

**4. ESTRUCTURA I EVOLUCIÓ DE LA ZONA DE LES**  
**NOGUERES**



El marge meridional de l'apilament antiformal de la Zona Axial dels Pirineus centrorientals està definit per la zona de les Nogueres. Aquesta zona representa el límit frontal de l'apilament, on els encavalcaments cabussen cap a l'avantpaís, i per tant per entendre el seu significat estructural i la seva evolució en el context de la serralada, a part de definir la seva geometria interna cal analitzar la seva relació amb les unitats adjacents: els mantell de l'Orri i d'Erta, la Unitat Sudpirinenca Central i el mantell del Cadí.

Al conjunt de la zona d'estudi el tret més evident és una partició longitudinal (E-W) tant en les característiques estratigràfiques com en l'estil tectònic. Com es pot observar al mapa geològic general (làmina 1 en annex), els canvis més importants en sentit longitudinal coincideixen aproximadament amb el traçat actual dels principals rius de la zona, que permeten dividir-la en els següents sectors:

Sector occidental (Gotarta – Sta. Bàrbara): inclou les escates que afloren entre valls de la Noguera Ribagorçana i el Flamicell, que a la seva vegada s'ha dividit en dues parts. A l'oest, el sistema encavalcant de Gotarta – la Costera (massissos 2A a 2D de Séguret, 1972) reposa sobre la terminació occidental de la faixa de retroencavalcaments de St. Quiri de la làmina encavalcant d'Erta, i a l'est l'apilament de Sta. Bàrbara – Erdo (massissos 3A a 3C de Seguret; 1972) que també reposa sobre la làmina encavalcant d'Erta.

Sector Central (Freixe – Gerri): inclou les escates que afloren entre les valls del Flamicell i el Segre. La més important d'aquestes escates és la làmina encavalcant de Freixe (massís 5A de Séguret, 1972) que creua tot el sector, i reposa sobre la làmina d'Arcalís – España (massissos 4A a 4D de Séguret; 1972) a l'oest i sobre el mantell de l'Orri a l'est. La làmina encavalcant més alta d'aquest sector és la de Castells – Bretui que esta formada per làmines de menor ordre (massissos 4E a 4F i 5B de Seguret; 1972).

Sector oriental: inclou l'escata del Montsec de Tost (massís 6 de Séguret, 1972) que reposa sobre el mantell de l'Orri, i és l'única làmina de sòcol de la zona de les Nogueres que aflora a l'est de la vall del Segre.

Els talls compensats geomètricament que es presenten en aquesta tesi han estat construïts amb l'ajut dels algorismes *Line Length Unfolding* o *Flexural Slip Unfolding* del programa 2DMove. L'ús d'un o altre algorisme ha estat funció de la presència o absència de les fosses estefano-permianes, donades les dificultats en el procés de restitució que aquestes estructures comporten (veure apartat 2.2 del capítol 5). Els talls es presenten inserits en el text i agrupats en una làmina annexa (làmina 2).

Com s'explica en més detall en el capítol 5, al procés de restitució dels talls efectuat utilitzant l'algorisme de modelització cinemàtica *Fault Parallel Flow* del 2DMove l'anomeno “restitució cinemàtica”, per diferenciar-lo de la “restitució geomètrica” basada únicament en la preservació de longituds i àrees. Quan hagi estat necessària la utilització d'algorismes de modelització diferents he indicat en el text els motius que ho requerien (veure apartat 3 del capítol 5).

Un important aspecte que cal assenyalar a propòsit de les restitucions és que, degut a l'alt grau de superposició de les làmines encavalcants en relació a les dimensions de la zona estudiada, succeeix que les *pin-lines* inverteixen la seva latitud relativa entre l'estadi deformat i indeformat. Això m'impossibilita parlar d'escurçament a partir dels meus talls geològics. L'únic que puc calcular és la traslació de la *pin-line* caudal

respecte a la seva posició inicial (prenent la *pin-line* frontal com a sistema de referència fix). Procedir a la restitució és útil en qualsevol cas, ja que informa sobre la geometria preorogènica, ajuda a detectar incongruències als talls, i, malgrat la limitació que he comentat, els valors de translació donen almenys una idea dels desplaçaments tectònics en la zona d'estudi.

La Zona Axial *s.s.* (al nord de la zona d'estudi) està formada per roques paleozoiques amb una estructura interna definida per la superposició de les deformacions herciniana i alpina. Per tal de seguir les discussions que es plantejen en aquest capítol sobre l'arrelament de la zona de les Nogueres i l'encavalcament d'Erta, la figura 4.1 mostra de forma esquemàtica la traça de les principals estructures de la vora sud de la Zona Axial, i se n'indiquen els noms que més endavant se citaran en el text (per a una descripció amplia de l'estructura d'aquesta zona veure Poblet, 1991).

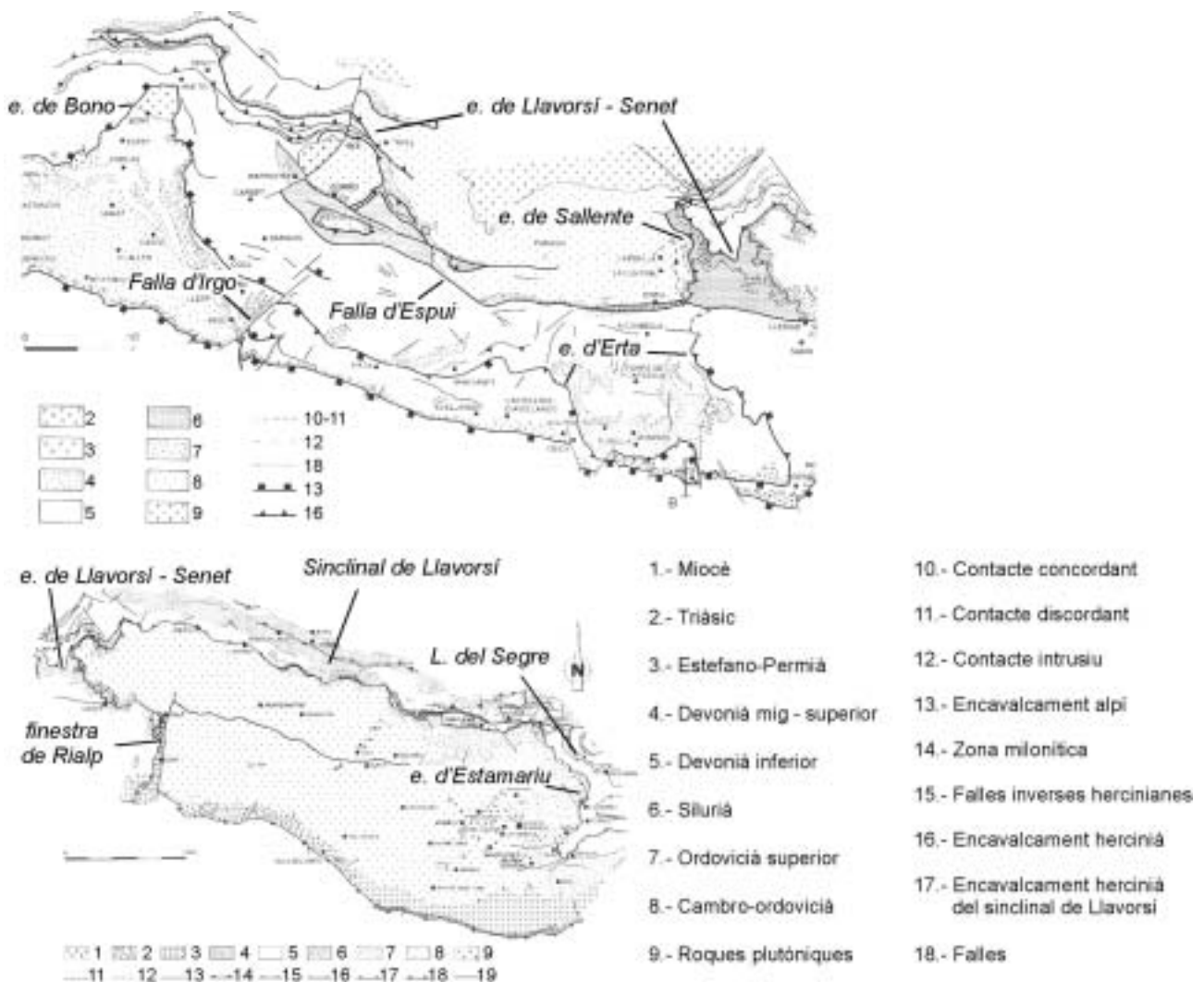


Fig. 4.1.- Mapes geològics sintètics de l'estructura de la Zona Axial al nord de la zona de les Nogueres, a l'oest (a dalt) i a l'est (a baix) de la Noguera Pallaresa (Poblet, 1991; modificat).

#### 4.1 SECTOR OCCIDENTAL: GOTARTA – STA. BÀRBARA

En aquest sector, les escates de la zona de les Nogueres són relativament petites, estan totalment invertides i desarrelades, i reposen sobre la làmina encavalcant d'Erta. Litològicament es caracteritzen per involucrar un sòcol Devonianà de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra (Mey, 1967b) i en la majoria de casos per la presència de materials estefano-permians.

La part oest d'aquest sector (fig. 4.2 i 4.5) de la zona inclou els mantells d'Erta, Gotarta, la Costera i Serra Faiada. L'escata d'Erta inclou en el sòcol el Devonianà de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* i dues conques estefanopermianes: 1) la d'Igüerri, que només incorpora conglomerats de la fm. Guiró, i 2) la terminació occidental de la fossa d'Erill Castell, que conté roques tota la sèrie estefano-permiana i estructuralment està afectada per la franja de retroencavalcaments de St. Quiri. Els conglomerats, gresos i argiles del Buntsandstein reposen discordantment sobre els materials més antics. La làmina de Gotarta (fig. 4.2 i 4.5) inclou el sòcol Devonianà de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* i la fossa de Gotarta que incorpora materials de les formacions Erill Castell, Malpàs i Peranera. Discordant sobre el conjunt apareix el Triàsic en fàcies Buntsandstein. Per sota d'aquesta làmina encavalcant aflora la escata de la Costera, una làmina complexa formada per diverses escates menors, que incorporen principalment el Triàsic en fàcies Buntsandstein, tot i que en alguns casos arriba a aflorar el sòcol pre- i post-hercinià.

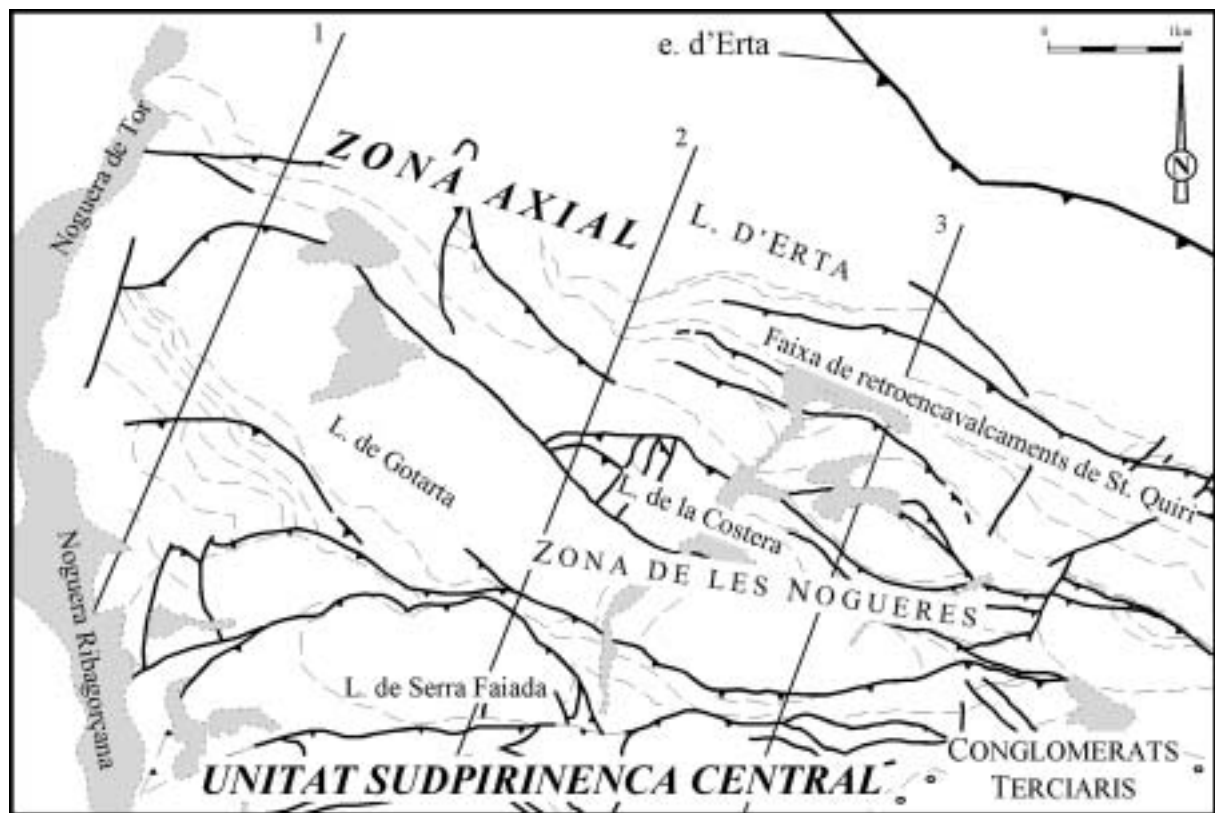


Fig. 4.2.- Unitats estructurals del límit oest del sector occidental. Les línies numerades corresponen als tall geològics elaborats en aquesta zona. En gris s'indiquen els quaternaris. L: làmina encavalcant.

Per sobre de la làmina tectònica de Gotarta afloren diverses repeticions amb poc desplaçament relatiu entre elles, que limiten al sud amb la USC, representada en aquesta zona per roques Juràssiques i Cretàciques de la làmina de Las Aras – Serra Faiada. Teixell i Muñoz (2000) i García-Senz (2002) interpreten aquesta unitat com una làmina encavalcant vergent cap al sud, caracteritzada per una falla basal sostractiva (posa el Juràssic i el Cretaci inferior sobre el Triàsic) com a conseqüència d'una evolució tectònica complexa durant el Cretaci superior.

A l'est del sector de Gotarta – Sta. Bàrbara (fig. 4.3 i 4.20) afloren les escates d'Erta, Sta. Bàrbara, Erdo – Castellgermà i Serra Faiada. La làmina tectònica d'Erta és la de més extensió en aquesta zona, i es caracteritza per la presència de la fossa d'Erill Castell, amb una sèrie permo-triàsica de fins a 1000m de potència (Saura, 2000), sobre un sòcol Devonian en fàcies Sierra Negra *s.l.* i coberta discordantment pel Buntsandstein. Estructuralment es caracteritza per estar verticalitzada i afectada per la franja de retroencavalcaments de St. Quiri, que creua la fossa longitudinalment.

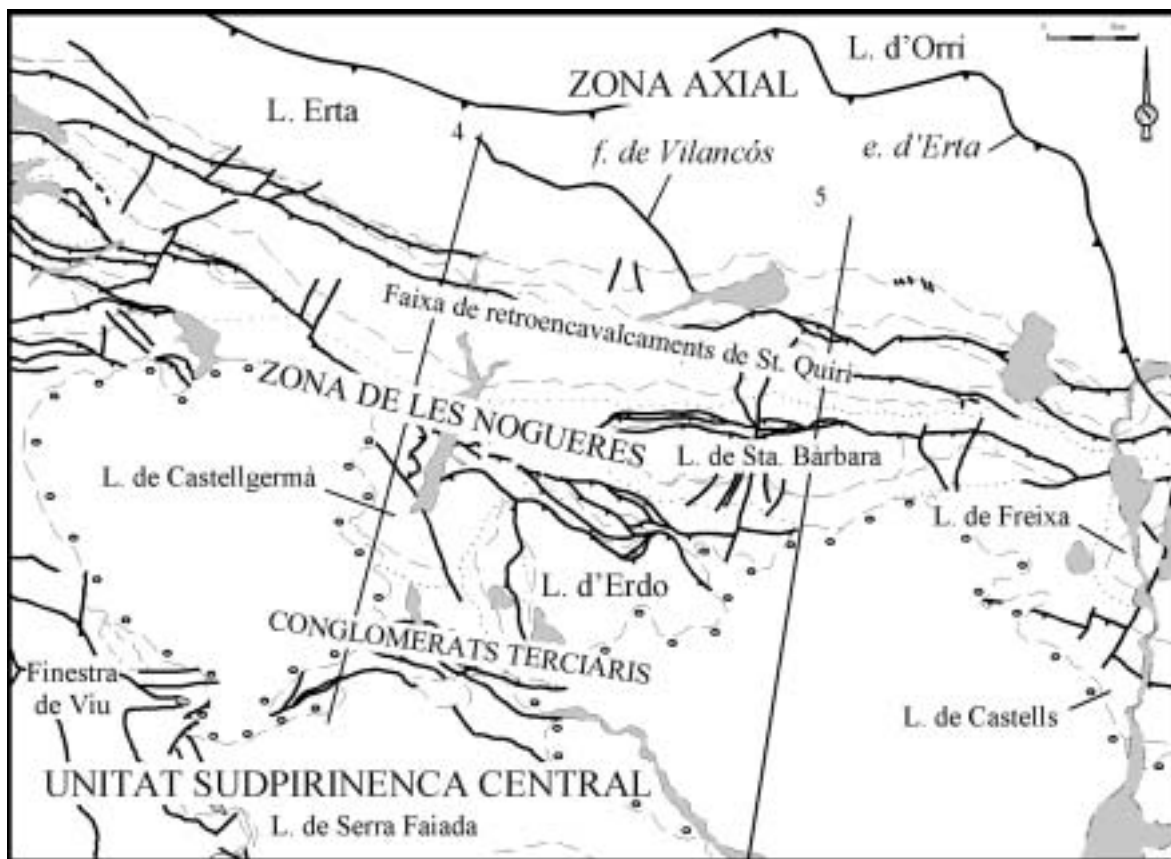


Fig. 4.3.- Unitats estructurals de la part est del sector occidental. En gris s'indiquen els quaternaris.

El conjunt format per les escates de Sta. Bàrbara i Erdo – Castellgermà, que encavalca la làmina tectònica d'Erta, defineix un apilament de petites dimensions. El sòcol d'aquestes escates està constituït per Devonian en fàcies Sierra Negra *s.l.*, i només la làmina encavalcant de Sta. Bàrbara inclou sediments estefano-permians

corresponents a la formació Erill Castell. En aquesta zona, la USC també està representada per la làmina de Serra Faiada.

El marge meridional de la zona de les Nogueres està en contacte amb la USC mitjançant un sistema d'encavalcaments i retroencavalcaments tardans (Saura, 2000), que està cobert en la major part del seu traçat pels conglomerats sintectònics terciaris de la conca de Senterada.

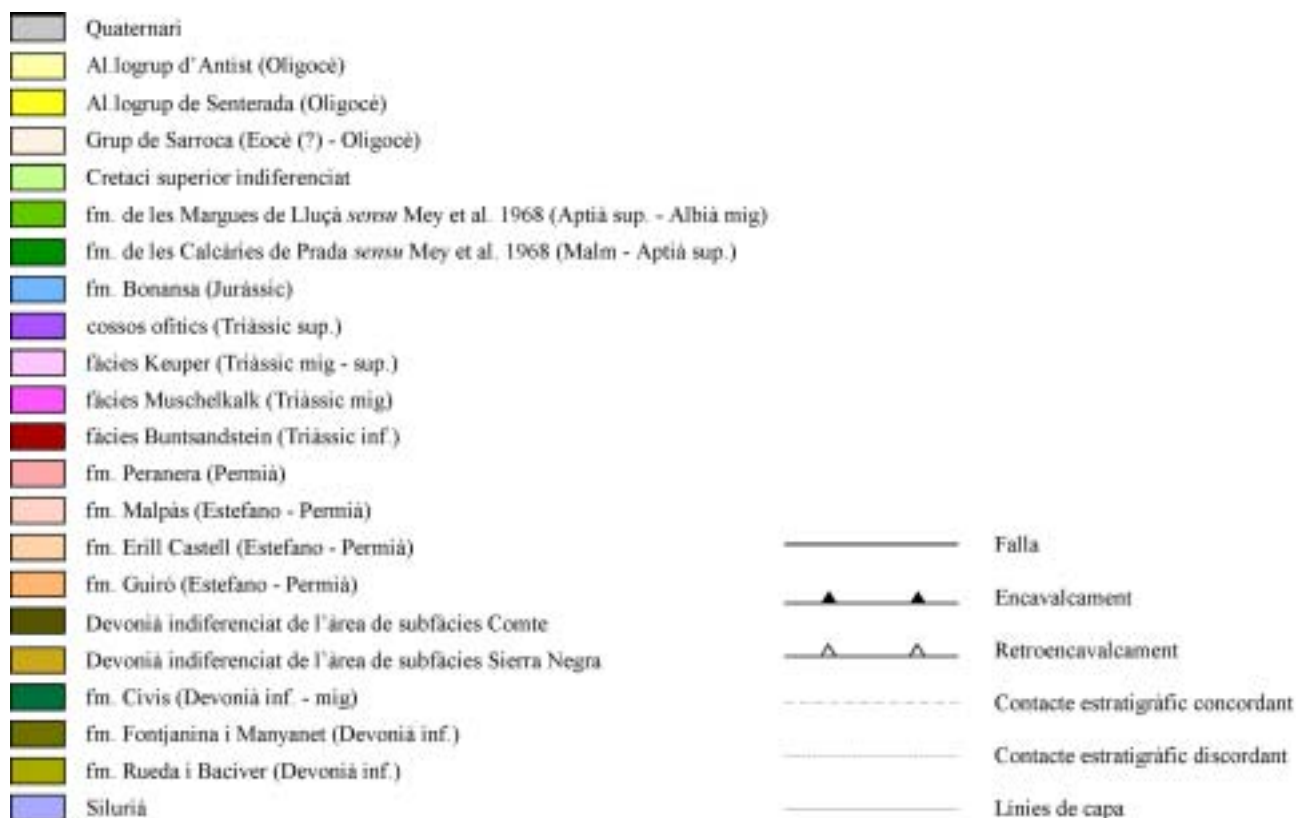


Fig. 4.4.- Llegenda dels mapes i talls geològics del sector de Gotarta – Sta. Bàrbara.

A continuació descriuré el sector de Gotarta – Sta. Bàrbara a partir d'una sèrie de talls transversals que il·lustren la geologia de la zona.

#### 4.1.1 Transversal d'Igüerri (tall 1)

Aquest tall transcorre paral·lel a la Noguera de Tor pel seu vessant est (fig. 4.5), i creua la làmina encavalcant d'Erta, la fossa invertida d'Igüerri i l'escata de Gotarta. La restitució d'aquesta secció s'ha efectuat utilitzant l'algoritme FSU del programa 2DMove.

Fig. 4.5.- (pàg. 100) Mapa geològic del límit oest del sector occidental (Gotarta – la Costera). Llegenda de colors a la figura 4.4.

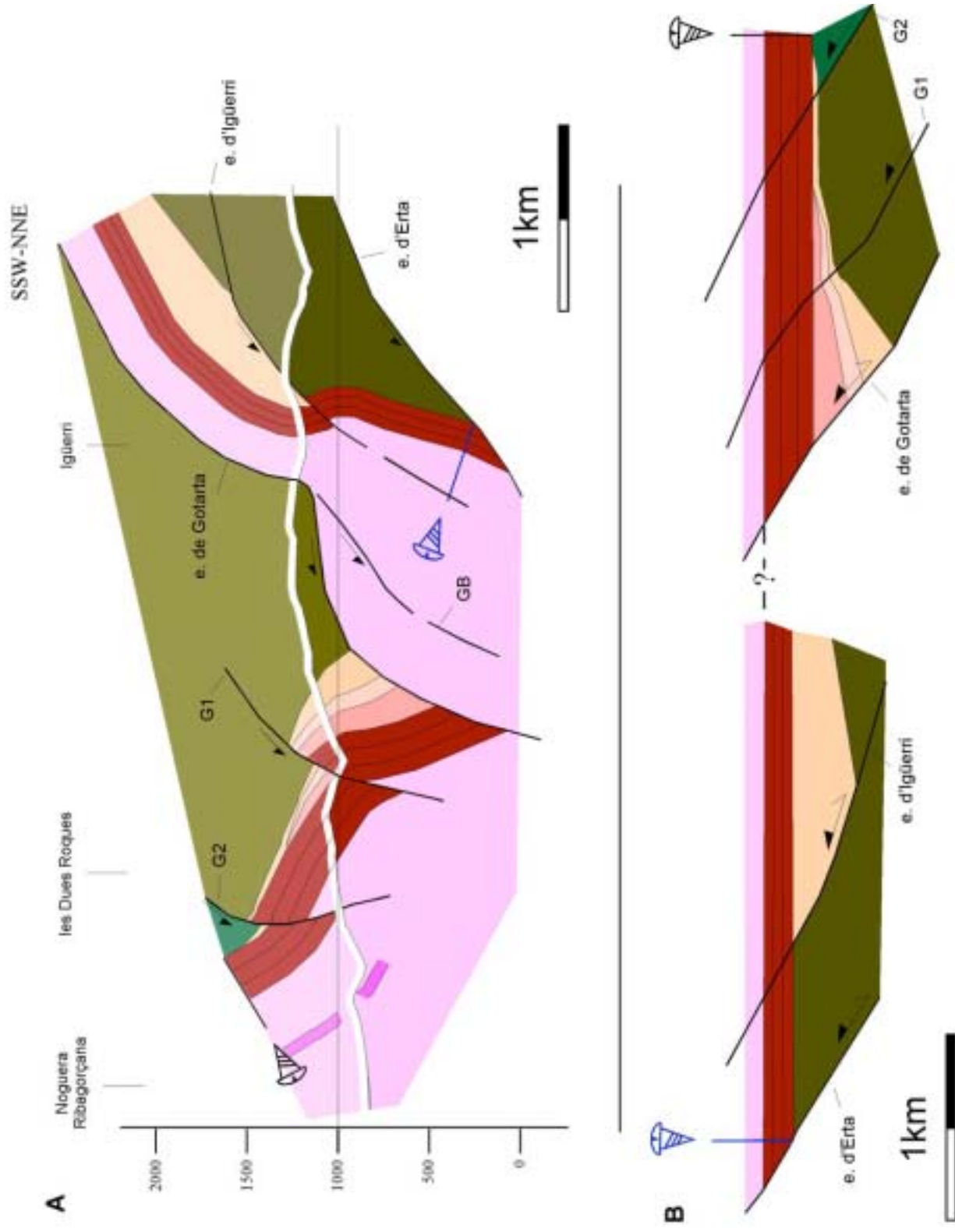
Fig. 4.6.- (pàg. 101) Tall de la transversal d'Igüerri (Tall 1 a la figura 4.5). **A.**- Tall geològic. **B.**- Restitució per FSU. Llegenda de colors a la figura 4.4.







