

LA GEOLOGIA DE LES PLANES DE SON I LA MATA DE VALÈNCIA

MARIONA LOSANTOS*

* Institut Geològic de Catalunya. Carrer de Balmes, 209-211, E-08006 Barcelona. mlosantos@igc.cat.

LOSANTOS, M. (2010). «La geologia de les Planes de Son i la mata de València». A: GERMAIN, J. [cur.]. *Els sistemes naturals de les Planes de Son i la mata de València*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural. (Treballs de la Institució Catalana d'Història Natural; 16), p. 21-75. ISBN: 978-84-9965-008-1.

Resum

Les Planes de Son i la mata de València estan situades a la Zona Axial pirinenca. Els materials que hi afloren constitueixen dos grans conjunts: el substrat, format per roques paleozoiques d'edats compreses entre el Cambroordovicià i el Devonianà, i els dipòsits de recobriment del Plistocè i l'Holocè (quaternaris). S'exposa la descripció de tots ells i la dels processos geològics que van conduir a la seva formació. Pel que fa als materials paleozoics, es descriuen els episodis deformatius i metamòrfics relacionats amb l'orogènia herciniana i les estructures alpines que s'hi superposen.

Pel que fa a les èpoques més recents, Plistocè i Holocè, s'incideix en els processos i els ambients sedimentaris relacionats amb el glacialisme i en tots aquells posteriors, els que han actuat durant els darrers 10.000 anys, bona part dels quals encara són funcionals; així s'estableix un vincle entre la constitució geològica del territori i la geodinàmica actual.

El treball proposa una lectura geològica del paisatge i defineix àmbits «geopaisatgístics» parametritzats i delimitats; també s'ha relacionat la constitució geològica del territori i els processos geològics que hi actuen amb altres aspectes del territori: morfològics, colonització vegetal, etc.

Finalment, s'ha tractat la utilització per part de l'home del conjunt del terreny amb l'objectiu de relacionar la geologia amb els usos del sòl, el tipus de conreus i aprofitaments o la tria de les roques utilitzades en la construcció tradicional.

PARAULES CLAU: geologia, Pirineus, Zona Axial, Paleozoic, Plistocè i Holocè, processos geològics, «geopaisatge».

Resumen

El área de Les Planes de Son y la mata de València está situada geológicamente en la Zona Axial pirenaica. Los materiales que afloran en ella constituyen dos grandes conjuntos: el sustrato, formado por rocas de edades comprendidas entre el Cambroordovícico y el Devónico, y los depósitos de recubrimiento del Pleistoceno y Holoceno (Cuaternario). El artículo aborda la descripción de todos ellos, rocas y materiales no consolidados, los procesos geológicos que condujeron a su formación y, para las rocas paleozoicas, los episodios deformativos y metamórficos relacionados con la orogenia herciniana y la estructura alpina que se superpone a la anterior.

Respecto a las épocas más recientes, el Pleistoceno y el Holoceno, se incide en los procesos y ambientes sedimentarios relacionados con el glaciario y en todos aquellos posteriores, los que han actuado durante los últimos 10.000 años, parte de los cuales son aún funcionales; se establece así un vínculo entre la constitución geológica del territorio y la geodinámica actual.

Se propone una lectura geológica del paisaje, definiendo ámbitos «geopaisajísticos» parametrizados y delimitados; también se ha establecido una relación entre la constitución geológica del territorio y los procesos geológicos con otros aspectos: morfológicos, colonización vegetal, etc.

Finalmente se ha analizado la utilización humana del terreno de la zona con el objetivo de relacionar la geología con los usos del suelo, el tipo de cultivos y aprovechamientos y la selección de las rocas utilizadas en la construcción tradicional.

PALABRAS CLAVE: geología, Pirineos, Zona Axial, Paleozoico, Pleistoceno y Holoceno, procesos geológicos, «geopaisaje».

