). *Proceedings of the 4th World Congress*. Roma.
- FOURCADE, E., CHAUVE, P., CHABRIER, G. (1982). *Stratigraphie et tectonique de l'île d'Ibiza, témoin du prolongement de la nappe subbétique aux Baléars (Espagne)*. *Eclogae geologicae Helveticae* 75 (2).
- GARCÍA-HERNANDEZ, M., LÓPEZ-GARRIDO, A.C., RIVAS, P., SANZ DE GALDEANO, C. i VERA J.A. (1979): *Mesozoic paleogeographic evolution of the external zones of the Betic Cordillera*. *Geologie en Munbouw*. Vol. 59.
- GELABERT, B.(1997): *La estructura geològica de la meitat occidental de l'illa de Mallorca*. Tesis. Universitat de les Illes Balears-Universitat Barcelona.
- GREENLY, E. (1919): Vol. I i II; *Memoirs of Geological Survey*. London, HM Stationari Office.
- HOEDEMAEKER, PH.J. (1973): *Olisthostromes and other delapsional deposits and their occurrence in the region of Moratalla (Prov. of Murcia, Spain)*. *Scripta Geol.* 19.
- HSÜ, K.J. (1968): *Geological Society of America Bulletin*, 79.
- INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS (1997): *Diccionari de l'Enciclopèdia Catalana. Diccionari de Geologia*.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. *PLAN MAGNA (2ª Serie)*. Escala 1:50.000. Hoja 672: Artà.
- LÓPEZ-GARCIA J.M., BARNOLAS, A. i SEVILLANO, A. (2014): *Caracterización litoestratigráfica del Jurásico medio y superior del Torrent de Sa Jonquera, sector noroccidental de la Sierra de Levante (Mallorca)*. *Sociedad Geológica de España, Geogaceta nº 55*
- MATAILLET, R. i PECHOUX, J. (1978): *Étude géologique de l'extrémité occidentale de la Sierra Nord de Majorque (Baléares, Espagne)*. Thèse. Faculté des Sciences et des Techniques de l'Université de Franche-Comté.
- MATTAUER, M. (1976): *Las deformaciones de los Materiales de la corteza terrestre*. Ediciones Omega, Colección Métodos. Barcelona.
- MORAGUES, LL. (1993): *Estudi geològic del sector meridional de les Serres de Llevant (Mallorca)*. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, XXXVI.
- NEGRO, F., AGARD, P., GOFFÉ, B. I SADDIQUI, O. (2007): *Tectonic and metamorphic evolution of the Tamsamane units, External Rif (northern Morocco): implications for the evolution of the Rif and the Betic-Rif arc*. *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 164.
- PARÉS, J.M. (1985): *Estructura geològica de l'extrem meridional de les Serres de Llevant*. Tesis de Licenciatura, Universitat de Barcelona.
- PINI, G.A. (1992): *Tectonosomes and olistostromes in the Argille Scagliose of the Northern Apennines, Italy*. *Geological Society of America Special Paper* 335.
- POMAR, L. (1977): *Tectonica de gravedad en los depositos mesozoicos, paleogenos y neogenos de Mallorca (España)*. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, XXI.
- POMAR, L. (1979): *La evolución Tectosedimentaria de las Baleares: Análisis Crítico*. *Acta Geológica Hispánica. Homenatge a Lluís Solé i Sabarís*, 14.

- POMAR, L. i COLOM, G. (1977): *Depósitos de Flujo Gravitacional en el Burdigaliense de "Es Racó d'es Gall-Auconassa" (Soller, Mallorca)*. Bull. Soc. His. Nat. de Balears, XXII
- POMAR, L. i RODRIGUEZ-PEREA, A. (1983): *El Terciario de las Baleares (Mallorca-Menorca). Guia de las excursiones del X Cong. Nac. Sedim.*, Menorca 1983. Inst. Est. Baleàrics, Universitat de les Illes Balears.
- RAMOS-GERRERO, E. (1988): *El Paleógeno de las Baleares. Estratigrafía y Sedimentología*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears-Universitat de Barcelona
- RAMOS-GUERRERO, E., RODRIGUEZ-PEREA, A., SABAT, F., i SERRA-KIEL, J. (1989): *Cenozoic tectosedimentary evolution of Mallorca island*. Geodinamica Acta, 3(1).
- RANGEARD, Y. (1971): *Étude géologique des îles d'Ibiza et de Formentera (Baléares)*. Mem. Inst. Geol. y Min. Esp., 82. Madrid.
- RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J., ROLDÁN, F.J., AZAÑÓN, J.M., I GARCÍA-CORTÉS, A. (2013): *El colapso gravitacional del frente orogénico alpino en el Dominio Subbético durante el Mioceno medio-superior: El complejo extensional subbético*. Boletín Geológico y Minero. 124(3).
- RODRIGUEZ-PEREA, A. (1984): *El Mioceno de la Sierra Nord de Mallorca. Estratigrafía, sedimentología e implicaciones estructurales*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears-Universitat de Barcelona.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. i POMAR, L. (1983): *El Mioceno de la Sierra Norte de Mallorca (Sector occidental)*. Acta Geol. Hisp. 18.
- ROLDÁN F.J., AZAÑÓN, J.M. i RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J. (2011). *Desplazamiento extensional del Subbético entre las Sierras de Cabra y Alta Coloma (Valdepeñas de Jaén. Zonas Externas de la Cordillera Bética)*.
- ROLDÁN F.J., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J. i AZAÑÓN, J.M. (2012): *La Unidad Olistostrómica, una formación clave para entender la historia neógena de las Zonas Externas de la Cordillera Bética*. Geogaceta, 52.
- SÀBAT, F. (1986): *Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- SPIKER, E.R. I HAANSTRA, U. (1935): *Geologie von Ibiza (Balearen)*. Géol. Médit. Occid. , 3(3).
- VERA, J.A. (2004): *Geología de España*. Sociedad Geológica de España. Instituto Geológico y Minero de España.