### Tall 1



La làmina encavalcant d'Erta incorpora en el sòcol les formacions devonianes de Manyanet, Fontjanina i Civis (Mey, 1967b; Garcia-Senz, 2002), i en la cobertora la sèrie triàsica, on el Buntsandstein té una potència de 160m. No s'observa en superfície que aquesta escata impliqui la conca d'Erill Castell, tot i que no és pot descartar la seva incorporació en profunditat, donada la proximitat de la terminació occidental en superfície d'aquesta conca (2000m a l'est de la secció).

L'encavalcament d'Erta, fortament inclinat cap al sud, aflora al nord del tall geològic (vall de la Noguera de Tor), on se situa a l'interior del Paleozoic (Mey, 1968; Garcia Senz, 2002). La restitució del tall indica que l'angle original de rampa era d'uns 35° (fig. 4.6 **B**). La construcció del tall geològic suggereix que el *cutoff* de bloc superior del sostre del Buntsandstein es troba a una profunditat pròxima als 0m en la vertical d'Igüerri. La cota més baixa en la que aflora l'encavalcament d'Erta a la vall de la Noguera de Tor és de 1000 m, i per tant el *cutoff* de bloc inferior de la base del Triàsic ha de trobar-se per sota d'aquest nivell en la transversal d'Igüerri, situació que implica que el salt màxim d'aquest encavalcament és de 1250m.

Per sobre de la làmina d'Erta, aflora una escata amb l'encavalcament basal desarrelat i inclinat cap al sud, que inclou els conglomerats de la formació Guiró coberts pel Buntsandstein. Els materials de la formació Guiró formen el rebliment d'una petita fossa tectònica que anomeno fossa d'Igüerri, que és la conca estefano-permiana més occidental de la zona estudiada. La inversió tectònica afectà la falla normal del seu marge sud. El salt encavalcant d'aquesta falla és inferior a 100 m, fet que ens permet considerar-la una estructura menor dins la làmina encavalcant d'Erta. En canvi, el salt vertical associat a la falla normal, durant la sedimentació dels conglomerats de la fm. Guiró era pròxim a 350m.

La làmina encavalcant de Gotarta (fig. 4.6) conté en el sòcol pre-hercinià les formacions devonianes de Manyanet, Fontjanina i Civis. Per sobre hi ha una sèrie estefano-permiana de 320m de potència en superfície que augmenta fins a 500m en profunditat. La seqüència estefano-permiana està formada per les formacions Erill Castell, Malpàs i Peranera que desapareixen per bisellament sota la base del Triàsic.

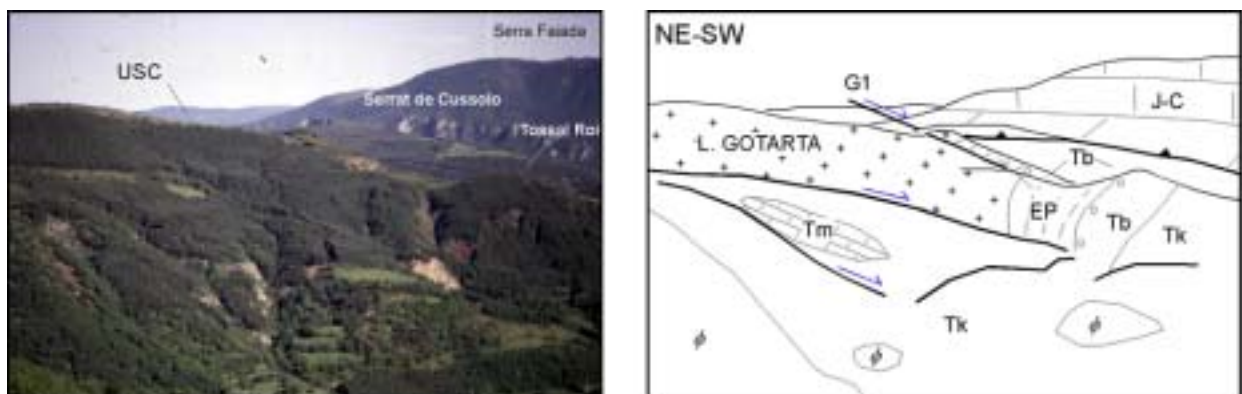


Fig. 4.7.- Unitat de Gotarta vista des de la vessant oest de la Noguera de Tor. **A**.- Fotografia. S'indiquen els llocs geogràfics més importants **B**.- Interpretació de l'estructura. G1.- Encavalcament G1 de la figura 4.6. EP.- Estefano-permià. Tb.- Buntsandstein. Tm.- Muschelkalk. Tk.- Keuper. λ.- Ofites. J.- Juràssic. C.- Cretaci.

L'encavalcament de Gotarta està plegat formant una parella sinclinal – anticlinal, passant d'una orientació subvertical en el seu límit nord, on està desarrelat, a una inclinació inferior als 10° cap al sud, en el seu tram central, per tornar-se a inclinar fortament (60-70°) en creuar l'estefano-permià. Els plecs que afecten l'encavalcament de Gotarta s'associen a un gruix anòmal de Keuper en el seu bloc inferior que he considerat que ha de deure's a un encavalcament intern (GB a la figura 4.5) que probablement s'entronqui en l'encavalcament de Gotarta.

L'escata de Gotarta està dividida en tres unitats menors. L'encavalcament superior (G2) té un desplaçament de 120m cap al sud, mentre que l'encavalcament subjacent G1 el té de 185 m.

L'encavalcament de Gotarta també inverteix una falla extensiva, tot i que a diferència de l'encavalcament d'Igüerri, el desplaçament encavalcant associat és molt superior al salt normal. L'estructura més meridional de la Zona Axial a la qual es podria arrelar aquesta falla és l'encavalcament de Bono (descriu per Mey, 1968)(fig. 4.1). Aquest encavalcament aflora a la vall de la Noguera Ribagorçana on superposa el sòcol paleozoic a una sèrie del Triàsic inferior disposada subhoritzontalment. La rampa de bloc inferior d'aquest encavalcament al nivell del Buntsandstein aflora a les dues vessants del riu, en cotes superiors als 2000m (Mey, 1968), uns 9 km al nord del *cutoff* de bloc superior de l'encavalcament de Gotarta. Si s'accepta la relació entre les dues estructures, es pot projectar l'encavalcament de Gotarta en replà de bloc inferior, per sobre de l'escata d'Erta, més enllà de la cota 2000 tal com he fet al tall geològic. Considerant el tram de l'encavalcament de Gotarta dibuixat al tall, el salt mínim d'aquesta estructura és de 3450m. La hipòtesi de l'arrelament a l'encavalcament de Bono suposaria un desplaçament de 10.5km. Tanmateix, aquesta possibilitat es discuteix de nou més endavant, contrastant-la amb la resta de transversals.

Les calcàries i dolomies de la USC a la transversal d'Igüerri aflora al vessant oest de la Noguera Ribagorçana, al sud d'on he acabat el tall geològic. La relació entre la làmina de Serra Faiada i l'escata de Gotarta és retroencavalcant, amb una falla que cal situar a nivell del Keuper (fig 4.7).

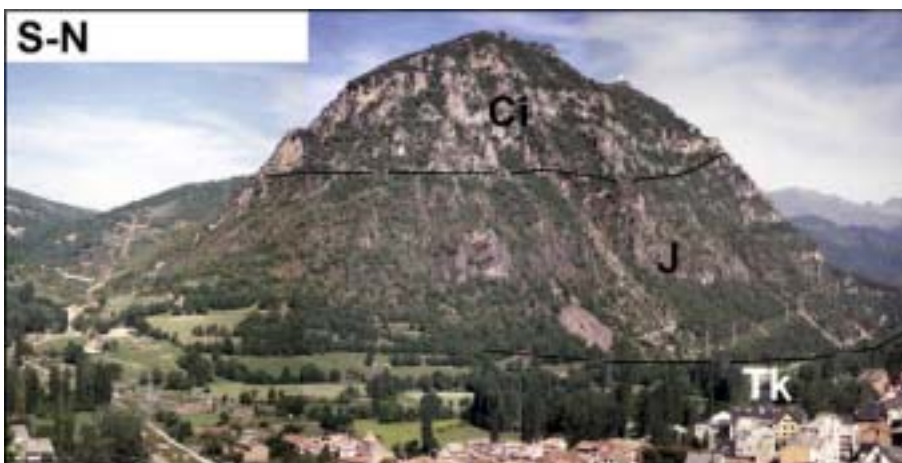


Fig. 4.8.- Vista del tossal de Miravet, corresponent al límit nord de la làmina de Serra Faiada al vessant oest de la Noguera Ribagorçana, a Pont de Suert. El contacte basal està cobert, i el seu límit meridional està definit per una falla subvertical que la posa en contacte amb el Keuper. Tk.- Keuper; J.- Juràssic; Ci.- Cretaci inferior

La translació mínima de la *pin-line* caudal en aquesta transversal (prenent com a referència les *pin-lines* de la figura 4.6 B) és de 8900m.

#### 4.1.2 Transversal de Malpàs (tall 2)

Aquest tall (fig. 4.8) transcorre pel vessant occidental del barranc de Malpàs i creua la làmina encavalcant d'Erta i la fossa estefano-permiana d'Erill Castell, l'escata de la Costera, la de Gotarta i la làmina de Serra Faiada. Aquest tall geològic no ha estat restituit.

La làmina encavalcant d'Erta incorpora en el sòcol pre-hercinià les formacions devonians de Rueda, Baciver i Fontjanina. Per sobre d'aquests materials aflora la conca estefano-permiana d'Erill Castell. La seqüència sin-rift, amb una potència total de 615m, incorpora les formacions d'Erill Castell (375m), Malpàs (190m) i Peranera (50m). Uns 100m a l'est de la secció aflora un dipòsit d'uns 50m de potència màxima, que Nagtegaal (1969) interpreta com a derrubis de vessant i atribueix a la fm. Guiró, i podria correspondre al registre de l'inici de l'activitat extensiva estefano-permiana en aquesta transversal. En discordància angular sobre aquest materials apareixen els conglomerats, gresos i argiles del Buntsandstein, amb una potència mitja de 185m.

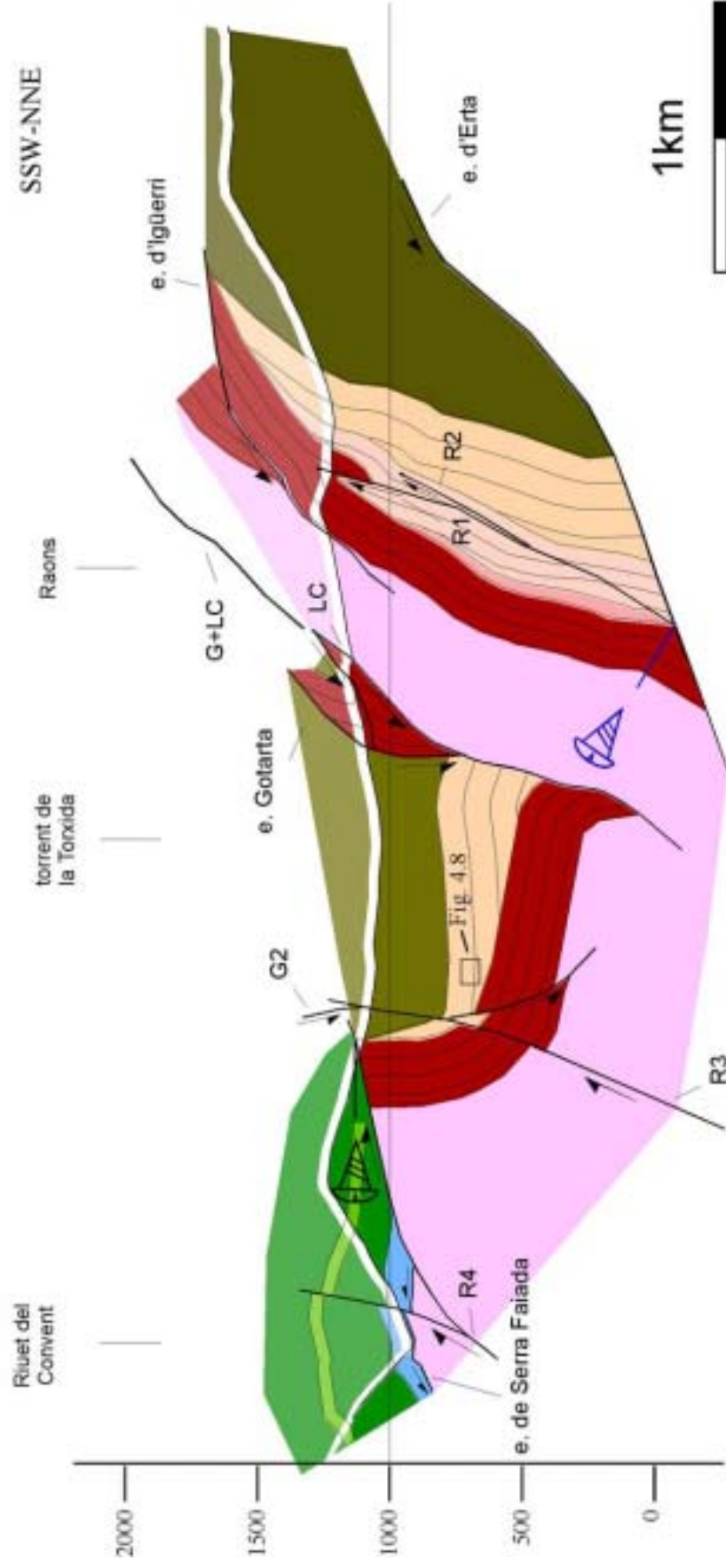
L'encavalcament d'Erta, fortament inclinat cap al sud, també aflora al nord del tall geològic en aquesta transversal. Seguint un raonament similar al de la transversal d'Igüerri, el *cutoff* de bloc superior de la base del Buntsandstein pot situar-se sota dels 0m, fet que junt amb la posició del Buntsandstein del bloc inferior implica un salt màxim de 1980m.

La fossa d'Erill Castell està afectada per dos retroencavalcaments de la franja que he anomenat de St. Quiri (R1 i R2). Aquests s'entronquen en profunditat i amorteixen el seu desplaçament fins a desaparèixer en creuar el Buntsandstein (R1) i la fm. Malpàs (R2), amb un desplaçament retroencavalcant pròxim als 160m. Aquests retroencavalcaments són subparal·lels a l'estratificació de la conca estefano-permiana i estan relacionats amb l'evolució de la inversió de la conca (veure apartat 4.1.8). Les relacions entre l'encavalcament d'Erta i les sèries estefano-permianes i del Triàsic inferior, junt amb la presència de retroencavalcaments, indiquen que l'encavalcament d'Erta deriva de la inversió de la falla que limitava meridionalment la fossa d'Erill Castell durant l'estefano-permià.

Encavalcant l'escata d'Erta, per sobre de la topografia actual, apareix una ramificació de l'encavalcament d'Igüerri, que aflora en planta uns 125m a l'est de la línia de tall. Aquest encavalcament s'entronca en la falla d'Igüerri donant lloc a una geometria cartogràfica triangular que pot interpretar-se com a un *short cut* de bloc inferior. Aquesta escata incorpora el Paleozoic pre-hercinià, una seqüència de la fm. Guiró de 50m de potència màxima i el Buntsandstein. L'encavalcament basal creua el Triàsic inferior de la làmina d'Erta amb un angle de rampa de 25° i es disposa en replà de bloc inferior a base del Keuper, amb un salt mínim associat de 530m. Igual que en la transversal d'Igüerri, l'escurçament associat a aquesta estructura, indica que aquesta escata es pot considerar com a una subunitat dins la làmina tectònica d'Erta,

Fig. 4.9.- (pàg. 105) Tall geològic de la transversal de Malpàs (Tall 2 a la figura 4.5). G1 i G2: encavalcaments de Gotarta. LC: encavalcament de la Costera. Llegendes de colors a la figura 4.4.

Tall 2



Associada a la conca d'Igüerri, la inversió de la qual és la manifestació d'un tret constant en tota la zona d'estudi: els canvis d'estil estructural causats per la presència o absència de conques extensives del Paleozoic superior.

Per sobre de la làmina tectònica d'Erta, apareix el sistema encavalcant de Gotarta – la Costera que reposa en replà de bloc inferior sobre el Keuper de la làmina d'Erta. La làmina encavalcant de la Costera presenta en aquesta transversal dues escates d'ordre menor que incorporen principalment el Triàsic, i esporàdicament poden presentar el sòcol pre-hercinià, tal com s'observa al vessant est del barranc de Malpàs. La traslació que acumulen els encavalcaments interns d'aquesta làmina és d'aproximadament 200m.

La geometria d'aquestes escates, juntament amb la seva posició respecte a la làmina encavalcant de Gotarta, m'han portat a interpretar-les com a *short cuts* tardans, és a dir, que el trencament del bloc inferior associat a la inversió de l'encavalcament de Gotarta es dona quan ja s'ha produït un desplaçament considerable al llarg d'aquest encavalcament.

La làmina de Gotarta incorpora el sòcol pre-hercinià de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.*, roques de la formació vulcano-sedimentària d'Erill Castell (300m), que arriben a estar invertits més de 180° al marge nord d'aquesta escata, i la sèrie del Buntsandstein amb una potència pròxima als 250m, disposada subverticalment al límit sud de la làmina encavalcant. L'estructura interna d'aquesta làmina dibuixa un anticlinal sinforme, amb la base de la fm. Erill Castell aflorant invertida al barranc de Malpàs, on es disposa lleugerament inclinada cap al sud.

Una altra estructura menor que afecta la làmina encavalcant de Gotarta és l'encavalcament G2 (fig. 4.8) que correspon a la continuació dels encavalcaments G1 i G2 de la transversal d'Igüerri (fig. 4.5 i 4.6), que s'uneixen lateralment entre els dos tall. El desplaçament d'aquest encavalcament és de 75m, portant les pissarres de la formació Civis (Devonià mig-superior) sobre la formació Erill Castell.

L'encavalcament basal de la làmina encavalcant de Gotarta es disposa subvertical sobre les escates de la Costera i el *cutoff* de bloc superior de la base del Buntsandstein se situa a una alçada de 425m. El transport mínim associat a aquest encavalcament és de 1100m.

L'encavalcament basal del sistema de Gotarta – la Costera es pot projectar en replà de bloc superior fins a una alçada de 2000m, per sobre la superfície topogràfica actual, seguint el raonament que he fet pel tall d'Igüerri. Segons això, el salt mínim de l'encavalcament G+LC és pròxim a 950m. Si a aquest valor hi afegim 760m de l'encavalcament LC (fig. 4.8), i els 1100m de l'encavalcament de Gotarta, el salt mínim que ha de tenir l'encavalcament inferior per darrera de l'entroncament de totes les branques és de 2800m. El traçat de l'encavalcament G2 és aprofitat parcialment per un retroencavalcament subvertical (R3) amb un salt en sentit contrari de 60m. L'elevat cabussament d'aquesta estructura ha de ser degut a una rotació posterior a la seva activitat. Per la relació angular que manté amb les estructures subjacents és probable que aquest retroencavalcament funcionés durant l'emplaçament de la làmina encavalcant d'Erta, i fos rotat per les escates subjacents.



Un aflorament de la formació Erill Castell al barranc de Malpàs mostra la complexitat de l'estructura interna d'aquests materials (fig. 4.10). En aquesta zona s'observen dues falles inclinades cap al nord afectant una sèrie estefano-permiana invertida, amb cabussaments que varien entre est i nord-est (perpendiculars a la línia de tall). Els materials estefano-permians estan afectats per un clivatge molt verticalitzat, associat a l'anticlinal sinforme de rampa de la làmina de Gotarta, que canvia d'orientació a cada costat de les falles, fent evident que el funcionament d'aquestes és posterior a l'emplaçament de la làmina (fig. 4.10). A la superfície d'una de les falles s'observen unes fibres que indiquen un moviment normal respecte a la seva orientació actual. És probable que aquestes falles registrin processos de col lapse en una etapa terminal de la deformació alpina, però no és pot despreciar la possibilitat que corresponguin a retroencavalcaments rotats per l'emplaçament de les làmines de la Costera, Erta i l'Orri, donada la proximitat del retroencavalcament R3 (fig. 4.9).

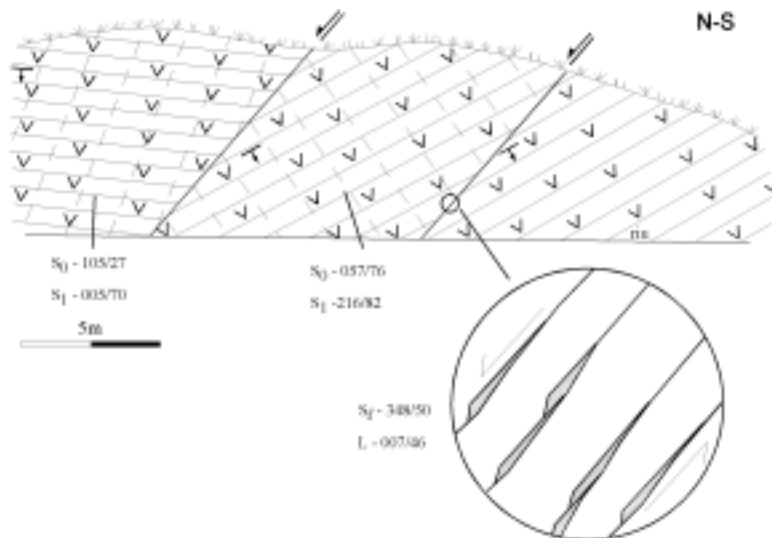


Fig. 4.10.- Esquema geològic de l'aflorament de la fm. Erill Castell de la làmina de Gotarta al barranc de Malpàs. S'observa en aquesta secció dues falles amb estries que indiquen un descens dels blocs septentrionals respecte als blocs meridionals. Els conceptes bloc superior i bloc inferior i moviment normal o invers són confusos en la interpretació d'aquesta estructura (veure text). Situació a la figura 4.9.

El marge sud de l'escata de Gotarta està definit per un retroencavalcament (R4) que el posa en contacte amb la làmina encavalcant de Serra Faiada, que en aquesta zona presenta roques juràssiques i del Cretaci inferior (fm. de les Calcàries de Prada). Aquest retroencavalcament es ramifica pocs metres per sota de la superfície actual, amb una branca nord inclinada uns  $12^\circ$  cap al sud, i una branca sud subvertical. El transport mínim del conjunt és de 150m. L'encavalcament basal de Serra Faiada aflora a la vall del Riu del Convent, on es pot observar el seu caràcter sostractiu.

La translació mínima de la pin-line caudal en aquesta transversal és de 5760m. Cal recordar que aquest és un valor mínim ja que es desconeix l'arrelament (i per tant l'escurçament) de l'encavalcament basal de la Costera.



### 4.1.3 Transversal de Coll de Fades (talls 3A i 3B)

Aquests talls transcorren paral·lels a la carena que separa el barranc de Malpàs de la vall del riu del Port d'Erta. El seu traçat creua la làmina d'Erta i la fossa d'Erill Castell, el sistema encavalcant Gotarta – la Costera i la làmina de Serra Faiada.

En aquesta transversal he elaborat dos talls geològics diferents. El primer (tall 3A, fig. 4.11) està restituint geomètricament pel mètode de preservació de la longitud de les capes (LLU) i correspon al Perfil I-I' del meu treball de recerca (Saura, 2000), al que he introduït algunes correccions a partir de la informació obtinguda mitjançant una restitució per FSU (veure apartat 5.2.2). El segon (tall 3B, fig. 4.13) passa per un lloc lleugerament diferent ja que la incorporació de noves dades de camp suggeria aquest nou traçat com a més idoni. L'he restituint cinemàticament utilitzant l'algoritme FPF del programa 2DMove.

#### *Tall actual i restitució geomètrica de la transversal de Coll de Fades (tall 3A)*

La làmina d'Erta incorpora en el sòcol la formació devoniana de Rueda. La conca d'Erill Castell presenta un gruix important de materials de les formacions Erill Castell (230m) i Malpàs (250m), la qual té en aquest punt la seva màxima potència. La formació Peranera desapareix per bisellament sota la base del Triàsic pocs metres a l'oest del tall, i per tant la seva potència en superfície és inferior als 10m. El gruix màxim calculat en profunditat és de 355m. Discordant sobre aquest materials aflora el Buntsandstein amb una potència lleugerament superior als 200 m.

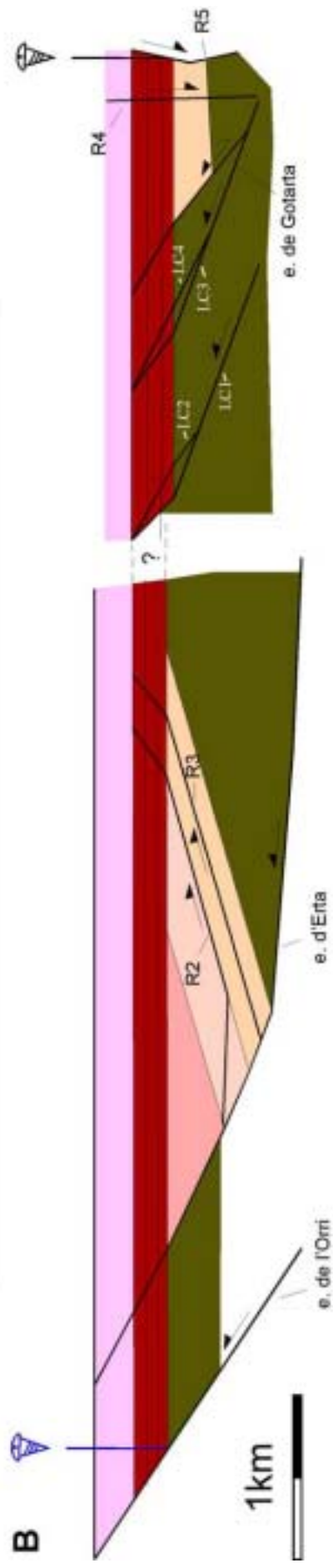
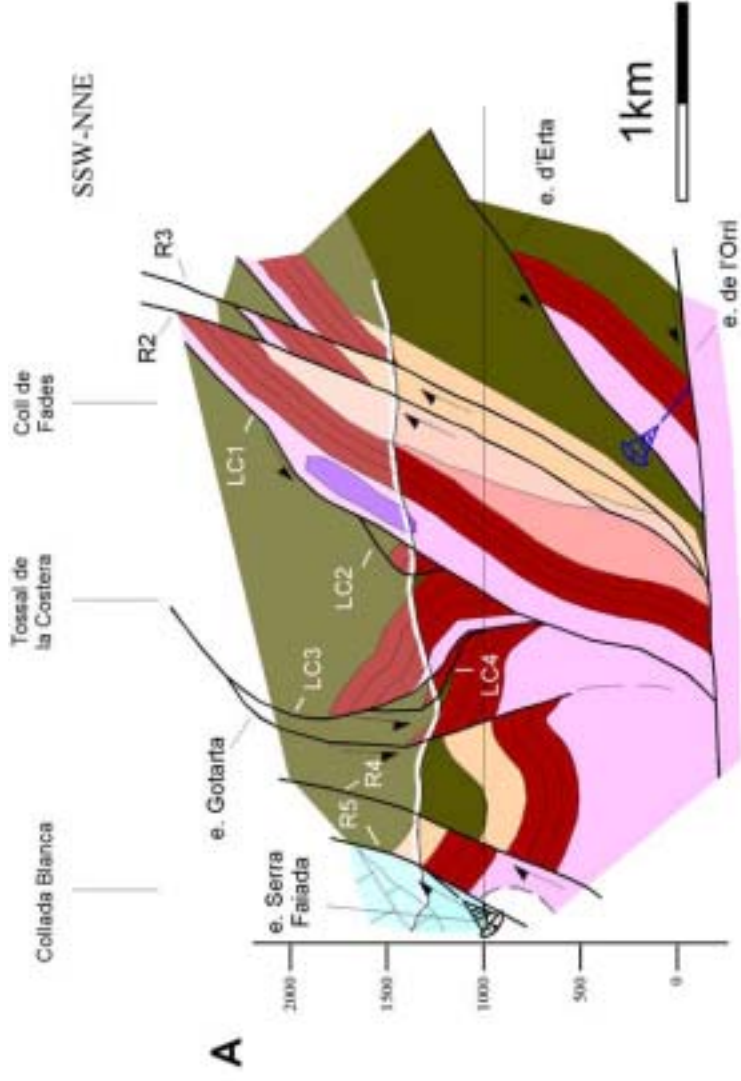
L'encavalcament d'Erta aflora aproximadament a 1.5 km al nord del tall amb una disposició subvertical (Mey, 1968), deixant al descobert, per sota, el sòcol de la làmina encavalcant de l'Orri (formacions Manyanet i Civis). L'encavalcament d'Erta està inclinat sota el tall entre 25° i 45° cap al sud, arribant a la seva profunditat màxima a la inflexió replà – rampa de bloc superior. He situat el *cutoff* de bloc inferior de la base del Buntsandstein per sota dels 1000m, i per tant, el desplaçament màxim d'aquest encavalcament és de 3875m.