Abstract

Les Planes de Son and the Mata de València are located in the Axial Zone of the Pyrenees. The outcropping materials constitute two major entities: the substratum, consisting of palaeozoic rocks ranging in age from Cambro-ordovician to Devonian periods and the covering deposits from the Pleistocene and Holocene (Quaternary). The paper describes all these materials and the geological processes which led to their formation. The deformative and metamorphic episodes of palaeozoic materials related to the hercynian orogenesis are explained and, likewise, the superimposed alpine structures.

For more recent times, Pleistocene and Holocene, stress is laid on the sedimentary processes related to the glaciations and the subsequent processes that have acted for the last 10.000 years. Some of these processes are still active. In this way, a link is established between the geological constitution of the territory and the current geodynamics.

A geological approach to the landscape is proposed, defining parameterized and delimited «geoscape» areas; the geological constitution of the terrain and the active geological processes have also been related to other aspects of the territory: morphology, vegetal colonization, etc.

Finally, the work deals with the human being's use of the terrain, with the aim of relating the geology to the land uses, the type of crops and exploitations and the stone used in traditional building.

KEYWORDS: geology, Pyrenees, Axial Zone, Palaeozoic, Pleistocene and Holocene, geological processes, «geoscape».

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS DEL TREBALL

Aquest article es planteja ja de bon començament des de tres punts de vista: en primer lloc, calia fer el clàssic treball acadèmic de descripció geològica del territori, imprescindible per al bon coneixement de la zona; en paral·lel, es volia incidir en la reconstrucció dels processos geològics que s'han desenvolupat al llarg de més de 500 milions d'anys de la història geològica en aquests paratges i posar especial atenció als més recents i a tots els processos funcionals. El darrer enfocament volia aprofundir en la relació que estableix l'home amb el territori, entenent aquest com el recurs natural primordial, el suport físic en el qual es desenvolupa tota la seva activitat.

A mesura que avançava el treball també semblà interessant integrar el coneixement geològic a altres temes tractats en aquest volum: és el cas dels aspectes geopaisatgístics, una pinzellada sobre la relació entre les característiques del substrat i el tipus de vegetació i l'aprofitament dels recursos petris per a la construcció.

La Fundació Territori i Paisatge va mostrar interès a expressar els estudis específics amb un enfocament més divulgatiu. Per aquesta raó l'article dedicat a la geologia s'ha redactat evitant sempre que ha estat possible la terminologia més complexa i mirant d'explicar amb paraules planeres tots els temes, especialment aquells més aptes per estimular la curiositat dels lectors.

2. ANTECEDENTS

2.1. TREBALLS PREVIS

Durant la dècada dels cinquanta del segle passat els geòlegs de la Universitat de Leiden, sota la direcció del professor L. U. de Sitter, van iniciar els primers treballs moderns sobre la constitució geològica d'aquesta zona. En concret, és l'estudi de Zandvliet (1960) que inclou el mapa geològic a escala 1:50.000 i la descripció acurada d'aquesta àrea. En aquests treballs ja es tractaven igual els materials paleozoics i els pliocens i holocens. Posteriorment, tots els estudis que s'hi van dur a terme van ser de caràcter específic. Així, pel que fa als materials paleozoics, continuaren amb els treballs de Mey (1967 i 1968), Hartevelt (1970) i Boersma (1973), en els quals es definiren formalment bona part de les unitats estratigràfiques del Paleozoic. Tots aquests treballs foren posteriorment sintetitzats en un volum especial dedicat a la geologia dels Pirineus que resumeix tots els coneixements adquirits pels geòlegs de Leiden durant gairebé 30 anys de campanyes i publicat pel qui era llavors el director de l'equip de Leiden (Zwart, 1979). Un altre treball en zones properes és el de Martí & Puigdefàbregas (1968).

A partir de 1979, amb la creació del Servei Geològic de Catalunya (d'ara en endavant SGC), la institució precursora de l'actual Institut Geològic de Catalunya (IGC), s'iniciaren els treballs de cartografia geològica als Pirineus centrals. Un dels primers encàrrecs de l'SGC fou la cartografia dels dipòsits quaternaris relacionats amb el glacialisme en diverses valls pirinenques, entre elles la de Son (Serrat *et al.*, 1981). El 1982 es començà a cartografiar a escala 1:25.000 part de la zona de la Pallaresa, en fases successives, des de la frontera amb Andorra fins a la Val d'Aran i part del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany

de Sant Maurici. El resum de part d'aquests treballs es va publicar a la *Història natural dels Països Catalans* (Losantos & Palau, 1986).