La conca d'Erill Castell està afectada per dos retroencavalcaments (R2 i R3) de la franja de St. Quiri que aprofiten les superfícies estratigràfiques per lliscar en gran part del seu recorregut. El salt de R2 és de 725m i el de R3 és de 410m.

Per sobre de la làmina d'Erta aflora el sistema encavalcant de Gotarta – la Costera. Aquest grup és transportat per l'encavalcament de la Costera en replà de bloc inferior sobre el Keuper de la unitat d'Erta, uns 200m per sobre del sostre del Buntsandstein. La seva geometria és més complexa que en la transversal anterior, ja que la làmina de la Costera és més gruixuda (>1000m), produint una major rotació de l'escata de Gotarta.

Fig. 4.11.- (pàg. 109) Tall geològic de la transversal de Coll de Fades, restituint amb l'algoritme LLU (Tall 3A a la figura 4.5) (modificat de Saura, 2000). Llegenda de colors a la figura 4.4.

Tall 3A



La làmina encavalcant de la Costera està dividida en quatre escates (fig. 4.11) d'ordre menor que incorporen el sòcol pre-hercinià i la cobertora triàsica, i presenten angles de rampa d'entre 20 i 35°. L'encavalcament basal d'aquesta làmina (LC1) ha estat projectat per sobre dels 2000m, fet que suposa un transport mínim cap al sud de 1600m.

La làmina encavalcant de Gotarta, amb un gruix mínim de 830m, conté en el sòcol pre-hercinià les formacions de Fontjanina, Manyanet i Civis, cobertes per roques de la formació Erill Castell (240m) sobre les que reposa discordantment el Buntsandstein amb un gruix màxim de 270m. El seu encavalcament basal està invertit i inclinat cap al nord, amb un salt de 365m cap al sud, i amb un angle de rampa de 38° en creuar la formació Erill Castell i 30° en creuar el Triàsic. La magnitud relativament baixa del desplaçament d'aquest encavalcament permet l'aflorament dels *cutoff* de bloc superior i bloc inferior, i observar que la seqüència estefano-permiana només és present en el bloc superior, fent evident que l'encavalcament de Gotarta reactiva la superfície de falla associada a la sedimentació d'aquests materials. La relació geomètrica amb les escates més altes de la unitat de la Costera (LC3 i LC4, fig. 4.11 **B**) indica una geometria de *short cut* tardà de bloc inferior, similar a la que he descrit en la transversal de Malpàs (fig. 4.9).

L'escata de Gotarta està afectada per un retroencavalcament subvertical (R4; fig. 4.11), que posa la formació Erill Castell sobre el sòcol pre-hercinià, amb un transport associat de 330m. Aquesta estructura correspon a la projecció cap a l'est del retroencavalcament R4 de la transversal de Malpàs. La seva relació geomètrica amb la làmina encavalcant d'Erta indica que el seu funcionament és simultani, i que posteriorment ha estat rotat per l'emplaçament de les làmines subjacents.

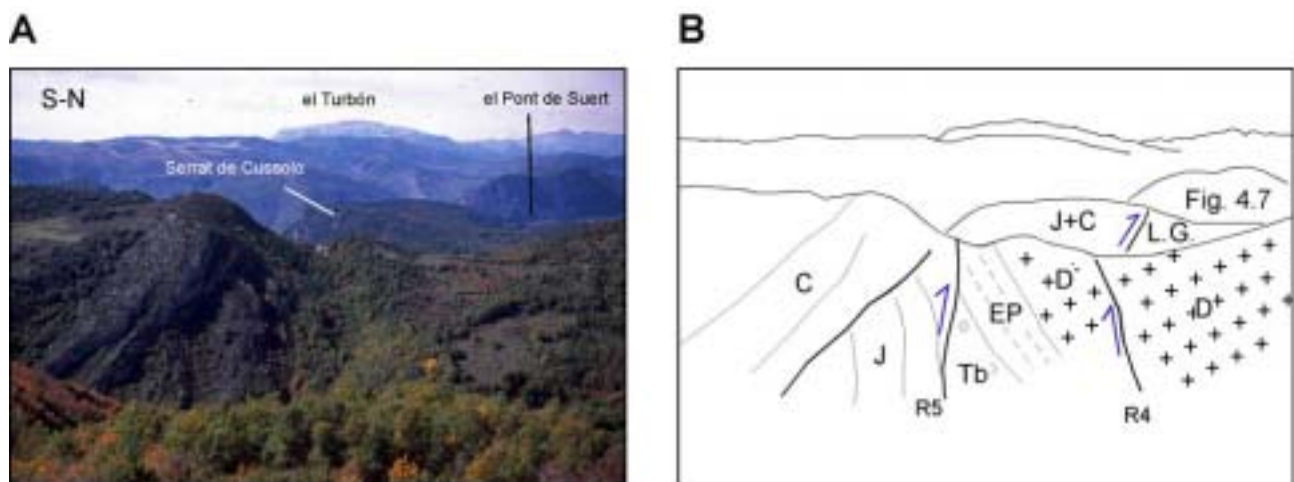


Fig. 4.12.- **A.**- Fotografia de la part meridional de la transversal de Coll de Fades. **B.**- Interpretació de l'estructura de la fotografia. En primer terme s'observa el contacte retroencavalcant (R5) entre les làmines de Gotarta i Serra Faiada. D.- Devonià; EP.- Estefano-permià; Tb.- Buntsandstein; J.- Juràssic; C.- Cretaci; R4.- Retroencavalcament 4 de la figura 4.11. En segon terme s'observa el Serrat de Cussolo on el Juràssic i el Cretaci de la làmina de Serra Faiada retroencavalquen la làmina de Gotarta. Finalment, a l'oest del Pont de Suert apareix el turó de la fig. 4.8.

Al sud de la làmina de Gotarta afloren les roques carbonàtiques del Juràssic i Cretaci inferior de la làmina de Serra Faiada (fig. 4.12) mitjançant un contacte tectònic sostractiu fortament inclinat (R5). Aquest contacte

correspon a un retroencavalcament tardà que talla en el bloc superior l'encavalcament basal de la làmina de Serra Faiada, i en el bloc inferior l'escata de Gotarta. En aquesta zona la relació angular entre el Juràssic i el Cretaci (fig. 4.12) mostra un exemple de com la base de la USC està afectada per falles que registren una evolució complexa, associada als processos d'inversió tectònica tant durant el trànsit Cretaci inferior – Cretaci Superior, com durant l'orogènia pirinenca (García Senz, 2002).

La translació mínima de la pin-line caudal (fig. 4.11 B) és de 14250m (vegi's que la pin-line frontal està en l'encavalcament de l'Orri, i d'aquí aquest valor elevat).

### *Restitució cinemàtica de la transversal de Coll de Fades (tall 3B)*

La restitució cinemàtica del tall 3B (restitució FPF) abarca des del bloc inferior de l'encavalcament G2 fins al bloc superior de l'encavalcament d'Erta (fig. 4.13) seguint el procés descrit en la figura 5.59 (pàg. 314). Aquest procés implica la modelització cinemàtica per parts de les principals escates del tall (Erta i sistema encavalcant de Gotarta – la Costera). D'aquesta forma es minimitza l'efecte de la cisalla angular associada a l'emplaçament de les làmines més tardanes, però es manté la rotació que aquestes produeixen en les làmines que tenen per sobre. La taula 4.1 mostra els valors de desplaçament i cisalla angular deduïts per a cada un dels encavalcaments. A grans trets, les relacions geomètriques entre les escates i les formacions incloses en cada una coincideixen amb el tall 3A (restituït per LLU), i per això només descriuré en detall aquells punts on les diferències siguin importants o aportin informació complementària.

	Restitució FPF		Restitució LLU
	Desp.(m)	$\phi$ (°)	Desp. (m)
e. d'Erta	4063	30	3875
R1	190	10	
R2	130	10	725
R3	270	10	410
“Erta B”	3000	50	
LC1	1580	50	1600
LC2	850	20	290
LC3	440	0	135
LC4	510	5	290
e. de Gotarta	1000	45	365
$X_0$ (min)	7380m		7231
$X_f$	-1635m		-1268

Taula 4.1.- Comparació dels valors de desplaçament dels encavalcaments segons les restitucions cinemàtica (FPF) i geomètrica (LLU). Desp.- Desplaçament.  $\phi$ - Cisalla angular. Les posicions inicial i final dels models ( $X_0$  i  $X_f$ ) estan mesurades prenent la *pin line* del *cutoff* de bloc superior del Buntsandstein en l'encavalcament d'Erta com a punt 0, amb els valors positius a la seva dreta. El valor “Erta B” correspon a una operació necessària per poder modelitzar les dues parts en les que s'ha dividit la restitució cinemàtica, i representaria la deformació que la làmina d'Erta produeix en el grup Gotarta – la Costera.

La geometria del tall actual (fig. 4.13), si bé és similar a la que ha estat restituïda amb LLU, presenta algunes diferències com a conseqüència del funcionament de l'algoritme FPF. La variació més important que es pot observar entre els talls 3A i 3B són els canvis de potència del Buntsandstein que es donen tant en l'interior d'una mateixa làmina com entre làmines adjacents. Aquests canvis de potència són conseqüència del flux paral·lel a la falla, mecanisme diferent del flux flexural entre capes.

Tall 3B

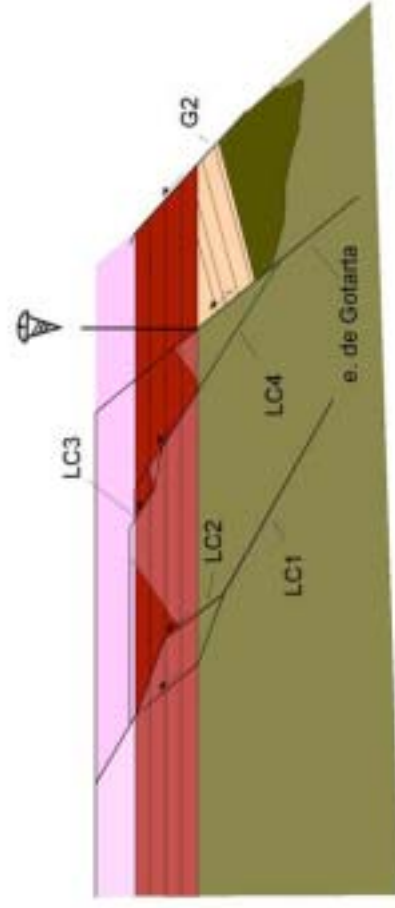
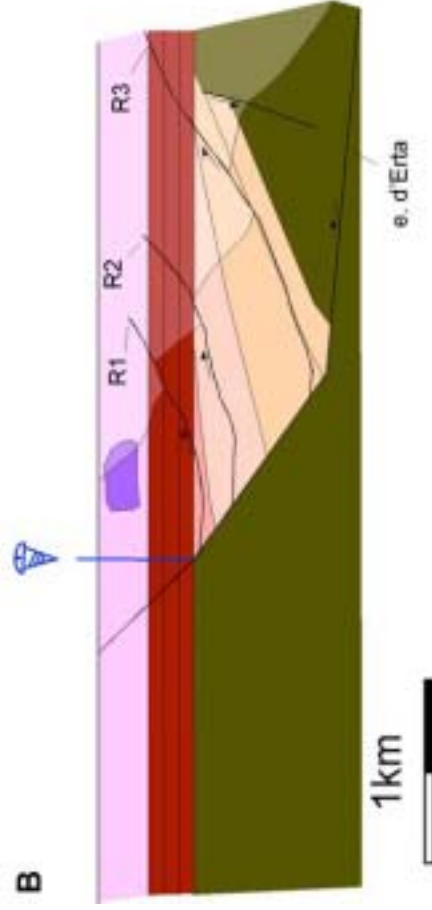
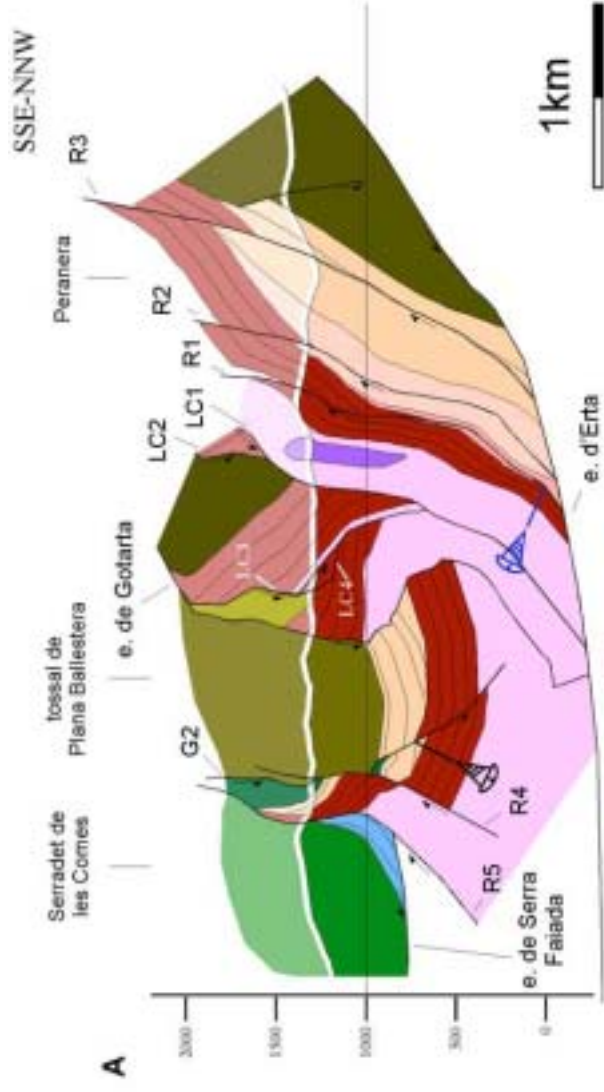


Fig. 4.13.- (pàg 112) **A.**- Tall geològic de la transversal de Coll de Fades compensat cinemàticament amb l'algoritme FPF del 2DMove (Tall 3B a la figura 4.5). **B.**- Restitució cinemàtica del tall. Llegenda de colors a la figura 4.4.

Una altra diferència significativa entre la restitució FPF i la restitució LLU són els angles de rampa. En general, els angles de rampa deduïts per FPF són entre 5° i 10° superiors als deduïts per LLU. Aquest augment en la inclinació de les falles és degut a la utilització de valors de cisalla angular ( $\phi$ ) positius, necessaris per minimitzar els canvis de potència durant la deformació i produir les rotacions del bloc superior. Els canvis de gruix restituït (taula 4.2) també tenen el seu origen en la utilització de valors de  $\phi$  positius.

		FPF	LLU	$\Delta$ (m)	$\Delta$ (%)
Làmina d'Erta	Inflexió replà - rampa	725	655	70	110
	Buntsandstein	250	200	50	125
Làmina de Gotarta	Base Erill Castell	340	270	70	126
	Buntsandstein	320	245	75	130

Taula 4.2.- Comparació entre els gruixos de la restitució LLU i la restitució FPF. Els valors de Inflexió replà - rampa i Base Erill Castell corresponen a la profunditat respecte a la base del Buntsandstein.

En la restitució, el futur encavalcament d'Erta presenta un segment inferior inclinat 5° cap al nord, que a una profunditat de 725m respecte a la base del Triàsic és doblega formant una rampa amb una inclinació de 35°, que es torna a doblegar (suaument) a la base del Triàsic, adquirint una inclinació de 45° fins a entroncar-se per dalt en l'encavalcament de Gotarta - la Costera, 280m per sobre del sostre del Buntsandstein. Al nord de la làmina d'Erta, l'encavalcament de Gotarta està inclinat 50° cap al nord, i forma un replà en el Keuper 220m per sobre del sostre del Buntsandstein, fins a entroncar-se frontalment amb l'encavalcament de la Costera, que té una inclinació constant de 30°, alterada lleugerament en creuar el Buntsandstein degut a la presència d'un *horse* (LC2).

Una de les limitacions del programa 2DMove que afecta directament la restitució d'aquest tall geològic és la impossibilitat de modelitzar el funcionament simultani de dues falles. Per tant, la modelització dels encavalcaments R1, R2 i R3 no es pot fer durant l'activitat de l'encavalcament d'Erta. La solució a aquest problema ha estat la modelització en seqüència de bloc inferior dels retroencavalcaments un cop emplaçada la làmina encavalcant d'Erta (fig. 4.14). Aquesta modelització implica que el bloc superior de l'encavalcament R1 estigui "sobredformat" com a conseqüència de la superposició de les cisalles angulars associades a l'encavalcament d'Erta i als retroencavalcaments R1, R2 i R3, procés que causa les variacions de potència que s'observen en profunditat en el Buntsandstein (fig. 4.13 A i 4.14). El bloc superior de l'encavalcament R2 també experimenta aquest fenomen, tot i que en menor intensitat, ja que no està afectat per l'encavalcament R1. La "sobredformació" també afecta la formació Peranera, que en aquesta transversal es troba sempre per sota de la superfície topogràfica, i presenta en el tall actual un aprimament i una elongació molt elevats respecte a la restitució, que no es reproduïxen en la realitat, i ajuden a explicar la diferència de potència d'aquesta formació entre la restitució LLU i la restitució FPF.



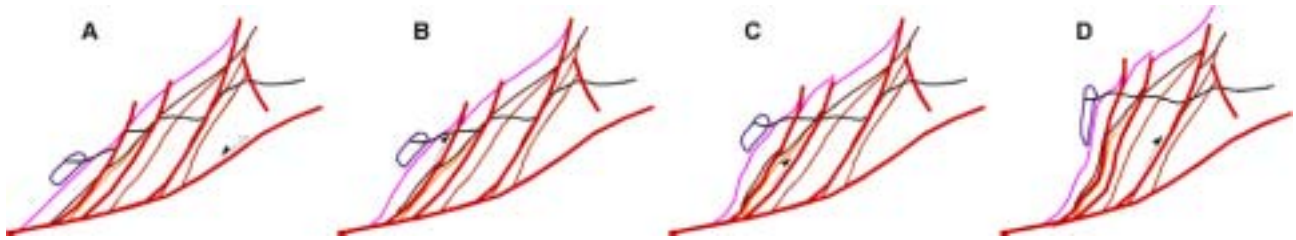


Fig. 4.14.- Modelització en avanç de la faixa de retroencavalcaments de St. Quiri a la transversal de Coll de Fades. **A.**- Situació inicial, un cop les làmines encavalcants d'Erta i l'Orri estan emplaçades. **B.**- Funcionament de R1. **C.**- Funcionament de R2. **D.**- Funcionament de R3. Tots els retroencavalcaments s'arrelen en l'encavalcament d'Erta amb el que formen un angle d'entre 25° i 30°, formant una inflexió que és en gran part la causa de l'aprimament que experimenta el Buntsandstein en profunditat. També s'observa com la cisalla angular associada a cada retroencavalcament altera successivament la geometria del seu bloc superior.

Malgrat les diferències descrites, la similitud estructural (fig. 4.15) i de valors d'escurçament horitzontal de la modelització cinemàtica i la modelització geomètrica donen una major consistència a la interpretació tectònica d'aquesta transversal, ja que ha estat validada amb dos mecanismes diferents, i les principals divergències entre els models són conseqüència de les limitacions de les tècniques de restitució utilitzades.

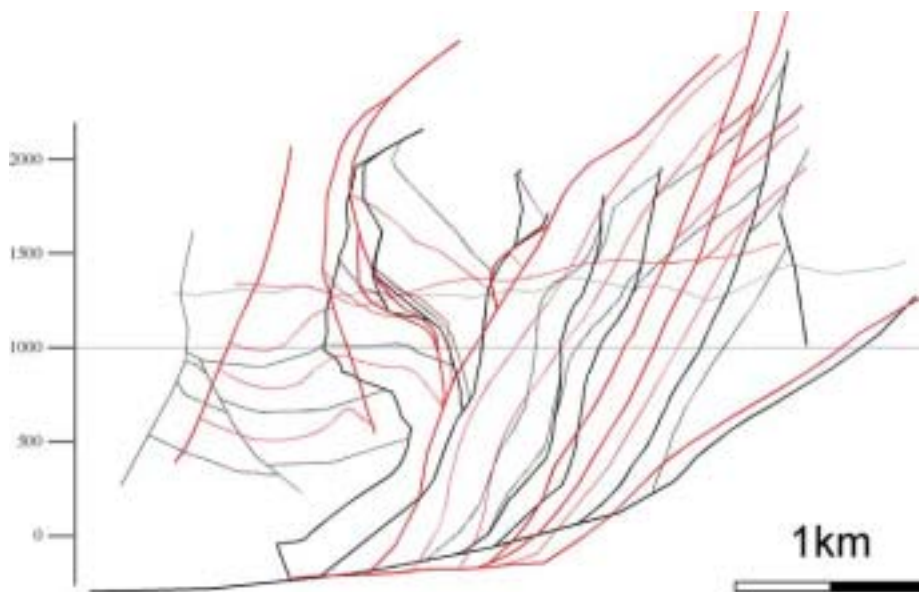


Fig. 4.15.- Superposició dels talls restituïts per FPF (en traç continu) i LLU (en traç discontinu). Les diferències més importants són la profunditat del sostre del Buntsandstein de l'escata de Gotarta i el gruix de la fm. Peranera i el Buntsandstein de la làmina d'Erta, que modifiquen la geometria en profunditat del sistema encavalcant de Gotarta – la Costera. La resta de diferències són conseqüència dels canvis laterals entre les seccions. Tot i així, la similitud geomètrica és suficient per validar la interpretació de l'estructura d'aquesta transversal.

#### 4.1.4 Relació entre l'escata d'Erta i el sistema encavalcant de Gotarta – la Costera

A la zona descrita fins ara (fig. 4.5) l'encavalcament d'Erta està inclinat més de 45° cap a l'avantpaís en el seu límit septentrional i s'horitzontalitza a una profunditat pròxima als 0m. Aquest encavalcament aflora al nord de la zona d'estudi i a les transversals de la Costera i Malpàs (fig. 4.16), on superposa les formacions devonians de Rueda i Baciver (D1) de la làmina d'Erta a les formacions Fontjanina i Manyanet (D2) de la làmina de l'Orri (Mey, 1968). La continuació de l'encavalcament d'Erta a la transversal d'Igüerri no és tan



evident. Al vessant est de la Noguera de Tor (entre els talls 1 i 2) el contacte entre les formacions D1 i D2 pren una direcció aproximada NE-SW que ha estat interpretat de diferents maneres. Mey (1968) i Garcia Senz (2002) cartografiaren aquest contacte com una estructura encavalcant subhoritzontal, probablement d'edat herciniana. Poblet (1991) anomena aquesta estructura falla d'Irgo i la descriu com una falla subvertical tardialpina amb el bloc enfonsat a l'est, amb un salt d'ordre hectomètric, i que representa la terminació occidental del mantell d'Erta.

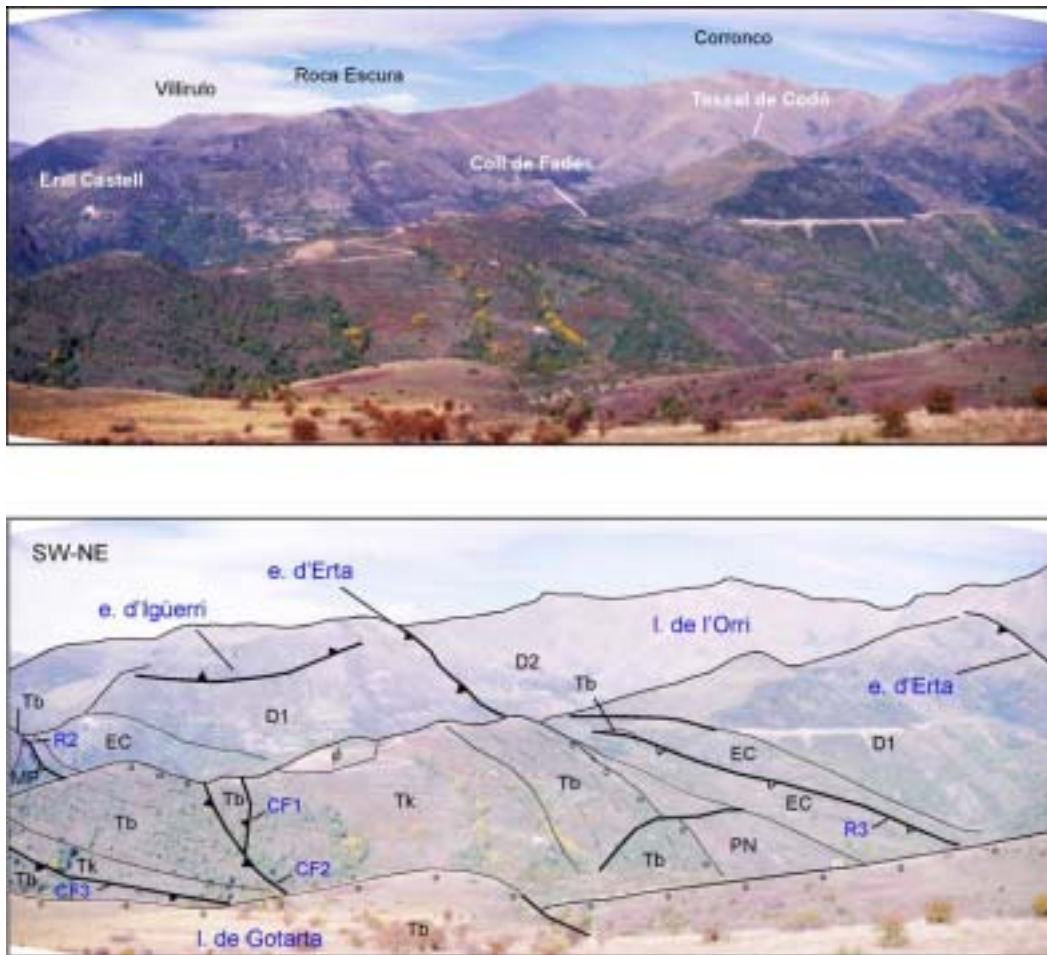
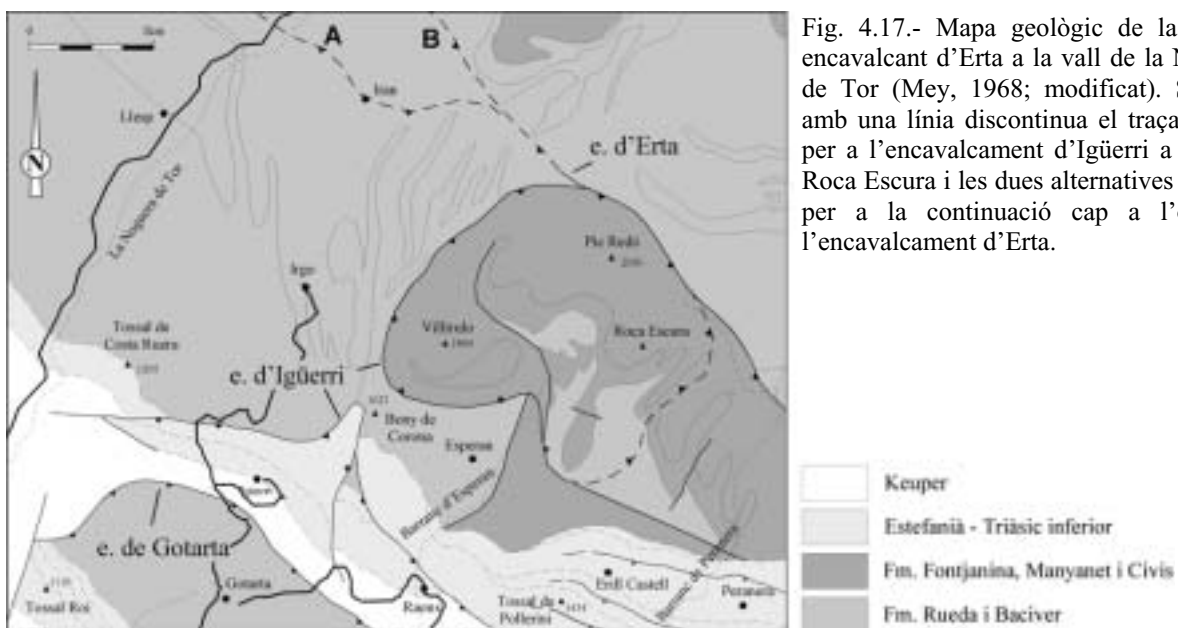


Fig. 4.16.- Vista panoràmica de la làmina d'Erta des del Tossal de Tous. En primer terme es veu la base del Buntsandstein de la làmina de Gotarta, en segon terme, la transversal de Coll de Fades (fig. 4.12), i al fons la transversal de Malpàs (fig. 4.13). D1.- fms. Rueda i Baciver; D2.- fms. Fontjanina, Manyanet i Civis; EC.- fm. Erill Castell; MP.- fm. Malpàs; PN.- fm. Peranera; Tb.- Buntsandstein; Tk.- Keuper;  $\lambda$ - ofita. La longitud de la carena en terme mig és d'aproximadament 3.5 km.

Per una altra banda, Poblet (1991) dedueix per criteris estratigràfics a partir de la restitució de l'encavalcament d'Erta, que aquest fa rejugar l'encavalcament hercinià de Sallente (fig. 4.1). Per tant, si tenim en compte que l'encavalcament d'Erta inverteix la falla associada al límit meridional de la conca d'Erill Castell, aquesta falla a la seva vegada havia invertit l'encavalcament hercinià.

A la figura 4.16 s'observa la disposició capgirada de l'encavalcament d'Erta, que comporta el seu desarrelament i permet aflorar àmpliament el Devonià del mantell de l'Orri. També es pot intuir en aquesta

figura quin és el gruix d'aquesta escata a la transversal de Malpàs. L'acabament occidental de l'encavalcament d'Erta en la falla d'Irigo que proposa Poblet (1991) (500m a l'est de Villirulo) implicaria el funcionament de la falla d'Irigo com a una falla de transferència. El que l'encavalcament d'Erta desapareixi no és conseqüent amb la continuïtat de cabussament del Triàsic de la vora sud de la Zona Axial (tot i que l'estructura d'aquest està localment pertorbada per l'encavalcament d'Igüerri). En canvi, si considerem la "falla d'Irigo" com una superfície subhoritzontal, tal com indiquen Mey (1968) i Garcia Senz (2002), la seva posició i orientació permetrien interpretar-la com la continuació de l'encavalcament d'Igüerri (fig. 4.17), que es ramifica de l'encavalcament d'Erta més al nord. La continuació cap a l'oest de l'encavalcament d'Erta a partir d'aquest punt es trobaria intercalada a l'interior de les calcàries de Manyanet (A en la figura 4.17), que afloren al fons de la vall de la Noguera de Tor o en el contacte entre aquesta formació i les pissarres de Fontjanina (B en la figura 4.17). El canvi en les formacions que formen el sòcol de la làmina d'Erta a l'oest de l'arrelament de l'encavalcament d'Igüerri tindria el seu origen en una falla pre-triàsica orientada NNE-SSW que aflora per sota de l'encavalcament d'Igüerri al barranc d'Esperan (fig. 4.17). Aquesta hipòtesi pot implicar que el traçat de l'encavalcament d'Erta abandona en aquest punt el recorregut de l'encavalcament de Sallente, fet que també es pot correlacionar amb la terminació occidental de la conca d'Erill Castell.



El sistema encavalcant de Gotarta – la Costera es troba en replà de bloc inferior sobre el Keuper de l'escata d'Erta, en les transversals de la Costera i Malpàs; a la transversal d'Igüerri, l'encavalcament basal del sistema encavalcant està plegat i reposa sobre un gruix anòmal del Keuper (fig. 4.6). Tot i així, he interpretat que aquest encavalcament es troba en replà de bloc inferior per sobre de la topografia actual en una posició equivalent a la de les transversals de Malpàs i Coll de Fades.

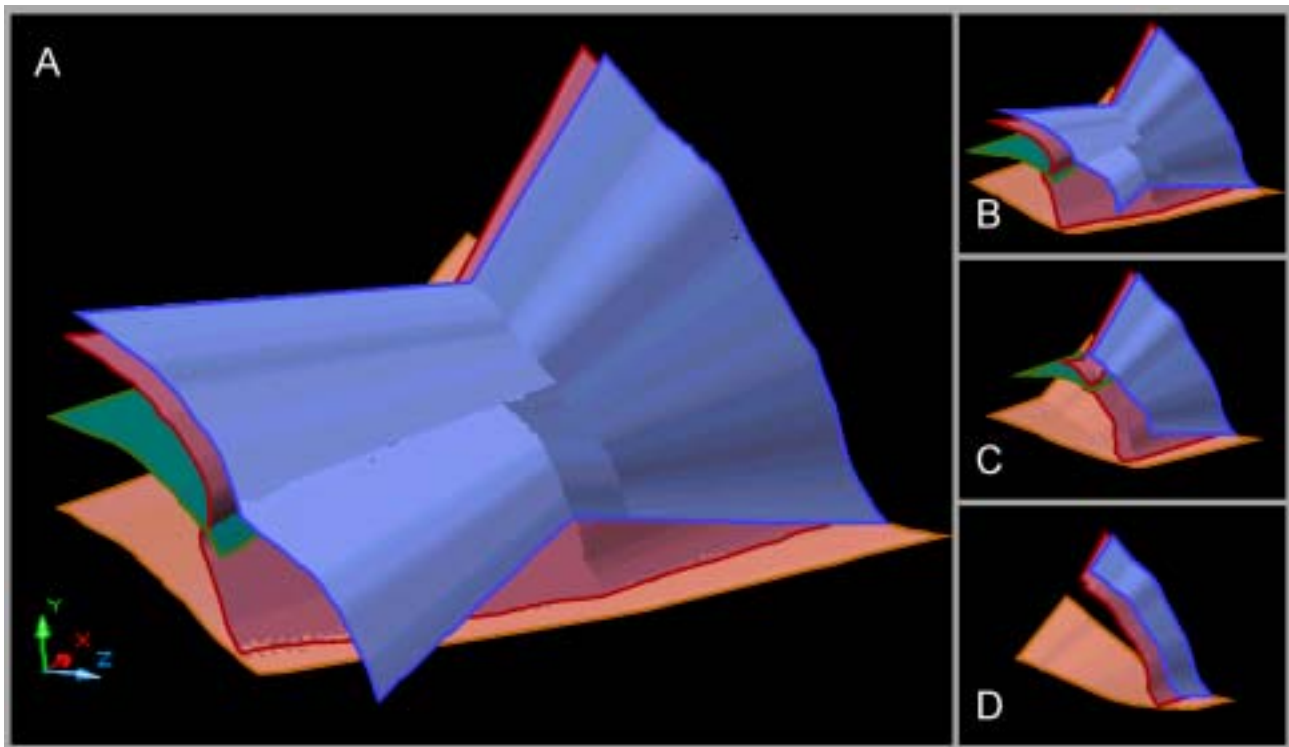


Fig. 4.18.- Reconstrucció tridimensional de la làmina encavalcant d'Erta (taronja) i l'encavalcament basal del sistema encavalcant de Gotarta – la Costera (blau). **A.**- Visió isomètrica de la reconstrucció des d'un punt de vista al sud ( $X = \text{Sud}$ ,  $Z = \text{Est}$ ). **B, C i D.**- Seccions successives segons un pla vertical N-S de la reconstrucció tridimensional. Verd.- encavalcament d'Igüerri; Granat.- sostre del Buntsandstein de la làmina encavalcant d'Erta (Veure apartat 5.5; visualització 3D).

En la reconstrucció tridimensional (fig. 4.18) s'observa el paral·lelisme entre el sostre del Buntsandstein i l'encavalcament basal del grup de Gotarta – la Costera, que dibuixen un anticlinal complex com a conseqüència de la presència a la part occidental de l'encavalcament d'Igüerri, que desapareix lateralment cap a l'est (fig. 4.18 B, C i D). Aquesta relació mostra com l'encavalcament d'Erta deforma el sistema encavalcant de Gotarta – la Costera i per tant evidencia la seqüència de bloc inferior entre aquests dos encavalcaments.

#### 4.1.5 Reconstrucció tridimensional del sistema encavalcant de Gotarta – la Costera

L'estructura interna del sistema encavalcant de Gotarta – la Costera està condicionada per la relació entre les dues escates principals que conté. La làmina de la Costera, formada com a un *short cut* tardà de bloc inferior, només aflora per sota l'encavalcament de Gotarta en la seva meitat est, i deforma l'escata de Gotarta augmentant-ne la inclinació de l'encavalcament basal, que està inclinat cap al nord en el seu límit oriental (fig. 4.19). Entre les transversals d'Igüerri i Malpàs l'encavalcament de Gotarta s'uneix lateralment amb l'encavalcament de la Costera, de tal forma que a l'oest d'aquest punt l'encavalcament de Gotarta és continu i forma un replà de bloc inferior per sobre de la superfície topogràfica, mentre que a l'est és l'encavalcament de la Costera el que forma el replà i configura l'encavalcament basal del sistema encavalcant de Gotarta – la

Costera. Una altra manifestació de la deformació que produeix la làmina de la Costera en la làmina de Gotarta és el grau de rotació de la cobertora triàsica d'aquesta làmina, que és superior a l'est que a l'oest (fig. 4.19).

L'encavalcament que afecta el Keuper per sota de l'encavalcament de Gotarta a la transversal d'Igüerri també l'he projectat cap a l'est, i el seu entroncament lateral amb l'encavalcament de Gotarta l'he dibuixat en el mateix punt que l'entroncament lateral entre els encavalcaments de Gotarta i la Costera. Aquesta estructura no està ben constrenyida, però considero que l'entroncament lateral no ha d'estar situat molt més a l'oest, i no és descartable que es produeixi directament amb l'encavalcament basal de la Costera, al sud-est de Raons (fig. 4.5).

Les estructures encavalcants i retroencavalcants de la vora sud de la làmina de Gotarta no tenen prou continuïtat per ser projectades entre les seccions, i a més presenten una complexitat geomètrica que no es pot simplificar de la mateixa forma que s'ha fet amb les estructures descrites fins aquest punt.

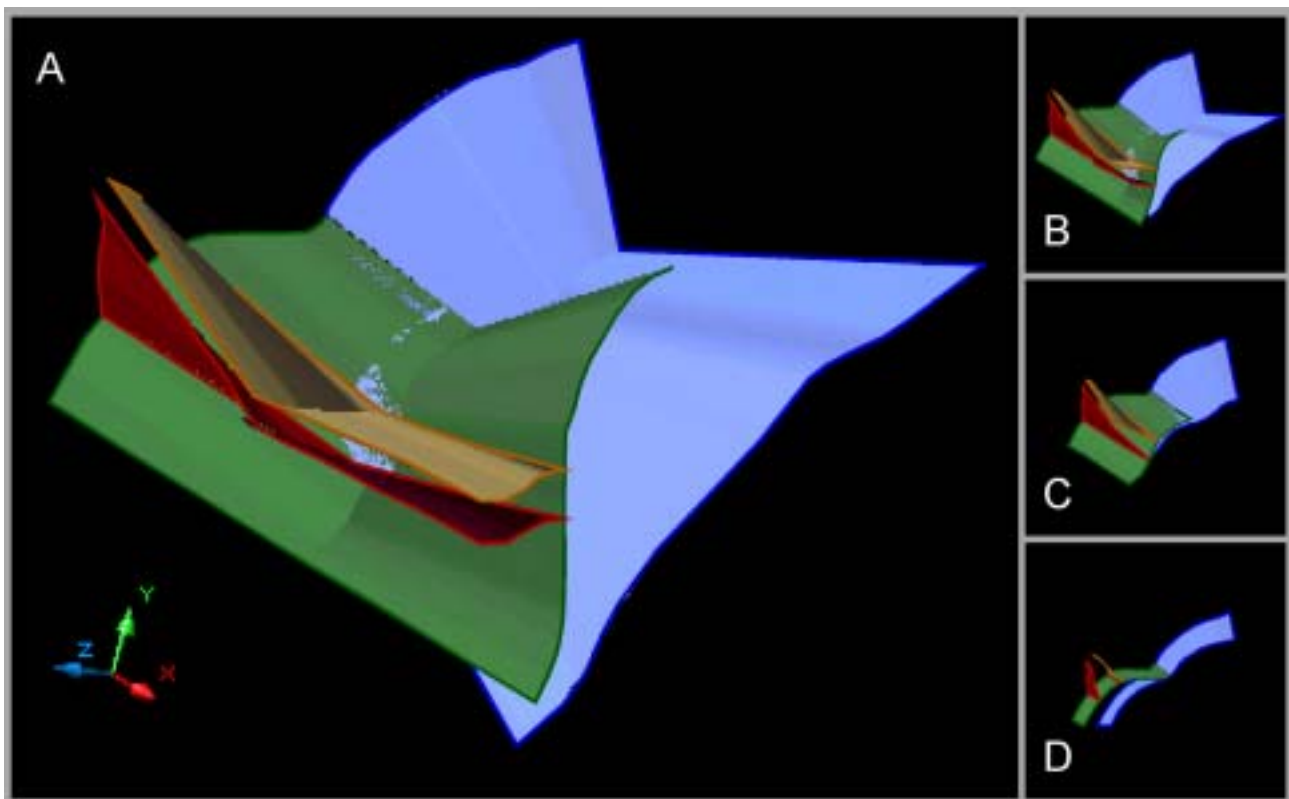


Fig. 4.19.- Reconstrucció tridimensional del sistema encavalcant de Gotarta – la Costera. **A.-** Visió isomètrica de la reconstrucció des d'un punt de vista al SE (X = Est, Z= Sud). **B, C i D.-** Seccions successives de la reconstrucció tridimensional segons un pla vertical N-S. Blau.- encavalcament basal del grup de Gotarta – la Costera; Verd.- encavalcament de Gotarta; Groc.- base de l'Estefano-permià; Granat.- base del Buntsandstein. No s'ha reconstruït les repeticions internes de la làmina de la Costera.

#### 4.1.6 Transversal del Manyanet (tall 4)

Aquest tall (fig. 4.21) transcorre paral·lel al riu Manyanet pel vessant oest de la vall. El seu traçat creua la làmina d'Erta i la fossa estefano-permiana d'Erill Castell, les escates de Castellgermà i la Costera, la làmina de Serra Faiada i els conglomerats terciaris de l'extrem oest de la conca de Senterada.

El sòcol de la làmina encavalcant d'Erta conté totes les formacions devonians de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* A sobre del sòcol pre-hercinià, la conca d'Erill Castell presenta un gruix important de materials de les formacions Erill Castell (380m), Malpàs (125m) i Peranera (775m). La formació Malpàs desapareix per bisellament basal entre aquesta transversal i la transversal de Sta. Bàrbara. Per això, aquesta geometria es reproduïx per sobre de la topografia, i la seva potència màxima s'ha ubicat a la rampa de bloc superior de l'encavalcament d'Erta. Els retroencavalcaments que afecten la fossa d'Erill Castell permeten l'aflorament, 250m a l'oest del tall, del bisellament sota la base del Triàsic de la formació Erill Castell, definint el límit septentrional de la fossa (fig. 4.22). Al nord d'aquest punt el Triàsic reposa directament sobre el sòcol pre-hercinià deformat, i al sud reposa en discordança angular sobre la seqüència estefano-permiana. La potència mitja del Buntsandstein del mantell d'Erta és de 220m.

L'encavalcament d'Erta aflora en superfície a uns 500m del límit nord del tall amb una inclinació d'entre 50° i 60°, i superposa les formacions Rueda i Baciver (D1) a les formacions Fontjanina i Manyanet (D2) del sòcol de la làmina de l'Orri (Mey, 1968). Al sud d'aquest encavalcament, el tall creua la falla d'Avellanós, d'edat estefaniana (activa durant els primers estadis de sedimentació de la formació Erill Castell) que s'entronca en l'encavalcament d'Erta a l'oest d'aquesta transversal. L'estratigrafia del Paleozoic dels blocs inferior i superior de les dues falles suggereixen que tant una com l'altra fan rejugar encavalcaments d'edat herciniana, ja que malgrat el seu salt normal a nivell de l'estefano-permià, contenen formacions més antigues en el bloc superior que en l'inferior. La inversió d'un encavalcament hercinià explicaria el baix angle d'aquesta falla en la restitució (fig. 4.21 **B**).

Els afloraments de l'encavalcament d'Erta al nord de la zona d'estudi posen sempre en contacte els sòcols dels mantells d'Erta i l'Orri, fet que permet deduir que el *cutoff* de bloc inferior del Buntsandstein en l'encavalcament d'Erta es troba per sota dels 1000m. La projecció en profunditat de l'encavalcament d'Erta i el Buntsandstein permet deduir que el *cutoff* del Buntsandstein ha de trobar-se per sota dels 0m, al sud de l'entroncament frontal de l'encavalcament d'Erta en l'encavalcament de l'Orri (fig. 4.21).

La faixa de retroencavalcaments de St. Quiri està representada per dos retroencavalcaments paral·lels a l'estratificació de la formació Erill Castell. El més meridional (R1) té un salt superior als 1000m. El segon retroencavalcament (R2), situat més la nord, utilitza parcialment la discordança post-herciniana per lliscar, i té un desplaçament pròxim als 150m. La particularitat d'aquestes estructures en aquesta transversal és l'aflorament en el seu bloc inferior de la cobertura triàsica de la làmina d'Erta, que al sud de Vilancós (750m a l'est del tall) arriba a contenir el Muschelkalk. El funcionament d'aquestes falles està lligat a la inversió de la fossa d'Erill Castell, però és probable que es reactivessin en estadis més tardans de l'evolució de l'apilament (veure apartat 4.1.10).







Tall 4

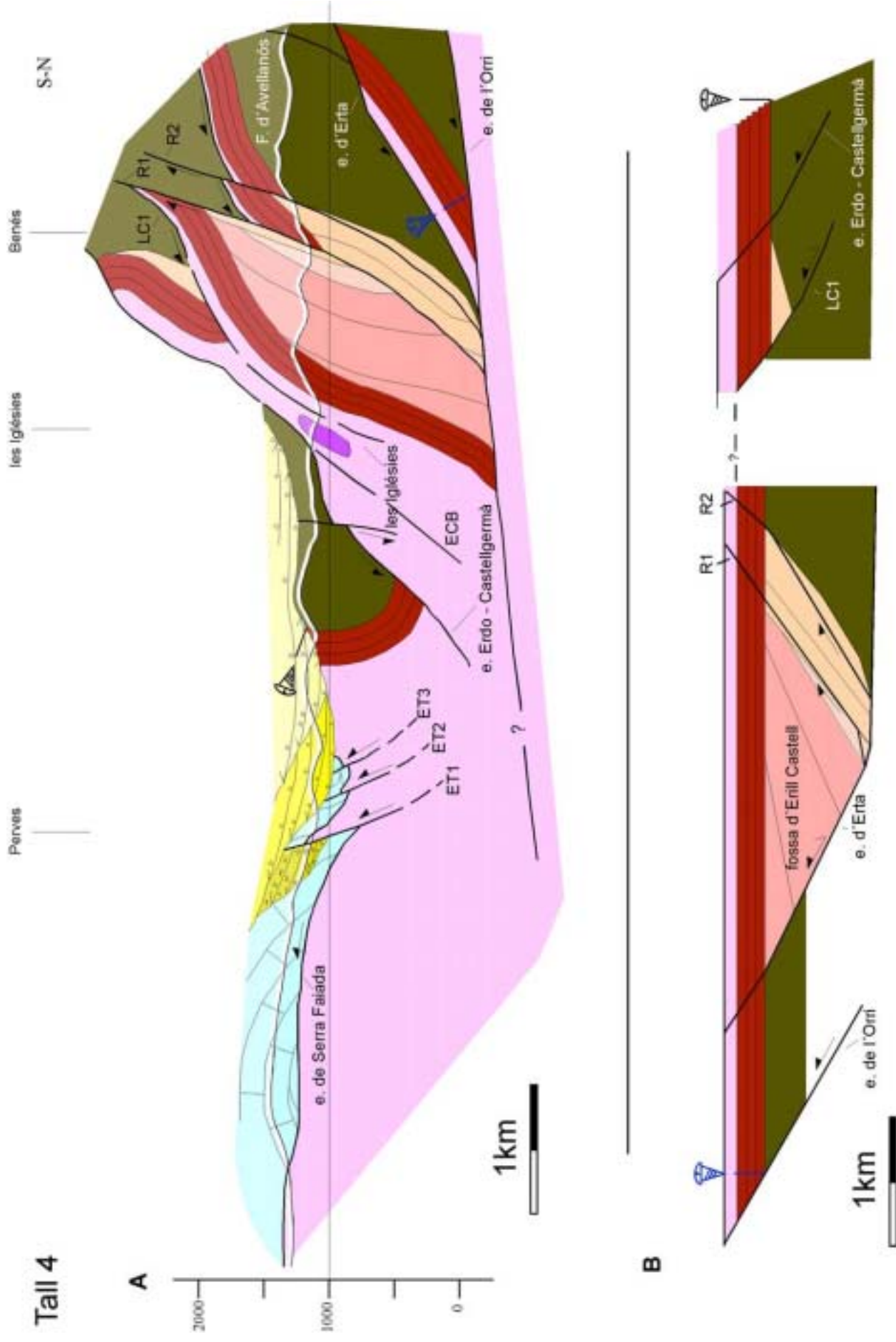




Fig. 4.20.- (pàg. 119bis) Mapa geològic de la meitat est del sector oriental (Faixa de retroencavalcaments de St. Quiri – apilament Sta. Bàrbara – Erdo). Llegendes de colors a la figura 4.4.

Fig. 4.21.- (pàg. 120) Tall geològic de la transversal de Manyanet, restituint per LLU (línia de tall 4 a la figura 4.20).

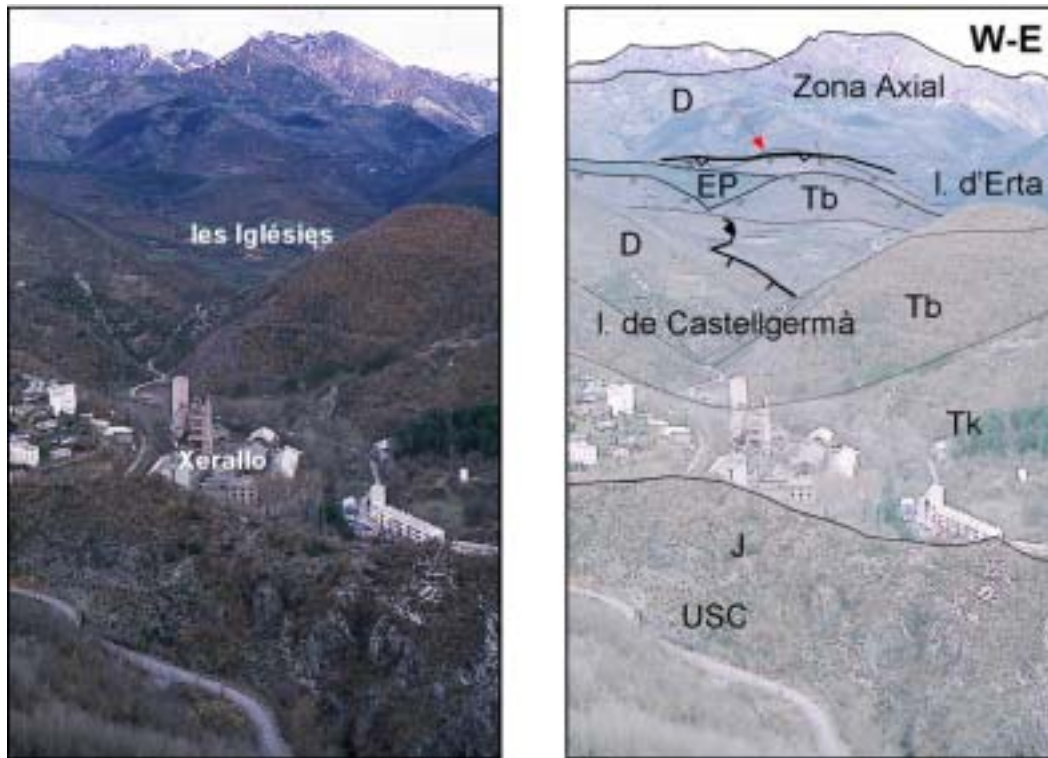


Fig. 4.22.- Visió des del sud de la transversal del Manyanet. Al fons les muntanyes de la Zona Axial on domina el Devonià, més al sud la làmina d'Erta amb la fossa d'Erill Castell afectada per retroencavalcaments paral·lels a l'estratificació. Per sobre del Buntsandstein de l'escata d'Erta aflora la zona de les Nogueres que en aquesta transversal està representada per la làmina de Castellgermà, en contacte amb el Juràssic de la USC. La fletxa indica el punt en el que el Triàsic reposa directament sobre el sòcol hercinià. D.- Devonià; EP.- Estefano-permià; Tb.- Buntsandstein; Tk.- Keuper; J.- Juràssic.