Però fou el 1988 quan es produí un salt qualitatiu fonamental en el coneixement de la serralada pirinenca amb l'adquisició del perfil sísmic ECORS Pirineus. Aquest perfil travessa els Pirineus des de Tolosa fins a prop de Balaguer i mostrà per primer cop l'estructura profunda d'una serralada de col·lisió. L'SGC participà molt activament en la interpretació del perfil sísmic (ECORS Pyrenees Team, 1988), en el reconeixement geològic d'una franja d'alguns quilòmetres a banda i banda de la traça del perfil i en la construcció del tall geològic de superfície i la integració d'aquest amb les dades de subsòl (Losantos *et al.*, 1988). El tall resultant es va publicar en format gran, a escala 1:200.000, amb una memòria explicativa (Berástegui *et al.*, 1993).

Posteriorment els treballs de Poblet (1987 i 1991) van afinar més en el coneixement de la sèrie estratigràfica del Devonian i de les estructures de plegament a la zona oriental de la unitat de Llavorsí. Les datacions paleontològiques dels carbonats devonians, mitjançant la determinació de conodonts, així com la recopilació de totes les dades prèvies, són al treball de Sanz (1995).

Pel que fa als processos recents, tot i que el coneixement del glacialisme ha avançat molt des dels treballs de cartografia de Serrat *et al.* (1981), la descripció dels materials, molt rigorosa, és perfectament vigent. Els estudis posteriors en aquesta àrea són el de Ventura (1986), centrat específicament a la vall de Son, i el de Bordonau *et al.* (1989), en el qual s'estudia la cubeta d'Esterrí d'Àneu. Un bon recull de part d'aquests treballs és a la *Història natural dels Països Catalans* (Serrat & Vilaplana, 1992).

Totes les publicacions esmentades han estat de gran utilitat, ja que es basen en una bona feina descriptiva que n'assegura la pervivència.

L'únic mapa geològic disponible d'aquesta zona era, fins no fa gaire, el de Zandvliet (1960), a escala 1:50.000. Actualment ja està publicat el full corresponent de la sèrie del *Mapa geològic comarcal de Catalunya 1:50.000: Pallars Sobirà* (2007) i en breu ha d'estar disponible el full de la sèrie MAGNA d'Esterrí d'Àneu.

Finalment, cal esmentar la guia d'itineraris geoturístics pel Pallars Sobirà (Ardevol *et al.*, 2005).

2.2. ESCALES DELS TEMPS GEOLÒGICS I DATACIONS

A l'àrea de la vall de Son i la mata de València no es disposa de datacions paleontològiques o radiomètriques, i per tant ha estat necessari recórrer als mètodes de correlació estratigràfica per proporcionar una idea orientativa de l'edat de les roques paleozoiques que hi afloren. Aquestes han estat referides a l'escala dels temps geològics vigents (Gradstein *et al.*, 2004, traduïda a la *Taula dels temps geològics* per l'IGC, 2006).

Pel que fa a la geocronologia dels dipòsits plistocens i holocens, les datacions absolutes són molt escasses. Actualment fins i tot la idoneïtat del Quaternari com a període geològic està en discussió per part de la comunitat científica (Gradstein *et al.*, 2004), en recular cada cop més en el temps l'aparició dels homínids.

En el que sí que hi ha acord per part de la Comissió Internacional d'Estratigrafia (ICS, segons les sigles angleses) és respecte als límits del Plistocè, així com en l'edat del darrer interglacial, l'Eemià, la de la darrera glaciació i la de l'inici de l'Holocè. En aquest treball, per tot el que fa referència al Plistocè i l'Holocè, s'utilitzaran els termes geocronològics

compilats a la *Tabla cronoestratigràfica del Cuaternario de la península Ibérica* (Silva *et al.*, 2007), avalada per l'Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA) i la Internacional Union for Quaternary Research (INQUA).