L'entroncament basal d'aquests retroencavalcaments en l'encavalcament d'Erta comporta que part de la superfície de l'encavalcament estigui reactivada amb un sentit de desplaçament invers (cap al nord) i es trobi actualment formant part de la superfície dels retroencavalcaments. Per això, a l'hora de calcular el desplaçament cap al sud de l'encavalcament d'Erta és necessari considerar el tram d'aquest que es troba formant part dels retroencavalcaments (fig. 4.23). Tenint això en compte, el salt màxim cap al sud de l'encavalcament d'Erta és de 4550m.

Per sobre de la làmina d'Erta la zona de les Nogueres està representada per la làmina encavalcant de Castellgermà, tot i que per sobre de la topografia s'ha representat la projecció cap a l'est de la làmina de la Costera. (tot i que l'encavalcament que aflora (LC1-Les Iglésies) és intra-Keuper). L'aflorament de Muschelkalk en el bloc inferior del retroencavalcament R1 i del Buntsandstein en el bloc inferior del retroencavalcament R2 permet la projecció en replà de bloc inferior 100m per sobre del sostre del

Buntsandstein de la làmina d'Erta almenys fins al bloc inferior del retroencavalcament R2 (fig. 4.21A), i per tant, calcular un desplaçament mínim cal al sud de 2500m per a l'encavalcament LC1-Les Iglésies.

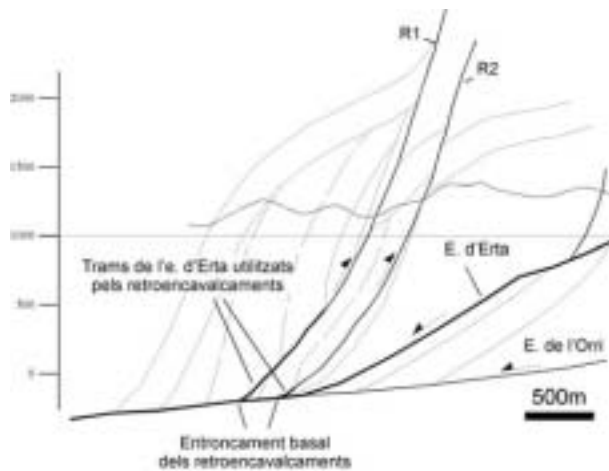


Fig. 4.23.- Esquema de la làmina d'Erta en el tall de la fig. 4.21, en el que es representa en traç més gruixut tota la superfície de l'encavalcament d'Erta, incloent-hi els trams que han estat reutilitzats pels retroencavalcaments R1 i R2.

Per sobre de les barres calcàries del Muschelkalk aflora l'encavalcament d'Erdo-Castellgermà. L'escata de Castellgermà incorpora en el sòcol el Devonian de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* i en la cobertura el Buntsandstein amb una potència de 260 m, disposat subverticalment en el seu límit sud (fig. 4.22), i per sobre el Keuper en contacte estratigràfic concordant. L'encavalcament basal presenta una geometria similar a la de l'encavalcament de Gotarta a la transversal d'Igüerri (fig. 4.6), posant el Devonian sobre un gruix anòmal de Keuper, i dibuixant una parella sinclinal – anticlinal que també ha estat interpretada com inflexions per sobre d'un encavalcament intra-Keuper (ECB) que s'entroncaria amb l'encavalcament d'Erdo-Castellgermà pocs metres per sota de la superfície topogràfica. La làmina de Castellgermà està afectada per una falla transversal, subvertical i de direcció NW-SE que fa baixar el bloc sud 110m, i que he interpretat com una estructura de col·lapse per contrast amb l'apilament de Sta. Bàrbara – Erdo, que fa una culminació a menys de 1000m a l'est del tall. La rotació del relleu estructural que representa aquest apilament hauria causat la formació d'aquesta falla per acomodar la deformació diferencial. Al nord d'aquesta falla l'encavalcament de Castellgermà està lleugerament inclinat cap a l'avantpaís (10°-20°) i al sud augmenta la seva inclinació fins als 45° en la rampa de bloc superior del Buntsandstein. El *cutoff* de la base del Triàsic, on el Buntsandstein està invertit, es pot projectar a una cota de 500m.

Al sud aflora la làmina de Serra Faiada (USC), que està separada del Keuper de l'escata de Castellgermà per un contacte sostractiu poc inclinat, interpretat com a un encavalcament vergent cap al sud (Garcia Senz, 2002). El bloc superior d'aquest encavalcament incorpora el Juràssic i el Cretaci inferior, que presenten plects previs al funcionament de l'encavalcament de Serra Faiada, que els talla i posa en contacte qualsevol formació del Juràssic i Cretaci amb el Keuper. Els afloraments més representatius d'aquesta relació estructural entre el Keuper de la zona de les Nogueres i la làmina de Serra Faiada es troben a la finestra de Viu (fig. 4.24 A), al sud-oest del tall, on s'evidencia la deformació polifàsica que ha experimentat la USC en el seu marge nord.

La conca de Senterada és el darrer registre de l'evolució tectònica d'aquesta transversal. En concret els conglomerats terciaris representats en aquest tall defineixen el marge occidental de l'esmentada conca, que està separada de la part oriental degut a l'encaixament recent de la vall del riu Bòssia. El tall travessa les tres formacions conglomeràtiques de l'Eocè superior (?) - Oligocè distingides a la zona (Grup de Sarroca (Saura, 2000) i al·logrup de Senterada i Antist (Mellere i Marzo, 1992)), en una sèrie ascendent de sud a nord, en la que cada formació es disposa en *onlap* sobre la anterior o el substrat, que està format al sud per la USC i al nord per les escates de les Nogueres. L'evolució tecto-sedimentària d'aquests conglomerats està registrada per diverses estructures de deformació que generen relacions angulars a l'interior de les formació conglomeràtiques, o entre elles i el substrat, que requereixen una anàlisi detallada (apartat 4.1 d'aquest capítol). Tot i així, s'introdueix aquí una descripció de les estructures presents al tall 4 (fig. 4.21), entre les que destaco les discordances amb *onlap* entre cada formació, i els encavalcaments tardans d'alt angle que afecten la làmina de Serra Faiada i el grup de Sarroca.

El grup de Sarroca (pot. màx. 260m), fa *onlap* sobre la USC al marge sud de la cubeta i al nord està limitat per un encavalcament d'alt angle (ET1) vergent al sud. El salt d'aquest encavalcament és d'uns 500m (fig. 4.24 **B**). L'al·logrup de Senterada (370m, pot. màx.) es disposa en *onlap* cap al sud cobrint el grup de Sarroca i el Cretaci inferior de la làmina de Serra Faiada. Aquest al·logrup també fossilitza l'encavalcament ET1 al coll de Perves (800m a l'oest del tall) i dos encavalcaments tardans més que afecten la USC (ET2 – 70m; ET3 – 35m). La lleugera inclinació cap al nord d'aquesta formació defineix el flanc sud d'un sinclinal lax, amb el flanc nord erosionat per la base de l'al·logrup d'Antist (450m, pot. mín.) que representa la formació més moderna de la zona i es disposa en *onlap* cap al nord sobre la làmina de Castellgermà.



Fig. 4.24.- **A.**- Imatge de la finestra tectònica de Viu on s'observa un plec anticlinal que afecta els carbonats del Cretaci inferior (relleus topogràfics al fons) tallat per una superfície horitzontal que reposa sobre el Keuper (prats en primer terme). **B.**- Aflorament al sud-est de Xerallo on conglomerats del grup de Sarroca (dreta-inferior) són encavalcats pel Juràssic de la USC (esquerra-superior).

La translació mínima de la pin-line caudal és de 8200m. Cal tenir en compte però que en aquesta transversal part de l'escurçament és acomodat per estructures vergents al nord.

#### 4.1.7 Transversal de Sta. Bàrbara (tall 5)

Aquest tall transcorre per la carena que baixa de la Serra de Castellnou i passa pel Tossal del Portell, Sta. Bàrbara, l'indret de la Bastida de Bellera, i finalment fins a la vall del riu Bòssia (fig. 4.20, 4.25 i 4.27). El seu traçat creua la làmina d'Erta i la fossa d'Erill Castell, l'apilament de Sta. Bàrbara – Erdo, la conca terciària de Senterada i el límit oriental de la làmina de Serra Faiada (no representada en el mapa de la figura 4.20)

En aquesta transversal he elaborat dos talls geològics diferents. El primer (tall 5 versió A, fig. 4.25) està restituint geomètricament pel mètode de preservació de la longitud de les capes i correspon al Perfil V-V' del meu treball de recerca (Saura, 2000), al que he introduït algunes correccions a partir de la informació obtinguda mitjançant la restitució per FSU (veure apartat 5.2.2). El segon (tall 5 versió B, fig. 4.27) l'he restituint cinemàticament, utilitzant l'algoritme FPF del programa 2DMove. Tal com ja he fet amb el tall 3, les característiques litològiques i geomètriques d'aquesta transversal seran descrites a partir del tall compensat geomètricament, i només especificaré aquells aspectes del tall compensat cinemàticament que es diferenciïn significativament del primer.

#### *Tall actual i restitució geomètrica de la transversal de Sta. Bàrbara*

La làmina encavalcant d'Erta incorpora en el sòcol les formacions devonians de Rueda i Baciver (D1, àrea de subfàcies Sierra Negra *s.l.*). Per sobre de la discordança post-herciniana aflora la seqüència estefano-permiana de la fossa d'Erill Castell. A la base, la formació Guiró té la potència màxima de tota la conca, amb un gruix aproximat de 250m (fig. 2.4). En discordança angular sobre la formació conglomeràtica aflora una successió pròxima als 290m de potència de la formació Erill Castell. A l'oest d'aquest tall les capes de la formació Peranera es disposen subparal·leles a les formacions subjacents, en canvi en aquesta transversal, a més d'això, es pot observar en els afloraments més septentrionals, com aquests sediments jauen en discordança angular sobre de la formació Erill Castell, i malgrat no aflorar, es pot assumir per criteris geomètrics que també ho van fer sobre la formació Guiró (fig. 4.25 **B**). El significat d'aquesta disposició es discutirà l'apartat 4.1.9.

La discordança basal triàsica de l'escata d'Erta aflora repetidament com a conseqüència dels retroencavalcaments paral·lels a les capes estefano-permianes que afecten la conca d'Erill Castell, tal com passa en la transversal de Manyanet. Malgrat que en la línia del tall el Buntsandstein, amb una potència mitja de 200m, reposa sempre sobre la formació Peranera, en els afloraments septentrionals de la base del Triàsic la seqüència permiana subjacent és molt poc potent (>50m) i s'observa en localitats pròximes com els

### Tall 5 versió A

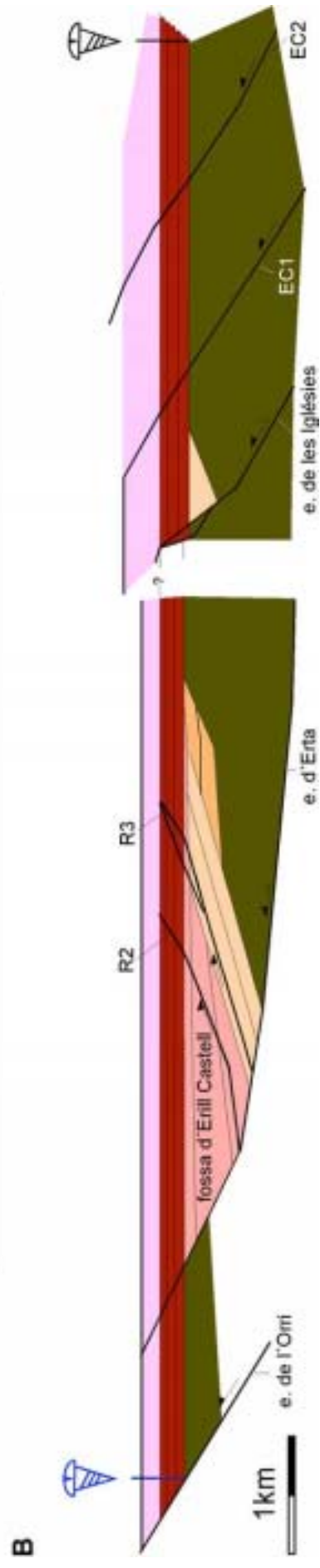
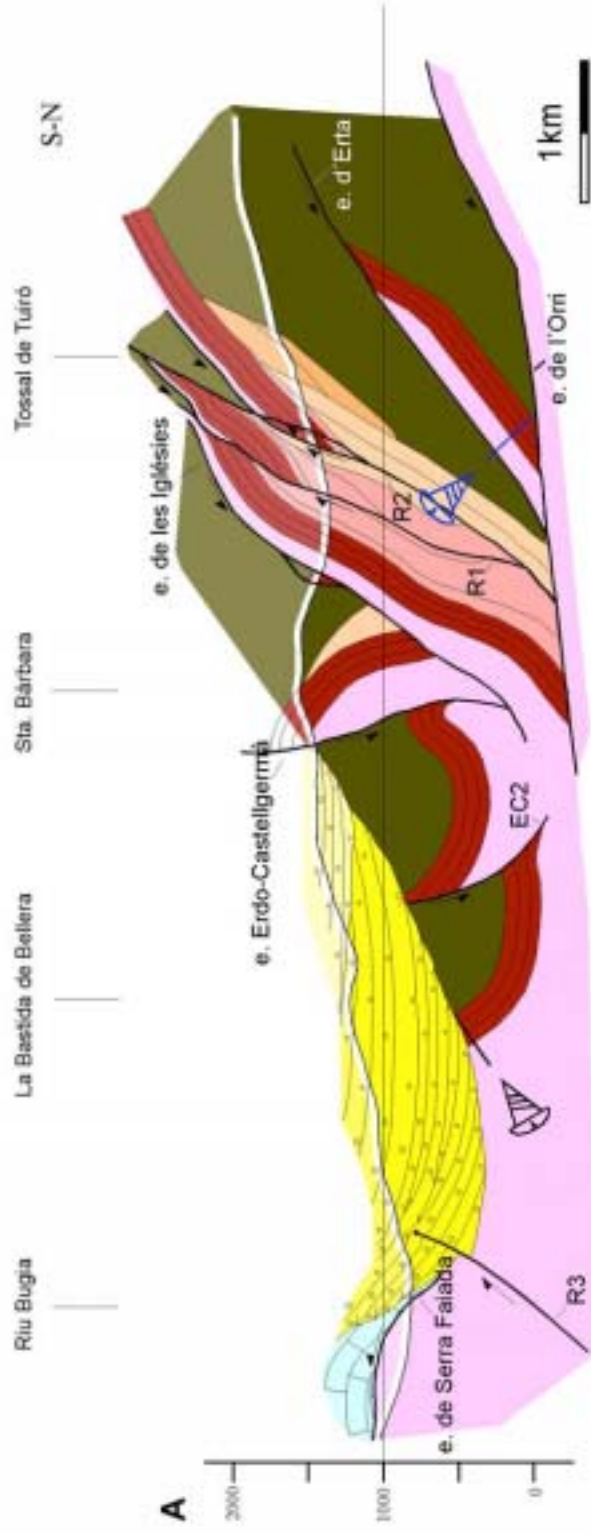


Fig. 4.25.- (pàg. 125) Tall geològic de la transversal de Sta. Bàrbara restituint per LLU (tall 5 a la figura 4.20). Llegenda de colors a la figura 4.4.

conglomerats basals del Buntsandstein estan directament sobre la formació Erill Castell. El Keuper de l'escata d'Erta té una potència mínima de 120m al sud del Tossal del Portell, però no aflora en les repeticions associades als retroencavalcaments.

L'encavalcament d'Erta es presenta poc inclinat cap al sud (25° aprox.) i aflora aproximadament dos quilòmetres al nord del tall a una cota de 1500m (Mey, 1968). El traçat d'aquest encavalcament es pot seguir cap a l'est fins la vall del Flamicell on arriba a una cota mínima de 1000m. El sòcol de la làmina de l'Orri presenta formacions devonians més altes en la sèrie de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* que les que es troben al mantell d'Erta (Mey, 1968; Poblet, 1991; Saura, 2000). Aquesta relació estratigràfica, juntament amb l'absència d'afloraments de roques del Paleozoic superior, reforça la interpretació de l'encavalcament d'Erta com una estructura que inverteix una falla extensiva estefano-permiana que a la seva vegada havia invertit un encavalcament hercinià. En profunditat l'encavalcament d'Erta ha d'entroncar-se frontalment amb l'encavalcament de l'Orri, amb el *cutoff* de bloc superior del Buntsandstein per sota de -200m.

El *cutoff* de bloc inferior de la base del Buntsandstein en l'encavalcament d'Erta l'he dibuixat lleugerament per sobre dels 1000m i la seva geometria en l'escata de l'Orri ha estat construïda utilitzant l'algoritme FSU amb el traçat de l'encavalcament d'Erta per constrènyer-la. D'aquí el fet que no conservi la potència constant i es trobi en una cota més alta que en els altres talls. Per tant, la ubicació de la base del Buntsandstein permet calcular el valor màxim del salt cap al sud de l'encavalcament d'Erta, que és proper a 4500m, tenint en compte que la seva superfície ha estat parcialment utilitzada per la faixa de retroencavalcaments de St. Quiri.

Aquest tall presenta dos retroencavalcaments afectant la fossa d'Erill Castell, que s'entronquen a la base en l'encavalcament d'Erta. El més meridional (R1) es troba intercalat en la formació Peranera i s'uneix lateralment a R2 dos quilòmetres a l'oest del tall. Allà on aflora, R1 és subparal·lel a l'estratificació estefano-permiana del bloc superior, però forma una rampa en el bloc inferior com a conseqüència de la discordança progressiva interna que presenta formació Peranera. El salt cap al nord d'aquest retroencavalcament és de 440m. El segon retroencavalcament (R2) és paral·lel a l'estratificació de la formació Erill Castell i té un salt cap al nord de 830m. Aquest valor implica que l'entroncament basal de R1 ha d'estar en el bloc superior de R2, uns 200m per sobre de l'encavalcament d'Erta. A la superfície topogràfica, R2 mostra un petit *horse* amb un salt de 85m, i en el bloc inferior s'observa la discordança angular entre les formacions Erill Castell i Peranera (fig. 4.25).

Sobre el Keuper de la làmina d'Erta aflora l'encavalcament de les Iglésies (Saura, 2000), que és l'encavalcament basal de la zona de les Nogueres en aquesta regió. Directament a sobre hi ha la làmina encavalcant de Sta. Bàrbara (fig. 4.26), que incorpora el Devonià de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* (formacions Rueda, Baciver i Fontjanina), cobert per capes invertides de la formació d'Erill Castell amb una potència que augmenta en profunditat, sota el Buntsandstein discordant i fortament invertit. El Keuper



d'aquesta làmina també està invertit en superfície, però es verticalitza en profunditat com es pot veure tant a l'est com a l'oest del tall.

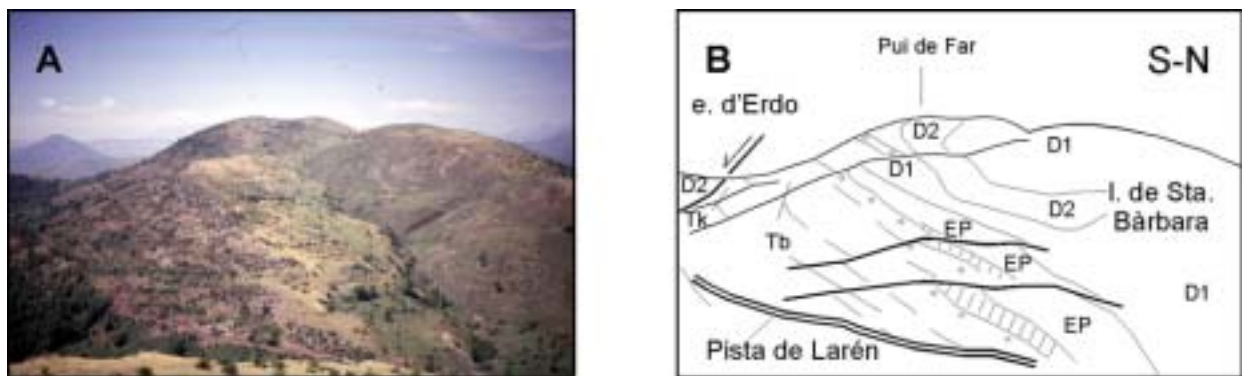


Fig. 4.26.- Aspecte al camp de la làmina encavalcant de Sta. Bàrbara. A.- Vista de la part oest de la làmina encavalcant des del cim de Sta. Bàrbara (Pui de Far). B.- Representació esquemàtica de l'estructura de la fotografia. L'encavalcament basal de la làmina es troba al nord de la fotografia. D1.- fm. Baciver; D2.- fm. Fontjanina; EP.- fm. Erill Castell. Tb.- Buntsandstein; Tk.- Keuper. Les franges marcades amb ratlles obliqües corresponen a zones on el pendent topogràfic coincideix amb la base invertida del Buntsandstein.

A la línia del tall, aflora un *horse* amb Buntsandstein i Devonià que més a l'oest es duplica. Aquesta estructura també la he interpretat com a un *short cut* tardà de bloc inferior, i suposa que l'encavalcament de les Iglésies inverteix una falla estefaniana contemporània a la formació Erill Castell. Per altra banda, la desaparició per bisellament sota la base del Buntsandstein de la formació Erill Castell permet situar l'arrelament de l'encavalcament de les Iglésies al nord del Tossal Tuiró com a mínim (fig. 4.25). En funció d'aquesta reconstrucció, el salt cap al sud de l'encavalcament de les Iglésies i els seus *horses* basals ha de ser de 4km com a mínim. Com en els casos anteriors el salt total dependrà d'on s'arreli aquesta estructura dins de la Zona Axial.

Pocs metres al sud de la base del Keuper aflora l'encavalcament d'Erdo, que està fossilitzat des d'aquest punt cap a l'oest i cap al sud per la conca terciària de Senterada. Aquest encavalcament està invertit (77° cap al nord) i desarrelat, però l'orientació del Triàsic de la làmina de Sta. Bàrbara al nord permet situar el *cutoff* de bloc inferior del Buntsandstein pocs metres per sobre de la superfície topogràfica. Per projecció dels afloraments de l'oest de la conca de Senterada s'ha dividit la làmina encavalcant d'Erdo en dues escates: 1) escata inferior d'Erdo, situada directament sobre l'encavalcament d'Erdo (EC1), i 2) escata superior d'Erdo, sobre l'encavalcament EC2 (fig. 4.25).

L'escata inferior d'Erdo inclou el sòcol hercinià de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.* (Silurià i Devonià, principalment D2; Mey, 1968; Saura, 2000) i la cobertura triàsica amb un gruix deduït per al Buntsandstein de 240m. En la continuació occidental d'aquesta escata aflora una zona amb repeticions tectòniques d'ordre menor (subunitat dels Tossalets; Saura, 2000), la més baixa de les quals presenta sota la base del Buntsandstein una successió molt reduïda de la formació Peranera (<20m; Saura, 2000). L'encavalcament d'Erdo es disposa en replà de bloc inferior sobre el Keuper de la làmina de Sta. Bàrbara i



s'entronca frontalment (en posició capgirada), per sota la superfície del terreny. La continuació cap a l'est d'aquest encavalcament no és evident ja que està cobert per la conca de Senterada, però per la seva posició i orientació es pot correlacionar amb l'encavalcament basal de la làmina de Castells, tot i que no es pot precisar si són la mateixa escata o si existeix alguna rampa lateral entre aquestes estructures. El salt mínim cap al sud calculat per l'encavalcament d'Erdo és d'uns 1000m.

L'escata superior d'Erdo, en els afloraments de l'oest del conglomerats terciaris, presenta els mateixos materials que la làmina inferior i una estructura similar. El seu encavalcament basal és subvertical i la seva projecció en el tall s'ha fet mantenint la direcció que té en desaparèixer sota els conglomerats, al sud de Sta. Coloma d'Erdo. El salt mínim cap al sud deduït per aquest encavalcament és de 775m.

La conca de Senterada presenta en aquest tall els al·logrup de Senterada i Antist disposats en *onlap* cap al nord sobre les escates de la zona de les Nogueres, escalant un paleorelleu amb un desnivell superior als 1000m. L'al·logrup de Senterada (970m, pot. màx.) presenta una discordança progressiva prop de la seva base, en la que els nivells inferiors cabussen cap al nord fins a 65°, i els superiors, situats menys de 500m al nord, presenten una disposició subhoritzontal. Més al nord, els conglomerats es troben suaument inclinats cap al sud al contacte amb les unitats de Nogueres i sota l'al·logrup d'Antist. Aquesta geometria defineix un sinclinal lax, que se superposa a la morfologia en paleovall del dipòsit, i que representa una manifestació de l'escurçament tectònic que encara es produïa en aquesta zona durant la sedimentació de l'al·logrup. La base de la conca de Senterada està afectada pel retroencavalcament R1 (Retroencavalcament de Senterada; Mellere i Marzo, 1992). Aquest retroencavalcament aflora a la vall del Flamicell on superposa el Keuper a uns conglomerats inclinats cap al nord. El seu traçat es pot seguir cap a l'oest, on esdevé intra-conglomeràtic i posteriorment és fossilitzat pels conglomerats més alts de l'al·logrup de Senterada.

Per sobre de l'al·logrup de Senterada reposa en discordança angular l'al·logrup d'Antist, que presenta l'estratificació orientada subhoritzontalment, tot i que a la base s'ha observat capes amb inclinacions més elevades (<25°), que probablement representen les últimes manifestacions de la deformació alpina en aquesta zona.

Al sud de la conca de Senterada aflora l'extrem oriental de la làmina de Serra Faiada. L'encavalcament de Serra Faiada dibuixa un anticlinal associat a l'etapa de deformació que afecta l'al·logrup de Senterada, i la part de la làmina de Serra Faiada que es troba per sota de la superfície en el tall correspon al flanc nord d'aquest plec. L'anàlisi i discussió de l'evolució d'aquesta làmina i la seva relació amb els conglomerats terciaris i la zona de les Nogueres seran presentats àmpliament als apartats 4.4.1 i 4.4.2 d'aquest capítol.

La translació mínima de la *pin-line* caudal d'aquesta transversal és de 13 km. Cal tenir en compte que els retroencavalcaments representen una translació cap al nord de 600m.