2.3. VOCABULARI

El vocabulari estrictament geològic utilitzat en aquest article és el del *Diccionari de geologia* (Riba, 1997).

3. MARC GEOLÒGIC DE LA ZONA D'ESTUDI

Els Pirineus, tal com els veiem actualment, són el resultat de la superposició de dos esdeveniments geològics; en primer lloc, de la formació de la serralada com a conseqüència de la col·lisió entre les plaques Ibèrica i Europea durant l'orogènia alpina. Aquest procés va ser el primer creador de relleus majors i afavorí l'exhumació de les roques antigues. Posteriorment, el conjunt de processos erosius recents, d'edat plistocena, i especialment tots aquells relacionats amb el glacialisme, han posat al descobert bona part de l'estructura interna de la serralada. L'empremta d'aquests dos episodis geològics confereix a aquestes valls la seva personalitat.

Com a resultat de la superposició d'aquests dos conjunts de processos geològics s'observen roques relativament profundes i antigues; però totes també tenen la seva pròpia història: la de la seva gènesi i la dels processos geològics als quals van estar sotmeses abans de la col·lisió alpina.

L'observació directa en aquest sector permet fer-se una idea de les característiques locals i establir una petita part de la història geològica, però per conèixer tota la resta caldrà recórrer a allò que se sap a partir dels estudis del conjunt de la serralada pirinenca.

3.1. EL CONTEXT GEOLÒGIC

Els Pirineus són una serralada de col·lisió alpina de doble vergència, formada per l'apilament de mantells de corriments dirigits al nord, a l'anomenada Zona Nord-pirinenca, o al sud, on constitueixen el conjunt de mantells sud-pirinenca (figura 1); el límit entre ambdós conjunts és la Falla Nord-pirinenca.

La zona de Son i la mata de València és situada en els mantells sud-pirinenca; entre aquests s'ha establert una divisió en funció de l'edat dels materials que els formen, de manera que aquells que són constituïts exclusivament per materials mesozoics i cenozoics s'anomenen el conjunt dels mantells superiors, mentre que els que també involucren roques del substrat paleozoic formen el conjunt dels mantells inferiors. Als Pirineus centrals els mantells inferiors són el de Rialp, el de l'Orri i el de les Nogueres (figura 2); aquests estan superposats i en conjunt plegats, i formen l'anomenat Apilament Antiforme de la Zona Axial; aquesta estructura major rep aquest nom per la coincidència amb el concepte geogràfic de zona axial, que correspon a la franja de majors alçades on afloren les roques més antigues, paleozoiques i neoproterozoiques. La vall de Son i la mata de València se situen en el flanc septentrional del Mantell de l'Orri (Berástegui *et al.*, 1993).



FIGURA 1. Esquema geològic dels Pirineus centrals i orientals, amb la distribució actual de les roques del Paleozoic, del Mesozoic i del Paleogen. De nord a sud s'hi identifiquen les unitats geològiques majors: la Conca d'Aquitània, els mantells nord-pirinencs, la Falla Nord-pirinenca, el conjunt dels mantells sud-pirinencs i la Conca de l'Ebre. El requadre indica la situació de l'esquema de la figura 2.

Dins aquestes grans unitats estructurals, aquest sector ha estat clàssicament dividit en dues unitats geològiques: la de la Pallaresa i la de Llavorsí, la qual inclou el batòlit de la Maladeta (Zwart, 1979) (figura 3).

La unitat de la Pallaresa és formada per materials sedimentaris del Cambroordovicià i de l'Ordovicià superior. L'estructura interna es caracteritza pel desenvolupament de diversos sistemes de plects. El límit meridional creua l'àrea de les Planes de Son i constitueix una estructura complexa que es descriurà en els capítols corresponents. La unitat de la Pallaresa té un comportament unitari davant dels processos deformatius alpins, és a dir, malgrat les diferències geocronològiques i composicionals, respon com un tot.