### *Restitució cinemàtica de la transversal de Sta. Bàrbara*

La restitució cinemàtica del tall 5 (restitució FPF) va des del bloc superior de l'encavalcament EC2 fins al bloc superior de l'encavalcament d'Erta (fig. 4.27) seguint el procés descrit en la figura 5.59 (pàg. 314), és

### Tall 5 versió B

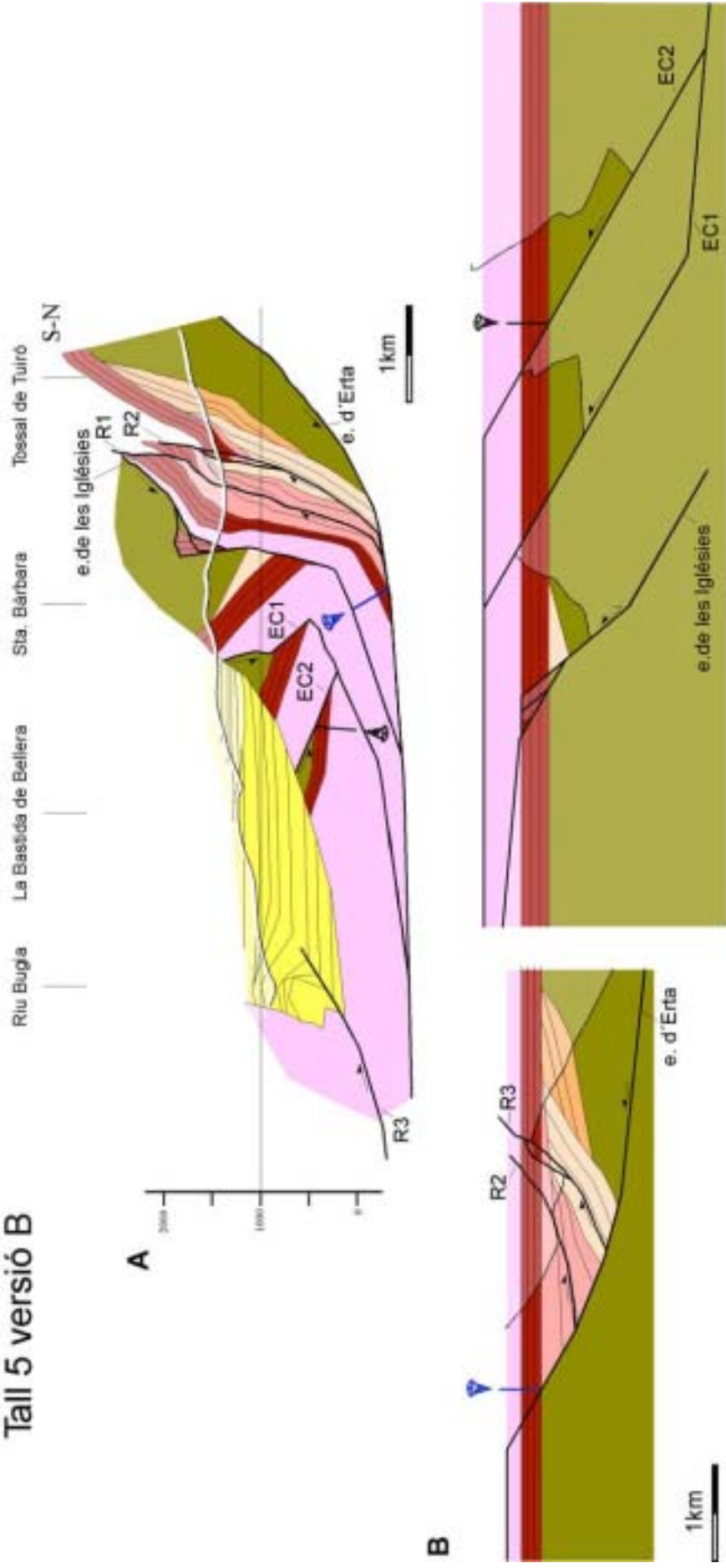


Fig. 4.27.- (pàg 129) Tall geològic de la transversal de Sta. Bàrbara restituint cinemàticament (Tall 5 a la figura 4.20). Llegenda de colors a la figura 4.4.

a dir, restituint per separat l'escata d'Erta i les de l'apilament Sta. Bàrbara – Erdo, per minimitzar la deformació que la cisalla angular ( $\lambda$ ) associada a cada làmina encavalcant, produeix a les làmines que té per sobre. Els conglomerats de l'al·logrup de Senterada han estat dibuixats utilitzant l'algoritme FPF en avanç.

La taula 4.3 mostra les dades de transport, cisalla angular i escurçament deduïts per FPF i el valor del transport calculat per al mateix encavalcament en la restitució LLU. Els valors de cisalla angular tenen la mateixa vergència que l'estructura a la que estan associats.

La restitució cinemàtica s'ha dividit en dues parts. La primera inclou l'encavalcament d'Erta i els retroencavalcaments de la faixa de St. Quiri. La segona inclou les làmines de l'apilament Sta. Bàrbara - Erdo. En el procés de restitució no s'ha tingut en compte les relacions amb el bloc inferior de l'encavalcament d'Erta i el *horse* basal de l'apilament Sta. Bàrbara - Erdo i per això els seus valors són inferiors als de la restitució LLU. De totes formes aquesta diferència és una qüestió procedimental, i la utilització dels valors deduïts a partir de la restitució LLU no canvia el resultat final de la restitució cinemàtica. En canvi, també es pot observar com els valors de transport deduïts cinemàticament per a la resta d'encavalcaments es distancien dels valors deduïts geomètricament quan augmenta el nombre d'estructures que tenen per sota. Això és degut a que els valors de  $\lambda$  de les estructures subjacents (posteriors en el temps), deduïts a partir dels angles de rampa en la restitució i els cabussaments actuals, representen una deformació superposada que genera canvis de longitud de les línies que té per sobre, i per tant, els valors inicials de transport corresponen als valors necessaris per generar una geometria com la que s'observa al camp, amb longituds finals equivalents a les representades a la restitució LLU. Per tant, quan més alta en l'apilament sigui una escata, menys precisos són els valors deduïts per FPF. Tot i així, els valors finals d'escurçament horitzontal són pràcticament idèntics.

	Restitució FPF		Restitució LLU
	Desp.(m)	$\lambda$ (°)#	Desp. (m)
e. d'Erta	3700	0	4490m
R1	410	10	440m
R2A	560	10	830m
R2B	140	10	85m
H2	2424	30	2790m
H1	80	30	50m
Les Iglésies	1160	53	1190m
EC1	1500	50	975m
EC2	2500	40	775m
$X_0$ (min)	9334m		9335m
$X_f$	-1463m		-1392m

Taula 4.3.- Comparació dels valors de desplaçament dels encavalcaments de les restitucions cinemàtica (FPF) i geomètrica (LLU). Desp.- Desplaçament.  $\lambda$ - Cisalla angular. Els valors  $X_0$  i  $X_f$  estan mesurats de la mateixa forma que en la taula 4.1. prenent la *pin line* del *cutoff* de bloc superior de la base del Buntsandstein en l'encavalcament d'Erta com a punt 0, amb els valors positius a la seva dreta. El valor dels encavalcaments d'Erta i H2 en la restitució cinemàtica estan infravalorats (veure text). En aquest cas no és necessària una operació intermèdia entre la modelització dels dos grups.

La figura 4.28 mostra la restitució FPF abans de completar-la amb la conca de Senterada. Aquesta figura permet veure altres diferències respecte a la restitució LLU en la zona que actualment ocupen els conglomerats terciaris. Tot i que els *cutoffs* de bloc superior del Buntsandstein de les làmines superior i

inferior d'Erdo es troben més o menys en la mateixa situació que en la restitució LLU, la geometria del Triàsic inferior és diferent ja que presenta traçats més rectilinis que no es corresponen amb els anticlinals siniformes que s'observen al camp. A més, l'encavalcament EC2 presenta un plec en la rampa de bloc inferior a nivell del Keuper que té una geometria molt poc realista en aquest context. Per tant, els resultats de la restitució cinemàtica indiquen que la validació és possible fins a l'encavalcament EC1, però per sobre d'aquesta estructura, els resultats s'han de prendre més com una dada orientativa.

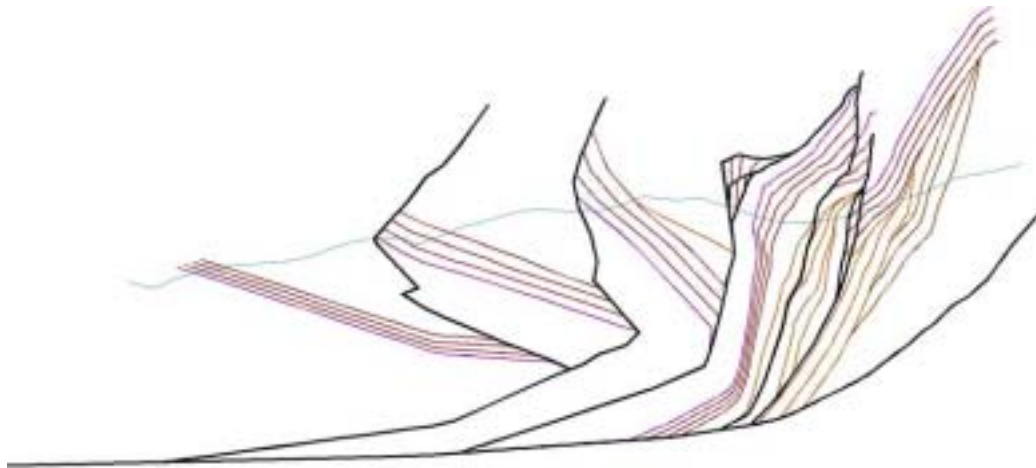


Fig. 4.28.- Reproducció del tall 5 restituït cinemàticament sense els conglomerats terciaris.

La superposició de les dues restitucions de la làmina d'Erta (fig. 4.29) mostra que les principals diferències entre un i altre model són la inclinació de l'encavalcament d'Erta i el gruix del Buntsandstein per sota de la topografia que experimenta un aprimament que té el mateix origen que el descrit en el tall 3B (restitució cinemàtica de la transversal de Coll de Fades, fig. 4.13). En la transversal de Sta. Bàrbara, com que el desplaçament associat a la faixa de retroencavalcaments de St. Quiri és superior, l'aprimament i augment de longitud del Buntsandstein associat a la inflexió que suposa l'entroncament basal dels retroencavalcaments en l'encavalcament d'Erta afecta una àrea més extensa. Aquesta sobredeformació associada a la superposició de cisalles angulars es tradueix en la restitució en una disminució de la longitud de la fossa d'Erill Castell, associada a un increment dels angles de rampa dels retroencavalcaments.

Al sud del tall, la utilització de l'algoritme FPF per representar l'evolució tecto-sedimentària dels conglomerats requereix la utilització de valors de  $\lambda$  elevats per tal de generar inclinacions en el bloc inferior pròximes a les que s'observen al camp. D'altra banda, com que aquest algoritme no genera deformacions en els blocs inferiors, no és possible reproduir el sinclinal que afecta l'al·logrup de Senterada utilitzant la modelització en avanç. Per tant, la inclinació cap al sud de les capes del límit nord de la conca de Senterada no és resultat de la modelització, sinó que ha estat introduïda en origen. En vista dels resultats, la tècnica de restitució cinemàtica no és tan útil per a validar aquest tall com la restitució que es pot fer geomètricament.

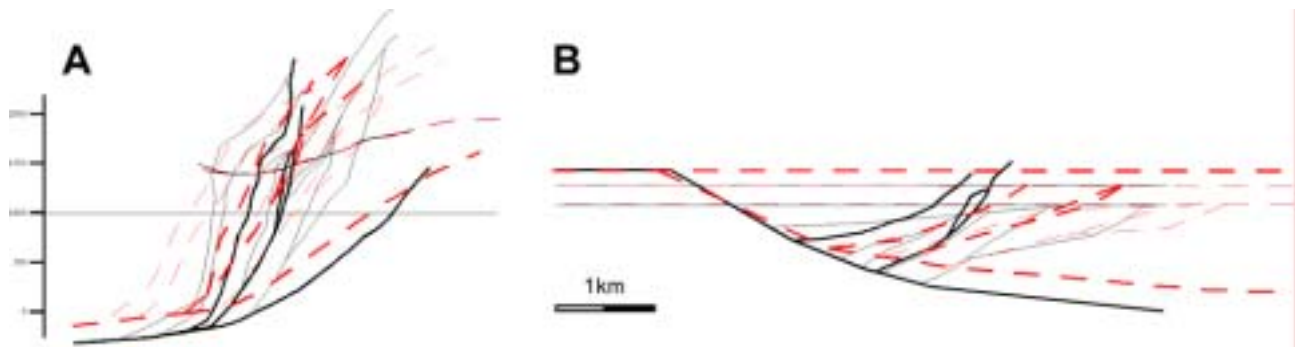


Fig. 4.29.- Superposició del talls actuals (A) i de les restitucions (B) obtinguts per LLU i FPF. Vermell – restitució LLU; Negre – restitució FPF. L'aprimament i elongació que experimenta el Buntsandstein per sota de la topografia en la restitució cinemàtica es tradueix en una disminució de la longitud de la conca en la restitució, associat a una major inclinació dels retroencavalcaments.

#### 4.1.8 Relació entre l'escata d'Erta i l'apilament de Sta. Bàrbara i Erdo

La relació entre la làmina encavalcant d'Erta i les escates de la zona de les Nogueres a la meitat est del sector occidental (fig. 4.20) és molt similar a la descrita per a la zona de l'escata de Gotarta, però està molt condicionada per l'evolució de la deformació de l'escata d'Erta i la conca d'Erill Castell - Guiró, que augmenta significativament el seu volum entre les transversals de la Costera i Sta. Bàrbara, i torna a disminuir a l'est d'aquest tall. L'estil estructural d'aquesta zona està marcat per les estructures d'inversió de la conca d'Erill Castell, i per un augment considerable del transport cap al sud associat a l'encavalcament d'Erta, conseqüència de la mateixa variació del gruix de la conca estefano-permiana.

Tal com passava a la part occidental d'aquest sector, l'encavalcament d'Erta aflora inclinat cap a l'avantpaís al nord de la zona d'estudi on superposa el seu sòcol al del mantell de l'Orri. En els dos casos el sòcol hercinià està format per formacions devonianes de l'àrea de subfàcies de Sierra Negra *s.l.*, amb una estructura herciniana complexa, però normalment les formacions del bloc superior són més antigues que les del bloc inferior (Poblet, 1991; Mey, 1968; Zwart i Roberty, 1976), fet que confirma que en aquest sector la falla meridional associada a la conca d'Erill Castell va invertir negativament un encavalcament hercinià. A més, al límit oriental d'aquest sector la làmina d'Erta s'aprima molt, de tal forma que el seu encavalcament basal aflora amb una inclinació cap al sud superior als 60° a la vall del Flamicell, aproximadament un quilòmetre al nord de la Plana de Mont-rós. En aquesta zona la làmina encavalcant d'Erta té un gruix aproximat de 600 m i un dels retroencavalcaments de la franja de St. Quiri s'entronca lateralment en l'encavalcament basal d'aquesta escata, que pot haver estat reactivat com a superfície lliscament. A la vall del Flamicell, el bloc superior de l'encavalcament d'Erta està format per roques de les formacions Rueda, Baciver i Manyanet, i el bloc inferior per un gruix elevat de pissarres de la formació Civis, i no afluïren en cap punt sediments estefano-permians.

La cota més baixa a la que aflora l'encavalcament d'Erta és a 1000m, indicant que el *cutoff* de bloc inferior de la base del Buntsandstein no retrocedeix entre aquesta vall i la de la Noguera de Tor, i per tant l'augment de l'escurçament horitzontal associat a l'encavalcament d'Erta ha de generar una disminució de

l'escurçament associat a algun altre dels encavalcaments d'aquesta zona. Probablement el mateix encavalcament de l'Orri sigui l'estructura que disminueix el seu transport associat, ja que les unitats de la zona de les Nogueres continuen representant un escurçament elevat.

Pel que fa a l'estructura de rebliment de la conca d'Erill Castell, la desaparició per bisellament lateral de la formació Malpàs i el desenvolupament de la discordança intraconca que posa en contacte la formació Peranera amb les formació Erill Castell i Guiró en la transversal de Sta. Bàrbara indiquen una migració oriental del depocentre de la conca estefano-permiana, i per tant, és probable que la falla associada a aquesta conca tingués alguna component direccional dextra. Malgrat això, la continuïtat estratigràfica que presenta la seqüència estefano-permiana de base a sostre (les capes només canvien la seva direcció en les proximitats dels retroencavalcaments) suggereix que la component principal del desplaçament de la falla principal era normal.

L'encavalcament basal de les la zona de les Nogueres (e. de les Iglésies) es troba en replà de bloc inferior uns 200m per damunt del sostre del Buntsandstein d'aquesta làmina. En la reconstrucció tridimensional (fig. 4.30) s'observa el paral·lelisme entre el sostre del Buntsandstein i l'encavalcament de les Iglésies que dibuixen un anticlinal de rampa que s'observa al llarg de tota la zona. Aquesta relació mostra com l'encavalcament d'Erta deforma les escates de la zona de les Nogueres i per tant indica una seqüència de bloc inferior entre aquest dos encavalcaments.

La franja de retroencavalcaments de St. Quiri, que és simultània a l'emplaçament de la làmina d'Erta i segueix l'evolució descrita en l'apartat anterior, també afecta l'encavalcament de les Iglésies. Aquesta relació s'observa al sud de Vilancós (fig. 4.20) i ja ha estat introduïda en descriure la geometria dels talls geològics, i és coherent amb la seqüencialitat entre les làmines d'Erta i Nogueres. Per tant, l'encavalcament de les Iglésies és transportat cap al nord pels retroencavalcaments com una superfície passiva i verticalitzat tant durant la inversió de la conca d'Erill Castell, com durant l'emplaçament dels mantells de l'Orri i Rialp

Pel que fa a l'arrelament de l'encavalcament basal de la zona de les Nogueres la discussió plantejada en discutir el seu arrelament a la part occidental d'aquest sector continua essent la mateixa per aquesta zona. En síntesi, l'arrelament de l'encavalcament d'Erta en l'encavalcament de Sallente continua essent una possibilitat vàlida ja que els criteris geomètrics discutits indiquen que la conca d'Erill Castell - Guiró reactiva un encavalcament hercinià, i l'encavalcament de Sallente és l'estructura encavalcant amb un transport associat més directament correlacionable amb l'encavalcament d'Erta (Poblet, 1991). Aquesta relació implica que l'entroncament basal de l'encavalcament de les Iglésies se situa per sobre de la topografia al nord de la zona descrita en aquest apartat (fig. 4.20).



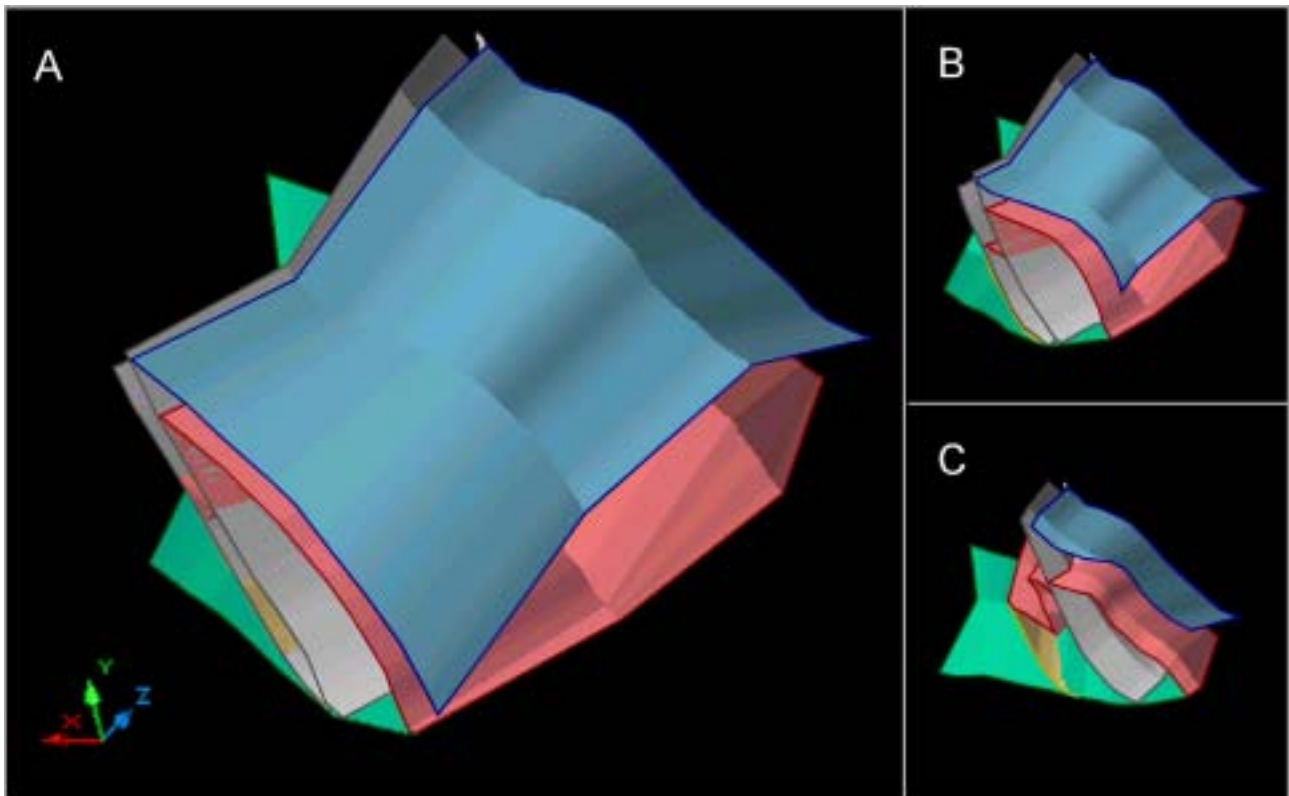


Fig. 4.30.- Reconstrucció tridimensional de l'escata d'Erta i l'encavalcament de les Iglésies. **A.**- Visió isomètrica de la reconstrucció des d'un punt de vista sudoccidental (X = Nord, Z= Est). **B i C.**- Seccions successives de la reconstrucció tridimensional segons un pla vertical N-S. Verd.- encavalcament d'Erta; blau.- encavalcament de les Iglésies; gris.- retroencavalcaments de la franja de St. Quiri; groc.- base de la conca d'Erill Castell – Guiró; rosa.- base del Buntsandstein. S'observa com l'encavalcament de les Iglésies reproduïx l'anticlinal de rampa de la làmina encavalcant d'Erta. Aquesta figura ha estat completada amb els perfils III i V de Saura (2000).

#### 4.1.9 Reconstrucció tridimensional de les làmines de Sta Bàrbara i Erdo

Per sobre de l'encavalcament de les Iglésies, la zona de les Nogueres està definida per una superposició complexa de làmines d'ordre menor, entre les que destaquen l'apilament de Sta. Bàrbara - Erdo i la làmina de Castellgermà. La figura 4.31 mostra una visió frontal de la zona de les Nogueres en l'estadi previ a l'emplaçament de la làmina encavalcant de l'Orri entre la transversal de Coll de Fades i la vall del Flamicell. Aquesta figura permet veure les relacions laterals entre les escates de la zona de les Nogueres, i la deformació que la làmina d'Erta exerceix en aquestes escates, com a conseqüència de l'evolució del gruix lateral de la conca d'Erill Castell – Guiró, que representa un anticlinal de doble xarnera amb orientació N-S.

La làmina de Castellgermà és la més alta, i per tant la més antiga, i reposa directament sobre el Keuper de les escates subjacents, que són la làmina de Gotarta – la Costera, a l'oest, i l'apilament Sta. Bàrbara – Erdo, a l'est. A grans trets l'encavalcament de Castellgermà dibuixa un sinclinal, format per un flanc occidental inclinat cap a l'est i un flanc oriental afectat per una falla normal inclinada cap a l'oest, que representa una estructura transversal d'acomodament del contrast de relleu estructural existent entre la làmina de Castellgermà i l'apilament Sta. Bàrbara – Erdo (2.5km deduïts de relleu estructural). La relació entre aquestes dues làmines implica que la seqüència interna d'emplaçament de les làmines de la zona de les

Nogueres és de bloc inferior, ja que les làmines inferiors deformen les que reposen sobre seu. En conseqüència, la làmina de Castellgermà és la unitat encavalcant més antiga de la zona de les Nogueres, seguida a l'oest per l'escata de Gotarta i a l'est per la làmina superior i inferior d'Erdo, successivament. Per sota d'aquestes escates, les làmines de la Costera (est) i Sta. Bàrbara (oest) són les més antigues de la zona de les Nogueres.

L'encavalcament basal de totes aquestes estructures, al qual s'entronquen frontalment i/o lateral (fig. 4.32) els encavalcaments basals de les escates menors, és l'encavalcament de les Iglésies que a la seva vegada s'entronca lateralment a l'oest amb l'encavalcament de la Costera i a l'est amb l'encavalcament basal de la làmina encavalcant de Freixe (encavalcament de les Nogueres superiors de Muñoz, 1992), que es troba ja en el sector central de la zona d'estudi, i serà analitzat en detall a l'apartat 4.3.

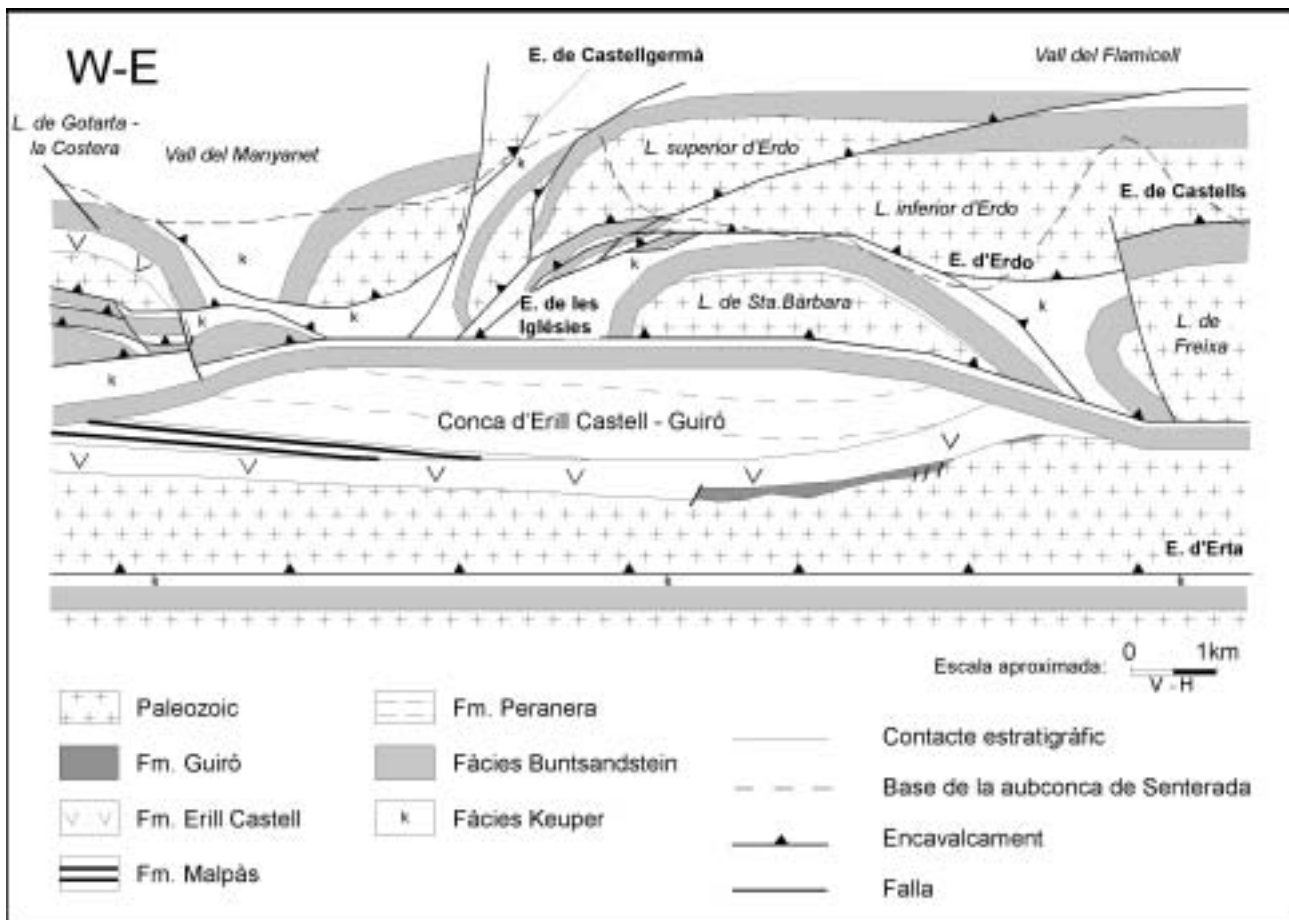


Fig. 4.31.- Secció longitudinal entre les transversals de la Costera i Flamicell, on es mostra una visió frontal de les estructures abans de l'emplaçament de les escates de l'Orri i Rialp (s'omet el desplaçament associat als retroencavalcaments). El gruix de la làmina encavalcant d'Erta està relacionat amb la fossa d'Erill Castell, que presenta una migració cap a l'est del depocentre (Saura 2000, modificat).

La reconstrucció tridimensional de les escates de la zona de les Nogueres ha estat feta en base als talls de les transversals 4 i 5, els perfils III, V i VI de Saura (2000) i completada amb la informació extreta de la cartografia i la figura 4.31.

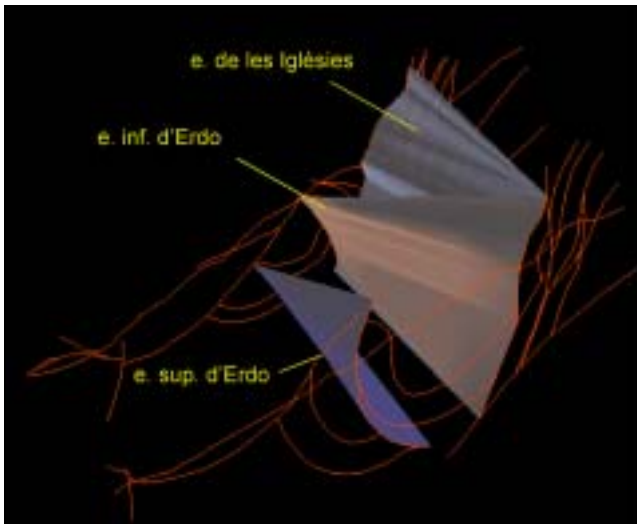


Fig. 4.32.- Visió tridimensional des d'un punt de vista sudoriental de l'entroncament lateral de l'encavalcament inferior d'Erdo en el de les Iglésies a la vall del Flamicell. Noti's el capgirament de l'encavalcament superior d'Erdo. Superfícies construïdes amb el programa GOCAD.

La geometria de l'apilament Sta. Bàrbara - Erdo està definida per l'entroncament lateral, a est i oest, de l'encavalcament inferior d'Erdo en el de les Iglésies, i per la inversió de l'encavalcament superior d'Erdo com a resultat de la deformació generada per l'emplaçament de les escates inferiors d'aquest apilament, seguides per les làmines encavalcants d'Erta, l'Orri i Rialp (fig. 4.32). Aquesta geometria està limitada a l'est per la falla d'acomodament del contrast de relleu estructural entre l'apilament Sta. Bàrbara - Erdo i l'escata de Castellgermà (fig. 4.33), que es troba per sobre de l'encavalcament de les Iglésies i representa la terminació occidental de l'apilament de Sta. Bàrbara - Erdo, i un canvi local de l'estil estructural.

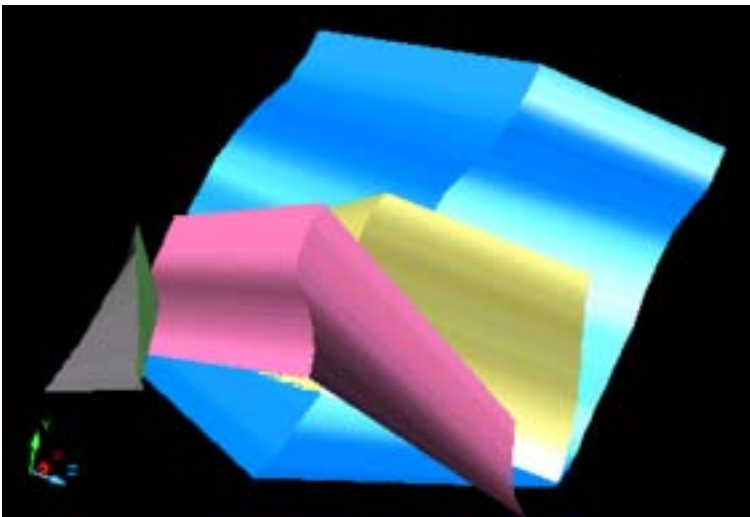


Fig. 4.33.- Visió tridimensional des d'un punt de vista sudoriental dels encavalcaments de la zona de les Nogueres, a l'oest de les representades en la figura 4.32 (X.- nord; Z.- est). Blau.- e. de les Iglésies; groc.- e. inferior d'Erdo; rosa.- e. superior d'Erdo; gris.- e. de Castellgermà; verd.- falla transversal d'acomodament del relleu diferencial. L'emplaçament en seqüència de bloc inferior de les escates de la zona de les Nogueres genera una verticalització i rotació successiva de les estructures més antigues, que arriba a invertir l'encavalcament superior d'Erdo. A l'oest de la falla d'acomodament l'encavalcament de Castellgermà es troba lleugerament inclinat cap a l'avantpaís.

#### 4.1.10 Modelització analògica de sèries discordants i aplicació a la làmina encavalcant d'Erta

La geometria actual de la conca d'Erill Castell - Guiró, caracteritzada per la discordança angular entre les roques estefano-permianes i el Triàsic inferior en fàcies Buntsandstein i per un sistema de

retroencavalcaments paral·lels a l'estratificació, m'han portat a fer una sèrie de models analògics en un dispositiu *sandbox* per entendre la deformació associada a la tectònica d'encavalcaments de sèries angularment discordants. Aquest apartat s'estructura en una primera part d'anàlisi de la cinemàtica de la làmina encavalcant d'Erta, que conté la conca esmentada, seguida d'una segona part d'estudi dels tascons de sorra, i finalment es completa amb la discussió de les implicacions que els resultats del model analògic poden tenir en el cas natural.

### *Anàlisi de la cinemàtica de l'emplaçament de la làmina encavalcant d'Erta*

La faixa de retroencavalcaments de St. Quiri és un element estructural lligat a la inversió tectònica de la fossa d'Erill Castell, i són una de les manifestacions més importants de la variació lateral de la deformació que s'observa a la vora sud de la Zona Axial. La importància dels retroencavalcaments és deguda al fet que configuren una àrea en la que part de l'escurçament és acomodat per estructures vergents al nord, i això es tradueix en una ubicació més septentrional de la culminació frontal dels mantells d'Erta i l'Orri, fet que influeix en el patró cartogràfic actual (per exemple en l'extensió actual dels materials juràssics i cretàtics).

Els retroencavalcaments que afecten la fossa d'Erill Castell són subparal·lels a la seqüència sin-rift, i es localitzen preferentment en els termes inferiors de la sèrie i als contactes entre les formacions, tot i que on la seqüència és més reduïda poden aparèixer a la part alta de la sèrie estefano-permiana. La seva projecció en profunditat condueix a entroncar-los en l'encavalcament d'Erta, la superfície del qual reactiven localment com ja he especificat en la descripció dels talls geològics. L'orientació dels retroencavalcaments es manté més o menys constant en tot el seu recorregut (fig. 4.20). Això implica que siguin subparal·lels a l'estratificació estefano-permiana en la part central de la conca però en arribar als extrems (laterals i verticals) l'angle de rampa augmenta, com a conseqüència de la presència de discordances intraconca. Finalment, en creuar la discordança pre-triàsica l'angle amb l'estratificació és més elevat (fig. 4.11, 4.20, 4.21, 4.25 i 4.34). La posició i orientació dels retroencavalcaments permet atribuir la generació d'aquestes estructures a l'efecte contrafort (*Buttressing effect*; Hayward i Graham, 1989; Gillcris *et al.*, 1989), resultant del contrast reològic existent entre la sèrie estefano-permiana i el sòcol hercinià del bloc inferior de la falla d'Erta. Aquest contrast permet atribuir als retroencavalcaments una seqüència de formació *piggy-back*, ja que el desplaçament encavalcant del bloc superior genera un retrocés relatiu de la seva zona de nucleació (Coward, 1996). Les particularitats de la franja de retroencavalcaments de St. Quiri respecte els models descrits pels autors citats són el baix angle i l'alt grau d'inversió de l'antiga falla d'Erta, a les que s'ha d'afegir fort basculament a la part frontal de l'apilament antiformal de la Zona Axial.

Un segon element de control de la deformació de la fossa d'Erill Castell és l'anisotropia que representa l'estratificació de les sèries estefano-permiana i del Triàsic inferior. Les dues sèries presenten una alternança de nivells competents i incompetents definint una estratigrafia mecànica que afavoreix la deformació per lliscament flexural, i en el cas de la seqüència estefano-permiana això es tradueix en un sistema de plans de

lliscament preferencial que poden controlar la inclinació de les falles si l'orientació del camp d'esforços és l'adequada (Bott, 1959).

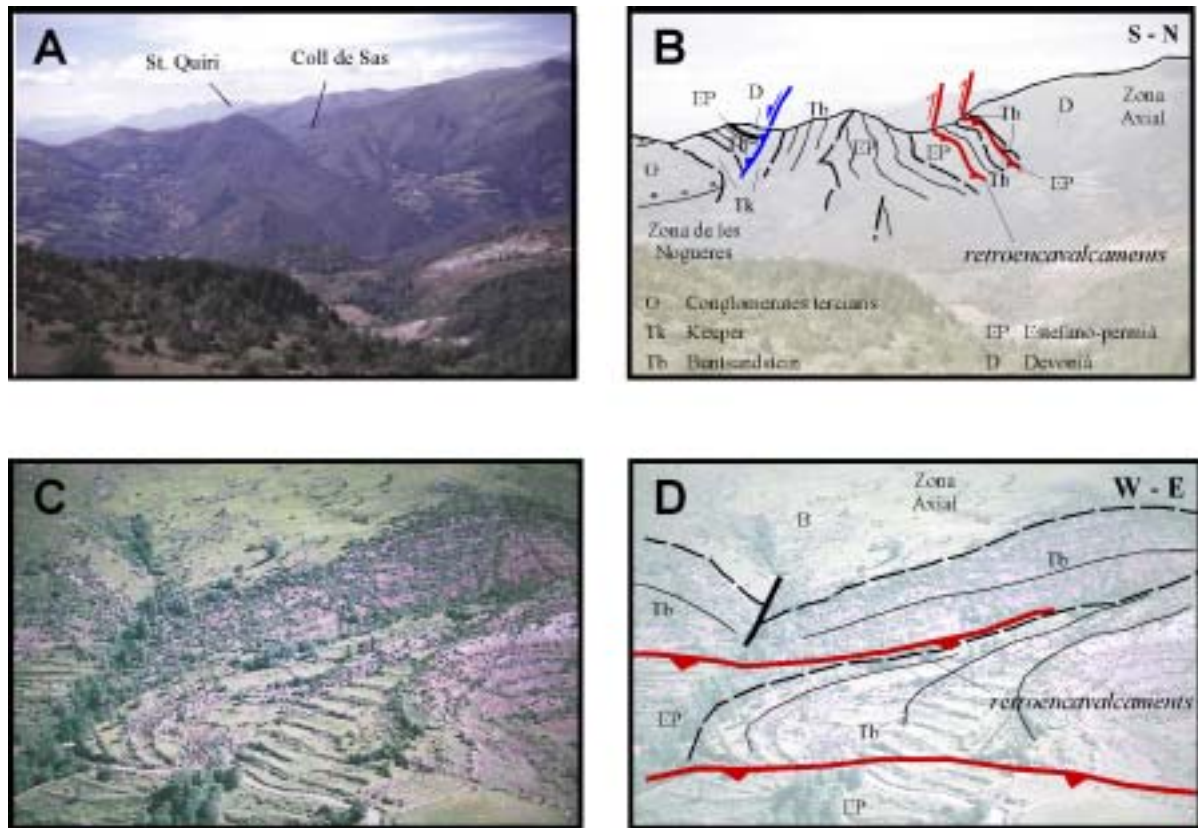


Fig. 4.34.- **A.-** Vista panoràmica del Coll de Sas, entre les transversals de Manyanet i la Costera. **B.-** Interpretació de l'estructura de la fotografia **A**. En blau l'encavalcament basal de la Costera i en vermell dos dels retroencavalcaments de St. Quiri. Els retroencavalcaments es troben a la part basal de la fossa d'Erill Castell i s'observa com es mantenen subparal·lels a l'estratificació estefano-permiana. La discordança pre-triasica passa per l'alt de St. Quiri amb un angle superior als 10°. **C.-** Fotografia del Coll de Sas des del cim de St. Quiri. **D.-** Interpretació de l'estructura de la fotografia **C**. Els retroencavalcaments d'aquesta fotografia són els mateixos de la figura 4.34 **B**. S'observa la rampa de bloc inferior dels retroencavalcaments en creuar el Buntsandstein.

Assumint una deformació per lliscament flexural, l'angle discordant entre les dues sèries genera una *disharmonia* entre les direccions de lliscament que ha de quedar registrada d'alguna manera, sobretot a les proximitats de la superfície de discordança. En l'anàlisi que realitza Alonso (1989) de la reactivació de plects que involucren sèries discordants defineix per als plects formats per lliscament flexural canvis en l'angle de discordança, i activació d'aquesta i de les superfícies estratigràfiques com a plans de lliscament, que permeten l'acomodació de la deformació diferencial. La formació de falles discretes o d'un sistema de lliscament distribuït homogèniament entre diferents superfícies d'estratificació dependrà bàsicament de l'estratigrafia mecànica de cada seqüència. Si bé el cas de la inversió de la conca d'Erill Castell no correspon a la reactivació d'un plec, les principals conclusions aportades per Alonso (1989) són extrapolables a la làmina d'Erta, ja que en els dos casos, la discordança angular és el factor determinant de l'estil tectònic.

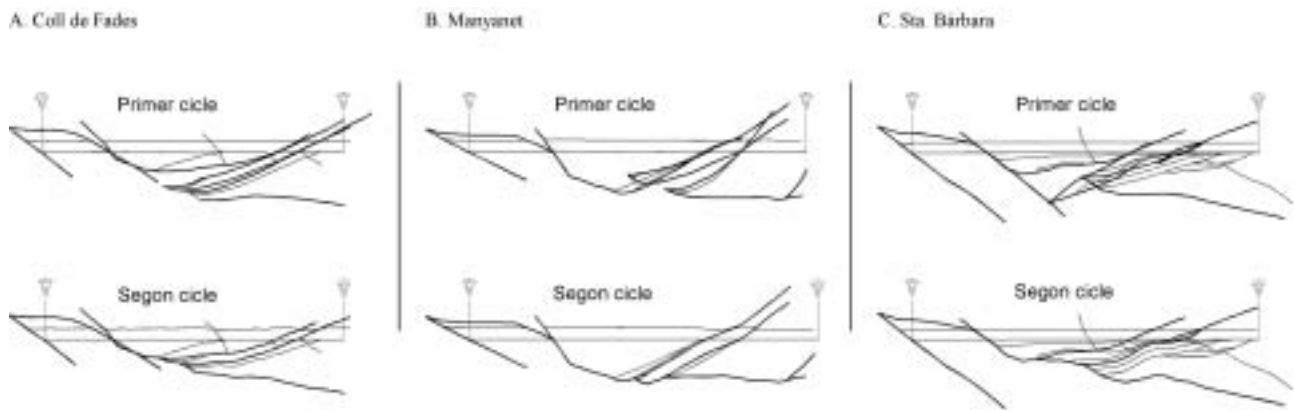


Fig. 4.35.- Restitució amb FSU de la làmina d'Erta en dos cicles de desplegament. El primer cicle no desplega correctament la seqüència estefano-permiana, però el segon cicle resol satisfactòriament aquesta part de l'estructura.

Per entendre millor l'efecte de les dues direccions de lliscament flexural, a sobre i a sota de la discordança, he restituit la làmina d'Erta dels talls de Coll de Fades, Manyanet i Sta. Bàrbara amb l'algoritme *Flexural Slip Unfolding* del 2DMove en dos cicles de desplegament (fig. 4.35), el primer utilitzant un sistema de lliscament paral·lel a l'estratificació del Buntsandstein, i el segon cicle, superposat al primer, amb un sistema paral·lel a la sèrie estefano-permiana (veure apartat 5.2.2). En tots els casos el primer cicle deixa l'estructura mal resolta ja que desplega correctament el Buntsandstein, però els retroencavalcaments paral·lels a l'estratificació estefano-permiana no es restitueixen. El segon cicle completa la restitució ja que desplega correctament la sèrie inclinada sense canviar significativament la geometria del Buntsandstein.

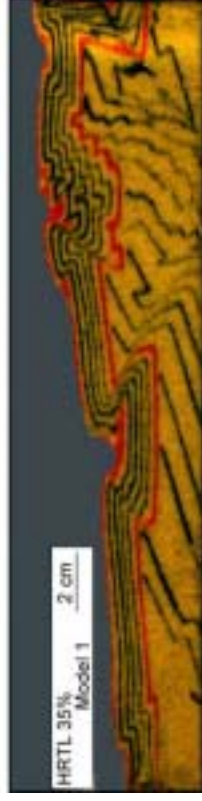
#### *Anàlisi dels models analògics de sèries discordants*

La cinemàtica de la deformació de la conca d'Erill Castell és el punt de partida per al desenvolupament dels models analògics analitzats en aquest apartat. Els detalls de la tècnica de modelització han estat presentats en l'apartat 3.6. En concret, s'estudien tres models de sorra que estan dividits en dues parts: una seqüència inferior amb marcadors inclinats cap al mur frontal estàtic<sup>1</sup>, i una de superior amb els marcadors horitzontals (taula 4.4), separades per una superfície d'erosió horitzontal (discordança angular). Els models 1 i 2 estan construïts només amb sorra i es diferencien entre sí en la inclinació de la seqüència inferior, i en el model 3 s'ha introduït una capa de *glass microbeads* en la seqüència inclinada. Aquests són els primers models amb sèries discordants que han estat mai descrits. L'anàlisi que es presenta en aquesta tesi s'ha d'entendre com a preliminar. De fet s'ha realitzat més models dels que s'ensenyen, que són els més representatius i comparables al cas natural.

<sup>1</sup> A partir d'aquest punt utilitzaré el terme avantpaís enlloc de mur frontal estàtic, i rerepaís enlloc de mur mòbil o *backstop* quan faci referència a la vergència de les estructures de deformació..



**A. Model 1**



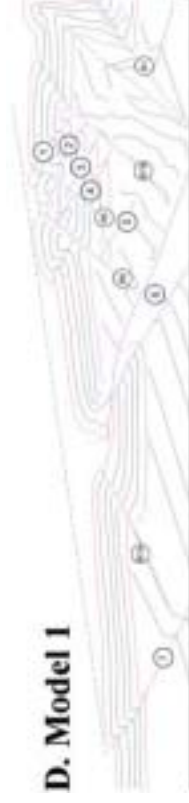
**B. Model 2**



**C. Model 3**



**D. Model 1**



**E. Model 2**



**F. Model 3**

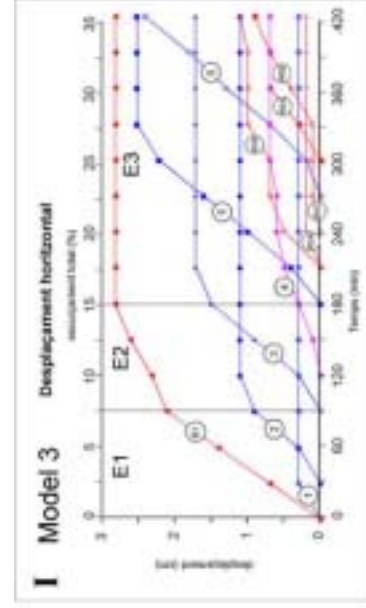
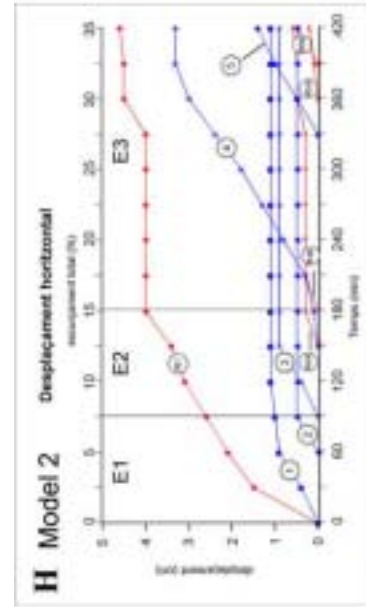
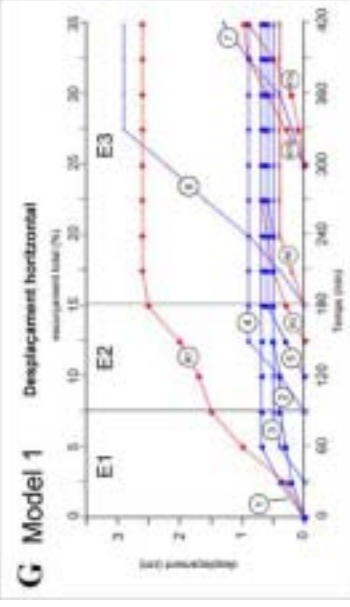
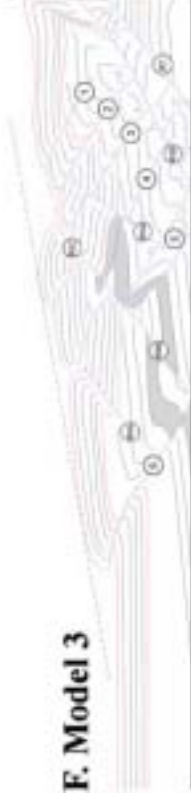


Fig. 4.36.- (pàg. 140) **A, B i C.** Fotografia d'una secció dels models 1, 2 i 3 després d'un escurçament del 35%. **D, E i F.**- Interpretació de l'estructura de les fotografies **A, B i C.** La capa marcada en gris a F correspon a la capa de *glass microbeads*. A les figures **D, E i F** s'indica els encavalcaments vergents a l'avantpaís amb un nombre que correspon al seu ordre en la seqüència de deformació. Els retroencavalcaments s'indiquen amb una R seguida d'un nombre que correspon a l'encavalcament vergent cap a l'avantpaís al qual estan associats en el moment de la seva formació. **G, H i I.** Diagrames que mostren el període d'activitat de cada encavalcament mitjançant el registre de la component horitzontal del salt de cadascun d'ells al llarg del temps. Les línies blaves corresponen als encavalcaments vergents a l'avantpaís i les vermelles als retroencavalcaments. La línia lila del diagrama **I** correspon a un encavalcament vergent a l'avantpaís que presenta una evolució diferent a la resta d'encavalcaments del model (veure text). La notació de les corbes és equivalent a la de les figures **D, E i F.**

	Dimensions del model		Seqüència inferior			Seqüència superior	Eскурçament (compactació)	Nom a la taula 3.2
	Gruix	Long.	Gruix	Incl.	CM	Gruix		
Model 1	2.5 cm	40 cm	1.5 cm	15°	No	1 cm	35 % (11%)	Uncnfmy-Mdl 2
Model 2	2.5 cm	40 cm	1.5 cm	5°	No	1 cm	35 % (9.5%)	Uncnfmy-Mdl 1
Model 3	2.5 cm	40 cm	1.5 cm	5°	Si	1 cm	35 % (8.9%)	Uncnfmy-Mdl 5

Taula 4.4.- Especificacions dels models analògics. CM.- Presència de contrastos mecànics (capa de *glass microbeads*). Long.- longitud. Incl.- inclinació. Els valors de compactació corresponen a la discordança.

Els materials utilitzats per a la construcció dels models tenen un comportament de tipus Mohr-Coulomb, amb diferents angles de fricció, i per tant són bons materials anàlegs per a la modelització de la deformació en l'escorça superior. No obstant, la naturalesa no cohesiva dels models implica que el salt mecànic entre dues capes amb la mateixa composició només es genera per enrasament de les capes i pel canvi de l'angle de fricció interna que la tinta pot generar en la sorra dels marcadors, i per tant no és gaire marcat.

La comparació entre models analògics i casos naturals sempre presenta el problema de l'escalat de les propietats mecàniques. Per exemple, el contrast mecànic entre les capes de l'exemple natural és presumiblement superior que en els models analògics. En aquests l'emplaçament dels encavalcaments s'acomoda per lliscament entre els grans, mentre que en el cas natural es fa per lliscament flexural (lliscament entre capes). Malgrat aquesta diferència, els resultats dels models analògics continuen essent vàlids per a l'anàlisi estructural ja que l'estil de la deformació és pràcticament idèntic.

Un altre aspecte que diferencia l'evolució de la deformació dels models analògics de la del cas natural és la compactació *tectònica* que experimenten els primers. La naturalesa granular dels models fa que l'avanc del front de deformació incrementi l'empaquetament de les partícules (compactació horitzontal) abans del desenvolupament d'estructures de deformació "macroscòpiques". Els valors de compactació total calculats per als models analògics es presenten a la taula 4.4. La compactació no afecta els nivells de *glass microbeads* ja que les partícules que componen aquest material són esfèriques, i per tant presenten un empaquetament màxim des d'origen, i conseqüentment el material és incompressible. El contrast de compressibilitat entre els dos materials utilitzats en el model 3 implica que la compactació que puguin experimentar les capes sorrenques es tradueixi en engruïment de les capes de *glass microbeads*; no obstant la relació entre el volum d'un i altre material minimitza els efectes d'aquest contrast. Tenint tot això en compte procedeix a la descripció i anàlisi dels models analògics.

### Seqüència d'encavalcaments en els tascons de sorra

Els resultats obtinguts després d'un escurçament del 35% (fig. 4.36 **A-F**) mostren variacions estructurals, tot i que la seqüència d'encavalcaments dels models segueix un patró similar (fig. 4.36 **G-I**), amb petites diferències lligades a les característiques geomètriques i composicionals de cada model. Com a norma general es distingeixen en els models tres estadis principals de deformació (E1, E2 i E3, fig. 4.36 **G-I**, taula 4.5), dividides en funció de la localització de la deformació en estructures vergents cap a l'avantpaís o cap al rerepaís.

El primer estadi de deformació (E1) es caracteritza per la formació d'un tascó extrusiu (estructura *pop up*) limitat per un encavalcament i un retroencavalcament (1 i R1 en tots el models). Aquesta estructura està associada al desenvolupament d'un tascó per sota de R1 adossat al *backstop*, que en els estadis subseqüents de deformació actua com un indentador (*indenter*) d'alt angle que avança juntament amb el *backstop* a la base del model. Aquest tipus d'indentadors generen una successió d'encavalcaments amb vergència oposada a R1. Cadascun d'aquest encavalcaments es nuclea a l'entroncament basal de R1 i ràpidament és transportat al llarg de R1, i un nou encavalcament es forma per davant seu. En els models de sorra analitzats aquesta cinemàtica comporta un nombre de repeticions elevat i poc espaiat que, donada la seva edat precoç en l'evolució dels tascons, sol ser distorsionada per les etapes successives de deformació. Aquests encavalcaments es formen inicialment com a *forekinks* (kinks vergents cap a l'avantpaís) que posteriorment experimenten una rotació dels flancs frontals. En síntesi, la característica principal de l'estadi E1 és que la major part de l'escurçament és localitza a R1, és a dir, en una estructura vergent cap al rerepaís.

	Model 1	Model 2	Model 3
E1	1 R1	1 R1	1 R1
	2	2	2
	3		
E2	4 R1	3 R1	3 R1
	5 R5	R4A	4
E3	6 R6	4 R4B	4 R5A
	7 R7A	5 R5A	5 R5b
	R7B	R5B	6 R6A
			R6B R6C

Taula 4.5.- Llistat dels encavalcaments actius dels models en cada una dels tres estadis de deformació. Algunes estructures són actives durant més d'una etapa però només s'han representat en les etapes en les que desenvolupen la major part de la seva activitat, a excepció de R1 en tots els models i l'encavalcament 4 del model 3 que tenen la seva activitat homogeniament distribuïda en dues etapes (veure text).

El segon estadi de deformació (E2) continua estant sota la influència de l'*indenter*, però el desplaçament que acumulen les estructures vergents cap a l'avantpaís és més important. No obstant, aquest estadi és el que presenta diferències més clares entre un i altre model. Els models 1 i 3 experimenten una disminució de l'escurçament associat a R1 que es tradueix en una pèrdua de pendent de la corba de desplaçament de R1 (fig. 4.36 **G, I**). En el model 2 el pendent de la corba pràcticament no canvia (fig. 4.36 **H**) però el desplaçament associat a l'encavalcament actiu en aquesta etapa (3) té un pendent més elevat. L'augment de pendent de la corba R1 dels models 1 i 2 que es dona a un escurçament total entre el 10% i el 15 % és deguda a una reactivació de R1 associada a la formació de noves estructures en posicions més avançades. La característica principal d'E2 és que l'escurçament es distribueix entre les estructures vergents cap a l'avantpaís i cap al rerepaís.

La tercera etapa de deformació (E3) es caracteritza per l'aturada de R1 i el trasllat de la deformació a la part frontal del model. En els tres models, R1 deixa de ser actiu en arribar a un escurçament total del 15%; aleshores adquireixen importància les estructures vergents a l'avantpaís, que acomoden la major part de l'escurçament i estan relacionades només a petits retroencavalcaments. Els encavalcaments vergents a l'avantpaís de l'etapa E3 es formen en seqüència de bloc inferior, com a *forekinks* que posteriorment experimenten rotació i, finalment, trencament donant lloc a una superfície de lliscament discreta. El relleu temporal entre les estructures no és perfecte però es dona en poc temps (fig. 4.36 **G-I**). Els retroencavalcaments es formen simultàniament als encavalcaments vergents a l'avantpaís, en l'entroncament basal, i posteriorment són transportats. Aleshores s'en formen de nous i deixen de ser actius. La raó entre el transport que sofreix un retroencavalcament i el salt propi d'aquest varia entre 4.26 i 2 (R6 i R7A, respectivament, al model 1).

Als estadis finals de la modelització, tots els models experimenten una reactivació de l'escurçament a les proximitats del *backstop*, ja sigui per reactivació de R1, com per la formació d'una nova estructura. Aquesta circumstància indica que el tascó ja ha arribat a la seva inclinació crítica, i per tant l'augment simultani de l'alçada de les parts frontal i posterior del tascó li permet mantenir-la.

Tot i que els tres models segueixen una evolució de la deformació més o menys similar, cada un presenta una sèrie de particularitats que el diferencia dels altres, i que descriu seguidament.

El model 1 és el que presenta menys solapament entre els temps d'activitat dels encavalcaments vergents a l'avantpaís (un interval de mesura de temps com a màxim), i és l'únic en que l'estructura que acumula més escurçament és un encavalcament vergent cap a l'avantpaís (6). Per altra banda, el retroencavalcament tardà associat a l'aixecament de la part posterior del tascó (R7B) és el que està situat més lluny del *backstop*.

El model 2 té una evolució molt similar a la del model 1 però l'estructura que acumula més desplaçament és R1, que a més es reactiva en els estadis tardans de la deformació. Els encavalcaments vergents a l'avantpaís de l'etapa E3 (4 i 5) acumulen un desplaçament equivalent als del model 1 (6 i 7), però el seus períodes de funcionament són més llargs.

El model 3 és el que presenta una seqüència d'emplaçament amb menys solapament, en la que els encavalcament successius són cada vegada més grans i acumulen un escurçament més elevat. El pendent de cada corba de desplaçament (fig. 4.36 I) és constant i subparal·lel a la resta de corbes, indicant que el desplaçament al llarg dels encavalcament es realitza a una velocitat constant. L'encavalcament frontal del tascó (6) és el que acumula més desplaçament (en comparació als encavalcaments frontals dels altres models) i el seu entroncament es localitza al bisellament basal de la capa de *glass microbeads*. L'excepció a seqüència de deformació és l'encavalcament 4. Aquest encavalcament acumula menys desplaçament que els altres, a una velocitat de transport més baixa, i el seu període d'activitat és més llarg i irregular que el dels encavalcaments amb el que és simultani. La seva evolució permet interpretar-lo com una estructura fora de seqüència, i probablement tingui alguna relació amb el fet que el seu traçat passi per la superfície de discordança al bisellament superior de la capa de *glass microbeads*.

Pel que fa als retroencavalcaments, el model 3 és el que acumula més desplaçament cap al rerepaís, amb estructures actives durant un interval llarg de deformació (R5B, R6B). En aquest cas, l'aixecament tardà de la part posterior del model reactiva el retroencavalcament R5B<sup>2</sup>.

### **Característiques dels models de sorra amb discordances angulars**

Per caracteritzar els trets rellevants de l'estructura dels models que fan referència a la presència d'una discordança angular em centraré principalment en els encavalcaments i retroencavalcaments de l'estadi de deformació E3, ja que la superposició de la deformació tardana a les estructures de les fases E1 i E2 emmascaren la geometria de les estructures primàries i en dificulten la interpretació donada la seva escassa continuïtat.

En els tres models, a diferència d'altres models de sorra amb angle de fricció basal elevat descrits en la literatura, destaca el notable desenvolupament de retroencavalcaments, fet que pot atribuir-se a la influència de les capes inclinades cap a l'avantpaís sota la discordança. L'estructura general dels models 1 i 2 és similar malgrat la diferent inclinació de les capes (fig. 4.36 D i E). L'envolupant del tascó té una inclinació inferior als 9° i la localització i orientació de les estructures és pràcticament idèntica. La principal diferència entre aquest dos models es dona en la inclinació dels retroencavalcaments associats a l'encavalcament frontal del tascó (7 – model 1; 6 – model 2). En el model 1, amb la seqüència inferior inclinada 15° cap a l'avantpaís, el retroencavalcament R7 segueix el traçat d'un marcador inclinat (fig. 4.37), indicant que aquest marcador configura una anisotropia efectiva de lliscament. Aquesta estructura no ha estat observada en el model 2, en el que tots els retroencavalcaments es formen amb una inclinació inicial més elevada (40°-50°) que creua els marcadors de les sèries inferior i superior.

<sup>2</sup> Al capítol 5 es presenta una caracterització més detallada de la cinemàtica del model 3 que s'utilitza per a valorar els algorismes de restitució i modelització cinemàtica del programa 2DMove.



Fig. 4.37.- Detall de l'estructura del model 1 en el que s'observa un retroencavalcament (R7) que aprofita la superfície d'un marcador per lliscar. El gruix de la capa que es troba per sota d'aquest marcador no té origen tectònic.

Una característica comuna en els models 1 i 2 és el condicionament que exerceixen els marcadors que han estat prèviament rotats en l'orientació dels nous retroencavalcaments. Quan els marcadors tenen una inclinació adequada, els retroencavalcaments de nova formació es disposen paral·lels a la seva superfície, i inclús en alguns casos arriben canviar la seva orientació en creuar un marcador per disposar-s'hi subparal·lelament (fig. 4.38). Un efecte similar s'observa en el retroencavalcament R7B del model 1 que, malgrat no disposar-se paral·lel als marcadors experimenta un canvi d'orientació en creuar la discordança (fig. 4.36 D).

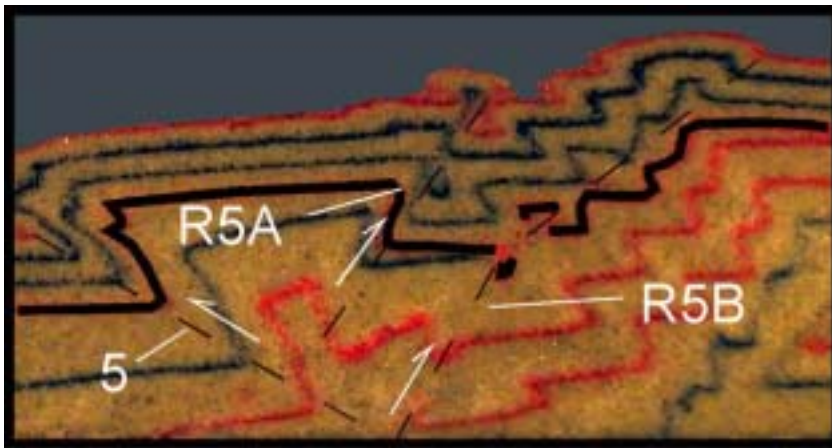


Fig. 4.38.- Detall del model 2 en el que s'observa l'encavalcament 5 i dos retroencavalcaments associats (R5A i R5B). S'observa com R5B canvia la seva orientació en creuar la discordança, a la que es disposa subparal·lel.

L'estructura general del model 3 és lleugerament diferent de la dels altres models principalment perquè la capa de *glass microbeads* exerceix un control de la nucleació de les estructures. El cas més representatiu d'aquest control es veu en l'encavalcament frontal del tascó que se situa més a prop del mur mòbil (16cm), que en els models 1 i 2 (23cm i 21cm, respectivament)(Fig. 4.36). Això és degut a que el seu entroncament en la placa basal es troba en el bisellament basal de la capa de *glass microbeads* (fig. 4.39), més enllà del qual el sistema d'encavalcaments no s'ha propagat. Això es tradueix en un augment del pendent del tascó ( $12^\circ$ ), respecte els altres models.

En general els encavalcaments vergents cap a l'avantpaís són continus de base a sostre, amb una inclinació d'aproximadament  $30^\circ$ , i no experimenten cap refracció en creuar la discordança, amb l'excepció de l'encavalcament 4 del model 3. Aquest encavalcament, amb una inclinació de  $30^\circ$  en creuar la seqüència inferior, forma un replà de bloc superior a la discordança en el bisellament superior de la capa de *glass microbeads*, i torna a formar un rampa per creuar la seqüència horitzontal amb una inclinació de  $34^\circ$  (fig. 4.39).



Els retroencavalcaments tampoc experimenten refraccions en creuar la discordança, tot i que en alguns casos la seva inclinació sembla estar determinada per l'orientació dels marcadors inclinats. Un exemple d'aquest comportament és R6B del model 3 (fig. 4.36 C i F) que en el seu traçat creua diversos marcadors alineats com a conseqüència de la deformació soferta en els estadis E1 i E2. La deformació generada per R6B que experimenten aquests marcadors suggereix que han estat utilitzats parcialment com a superfícies de lliscament.

El salt mecànic que representa el contacte entre la sorra i els *glass microbeads* no sembla suficient per superar l'efecte del seu baix cabussament original ( $5^\circ$ ) i induir lliscament a favor seu i formar retroencavalcaments. Malgrat això, en alguns casos en què la compactació del model ha produït una rotació horària dels marcadors, la capa de *glass microbeads* ha adquirit una orientació que afavoreix el seu funcionament com a superfície de desenganxament per als retroencavalcaments. Una altra estructura relacionada amb el contrast mecànic entre els dos materials s'observa en una secció del model tallada 4 cm a la dreta de la de la figura 4.36 C (mirant des del mur frontal). En aquesta secció (fig. 4.39 B) la base de l'encavalcament 5 està format per un sistema de *forekinks* invertits amb les xarneres alineades. Aquesta alineació ha produït una reorientació del salt mecànic entre els dos materials, que en aquest cas sí que és aprofitat com a superfície de lliscament per un retroencavalcament (R6B). Per tant les estructures retroencavalcants que afecten la superfície de contrast mecànic indiquen que la seva importància com a element de control de la deformació està en funció de la seva orientació.

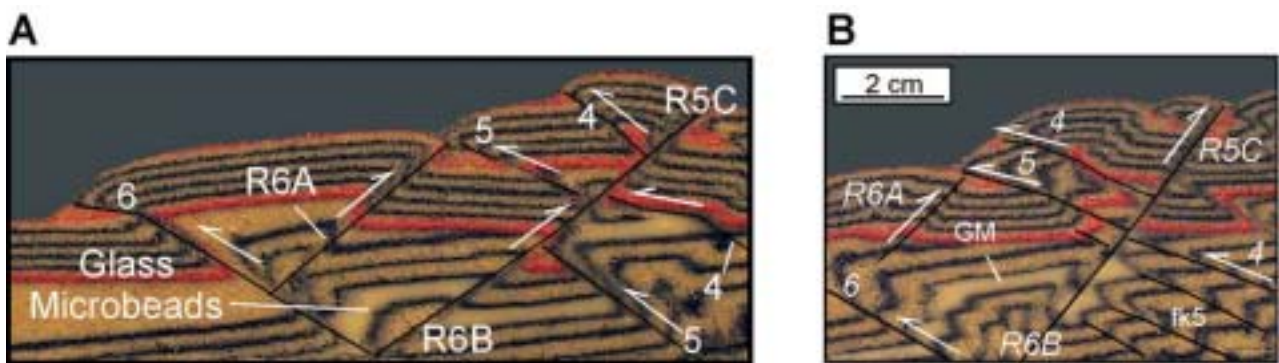


Fig. 4.39.- Detall de dues seccions del model 3 en zones estructuralment equivalents (l'escala és la mateixa per a les dues figures). **A.**- Detall de la secció de la figura 4.36 C. S'observa com en aquesta transversal els encavalcaments i retroencavalcaments (menys l'encavalcament 4) tenen un traçat continu des de la base fins al sostre del model. L'entroncament de l'encavalcament 6 en la base del model es produeix al bisellament basal de la capa de *glass microbeads*. L'encavalcament 4 forma un replà de bloc superior en la discordança al bisellament superior de la mateixa capa. El retroencavalcament R6B té una inclinació constant de  $35^\circ$ , i en la seva part superior superposa el seu traçat al de R5C (no es tracta exactament d'una reactivació), com ho mostren el desplaçament diferencial dels *cutoffs* de la discordança en el bloc inferior dels encavalcaments 4 i 5. **B.**- Detall d'una secció 4cm a la dreta de la secció anterior (mirant des del mur frontal). Malgrat les variacions, les estructures es poden projectar entre les dues seccions, i per això s'indiquen en cursiva en aquesta figura. GM.- *glass microbeads*; fk5.- *forekinks* basals de l'encavalcament 5. L'encavalcament 6 està entroncat en la mateixa posició estratigràfica que en la figura A. El replà de bloc superior de l'encavalcament 4 en la discordança es distingeix més clarament en aquesta secció ja que acumula més desplaçament i no està tallat per R6B. L'alineació de les xarneres de fk5 és aprofitada com a superfície de lliscament per R6B, i per això aquesta estructura està més inclinada en aquesta secció ( $50^\circ$ ).



### Conclusions referents als models de sorra i comparació amb la làmina d'Erta.

Les principals conclusions que es deriven dels resultats obtinguts de la modelització analògica són:

- La presència de capes inclinades cap a l'avantpaís sota la discordança afavoreix el desenvolupament de retroencavalcaments, a diferència dels models planoparal·lels amb fricció basal comparable descrits per altres autors (fig. 4.36).
- Degut a la discordança angular, els encavalcaments paral·lels a l'estratificació de la sèrie inclinada passen de formar una geometria de replà a una geometria de rampa en creuar la discordança sense canviar la seva orientació (fig. 4.37).
- L'orientació dels encavalcaments vergents a l'avantpaís és independent del cabussament dels marcadors de la seqüència inclinada, però aquest pot controlar la inclinació dels retroencavalcaments sempre i quan els marcadors estiguin dins d'un rang de cabussaments, que requereixin un esforç de cisalla menor al necessari per formar nous plans de fractura.
- Les capes que han estat rotades per una estructura prèvia poden també ser activades com a superfície de falla si han adquirit una orientació adequada.
- El contrast mecànic entre la sorra i els glass microbeads només és efectiu als extrems de la capa de *microbeads*, és a dir, quan interactuen amb el nivell de desenganxament basal i la discordança, ja que el salt mecànic no és suficient per superar la seva baixa inclinació original (5°), i induir el lliscament a favor seu (fig. 4.39) (a no ser que hagin estat rotats, com s'ha descrit més amunt).

Els models analògics reproduïen amb força similitud els processos estructurals característics de la inversió de la conca d'Erill Castell, malgrat les limitacions característiques de la modelització, tant en l'escalat com en la replicació de les particularitats de les geometries naturals (desplaçaments, inversió de falles, apilament antiformal, etc.).

La comparació de les restitucions dels talls de la làmina encavalcant d'Erta amb les restitucions dels encavalcaments frontals dels tres tascons de sorra es mostra a la figura 4.40. El resultat de la restitució dels talls de camp ha estat utilitzat per definir prèviament la geometria inicial de les capes, però el traçat dels encavalcaments i retroencavalcaments dels models (fig. 4.40 **D**, **E** i **F**) no és un paràmetre que es pugui controlar a priori, i no obstant hi ha força similituds (fig. 4.40 **A**, **B** i **C**), tant en la seva orientació com en la relació entre els encavalcaments i els retroencavalcaments associats. Per tant, aquesta figura suggereix que els models experimentals són uns anàlegs vàlids dels primers estadis de la deformació de la làmina d'Erta.

En la descripció de l'evolució cinemàtica dels tascons de sorra he establert la relació temporal i geomètrica entre els encavalcaments i els retroencavalcaments. Aquesta està caracteritzada per un funcionament simultani d'estructures amb vergència oposada, en la que l'estructura principal (en aquest cas els encavalcaments vergents cap a l'avantpaís) és activa durant una etapa de deformació llarga, i les estructures secundàries (els retroencavalcaments) es van rellevant successivament en seqüència *piggy-back* a partir de la inflexió replà – rampa de l'encavalcament principal (fig. 4.36 **G**, **H** i **I**), a mida que són

transportats. Aquest comportament pot ser extrapolat a la inversió de la fossa d'Erill Castell, ja que la restitució ha permès deduir un entroncament dels retroencavalcaments en les inflexions de l'encavalcament d'Erta (fig. 4.36 **A**, **B** i **C**), i per tant és versemblant que la seva evolució sigui igual a la dels models analògics.

En referència a la utilització de l'estratificació pels retroencavalcaments, els resultats de la modelització analògica han mostrat que aquest aspecte està en funció de l'existència d'un salt mecànic acompanyat d'una orientació adequada que habiliti el contacte estratigràfic com a superfície de lliscament preferencial. Els retroencavalcaments paral·lels a l'estratificació associats a la inversió de la fossa d'Erill Castell són una manifestació d'aquest comportament. En la majoria de casos els retroencavalcaments aprofiten el contacte entre les principals formacions o entre la formació Erill Castell i el sòcol hercinià, indicant que el contrast mecànic entre aquestes formacions és eficient com a superfície de lliscament donat el cabussament que tenia la seqüència estefano-permiana (que he deduït de la restitució de la làmina d'Erta). L'únic retroencavalcament que no és paral·lel a l'estratificació apareix a la transversal de Sta. Bàrbara (R1; fig. 4.40 **C**), i es tracta d'una estructura que només afecta la formació Peranera en una zona en la que l'estratificació cabussa menys de 6° cap a l'avantpaís. Per tant és probable que el contrast mecànic entre les capes d'aquesta formació no sigui suficient per ser aprofitades com a superfícies de lliscament, i per això es forma un retroencavalcament amb un angle de rampa de 13° respecte a l'estratificació permiana.

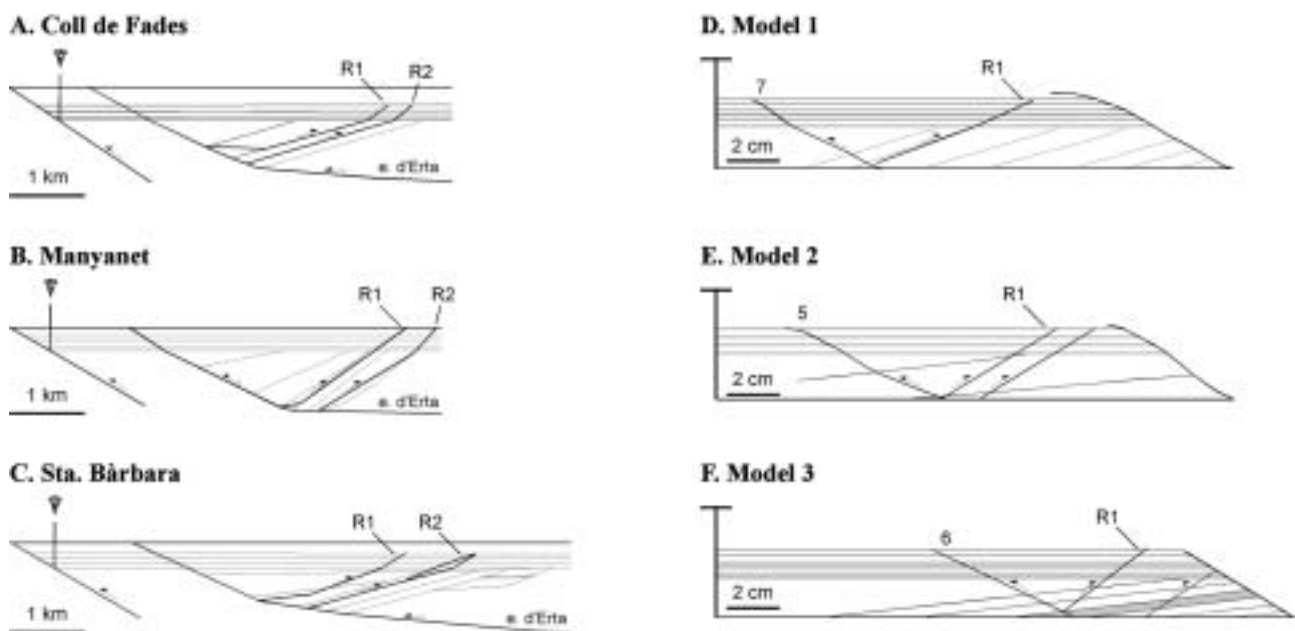


Fig. 4.40.- Restitució dels talls de camp de la làmina encavalcant d'Erta pel mètode de preservació de la longitud de les línies (**A**, **B** i **C**), i restitució dels models de sorra amb el mateix mètode (**D**, **E** i **F**), però aplicant un factor de correcció de la compactació horitzontal a partir dels valors de la taula 4.4. A la restitució de la transversal de Sta. Bàrbara (**H**) R1 correspon a l'únic retroencavalcament que no és paral·lel a l'estratificació.

Una altra característica comuna de models i natura és que la dicordança no actua, en general, com a nivell de desenganxament. Això és així llevat de la situació puntual del model 3, on hi ha un contacte entre dos

materials diferents al bisellament superior de la capa de *glass microbeads*, que nuclea un desenganxament. Una conseqüència de la passivitat de la discordança són els replans que passen a rampa sense canviar la inclinació de la falla.

Els models analògics també aporten informació indirecta per entendre l'evolució de l'escata d'Erta posterior al seu emplaçament, és a dir, la relació entre l'escata d'Erta i les làmines subjacents de l'Orri i Rialp. Aquesta informació també es basa en la cinemàtica dels retroencavalcaments. En la descripció de la cinemàtica dels models he esmentat que la relació entre el transport que experimenta un retroencavalcament i el salt d'aquest abans de la formació d'un nou retroencavalcament varia entre un màxim de 4.26 i un mínim de 2. És a dir, que el transport que sofreixen durant el seu període d'activitat és major que el salt que tenen. En canvi, alguns dels retroencavalcaments que afecten la conca d'Erill Castell succeeix al revés, tenen més salt propi que no pas transport passiu durant el seu període d'activitat (taula 4.6).

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Transport</b>	<b>Rel. R1</b>	<b>Rel. R2</b>
<b>la Costera</b>	725 m	412 m	609 m	0.84	1.47
<b>Manyanet</b>	1000 m	162 m	538 m	0.54	3.31
<b>Sta. Bàrbara</b>	442 m	830 m	692 m	1.5	0.83
<b>Model 1</b>	0.5 cm	-	1 cm	1.97	-
<b>Model 2</b>	0.5 cm	-	3 cm	5	-
<b>Model 3</b>	0.6 cm	-	1.9 cm	3.3	-

Taula 4.6.- Càlcul de la relació (Rel. R1 i Rel.R2) entre desplaçament acumulat pels retroencavalcaments de la figura 4.40 i el transport que experimenten durant el seu període d'activitat.

Interpreto que la diferència existent entre els retroencavalcaments dels models i els dels talls és deguda a que alguns retroencavalcaments del mantell d'Erta són reactivats durant l'emplaçament de les escates subjacents, i probablement acumulin la major part del desplaçament durant la seva reactivació; per tant part de la seva activitat és tardana. Aquesta reactivació es donaria pel mateix motiu que es generen els retroencavalcaments inicials, és a dir, el contrast mecànic a què estan associats presenta una orientació que els habilita com plans de lliscament preferencial. Aquesta evolució és equivalent a la dels marcadors dels models analògics que són aprofitats per etapes de deformació tardanes com a conseqüència de la reorientació de les capes soferta en estadis previs.

En síntesi, els models analògics reproduïxen alguns aspectes geomètrics i processos cinemàtics de la franja de retroencavalcaments de St. Quiri. D'aquesta manera donen consistència a la seva interpretació com a un element inicialment associat a la inversió de la conca de Erill Castell, que segueix desenvolupant-se durant estadis successius en els que l'emplaçament dels mantells inferiors de la Zona Axial encara imposen deformació interna al sistema.