La unitat de Llavorsí és formada per materials sedimentaris devonians, amb una estructura interna complexa deguda a la superposició de diversos sistemes de plects; en aquests materials va intruir el batòlit de la Maladeta i va formar al seu voltant una aurèola de metamorfisme de contacte. En aquesta unitat la resposta als episodis deformatius posteriors és contrastada, ja que el batòlit de la Maladeta i els materials de la seva aurèola de contacte es comporten d'una manera més rígida durant la deformació posterior. El límit meridional de la unitat de Llavorsí és molt allunyat de l'àrea d'estudi (figura 3) i no es tractarà en aquest treball.

Els materials del Silurià, que presenten un comportament més plàstic davant de la deformació, actuen arreu com a nivell de desenganxament.

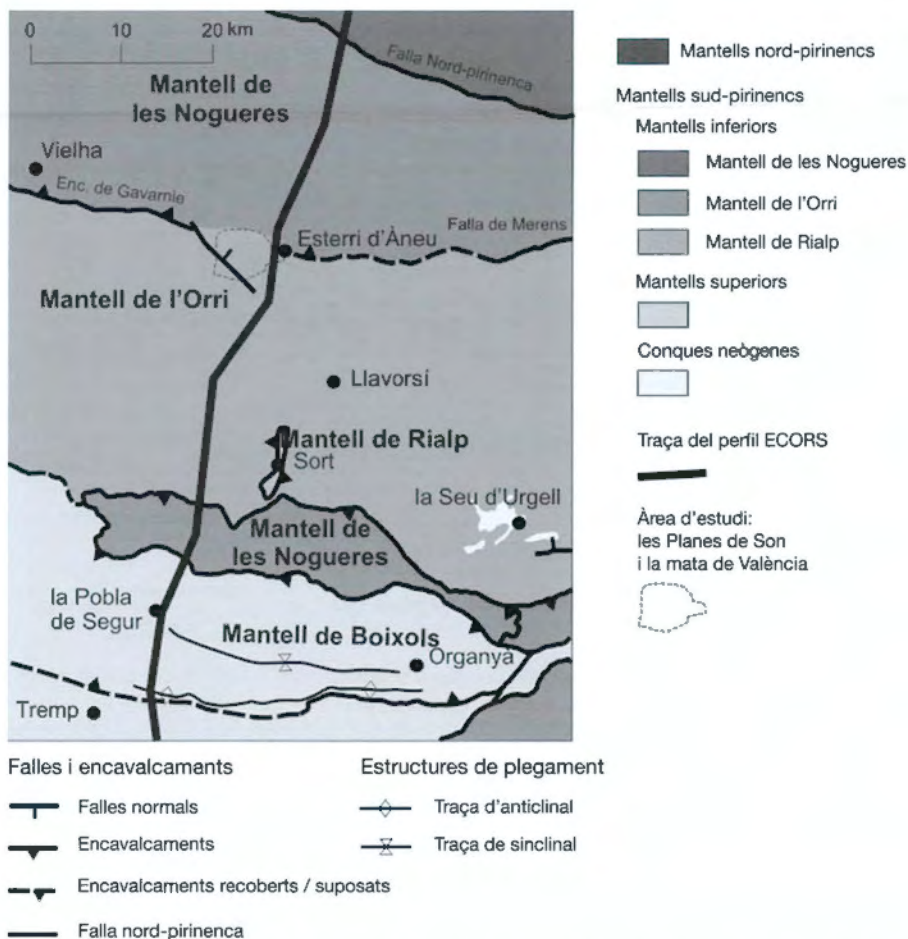


FIGURA 2. Esquema estructural de l'entorn de la zona d'estudi, indicada amb el requadre. Els Pirineus centrals formen part del conjunt dels mantells inferiors sud-pirinencs. Aquests estan constituïts majoritàriament per roques sedimentàries, ígnies i metamòrfiques del Paleozoic. El registre sedimentari abraça des d'abans del Cambrià fins al Carbonífer (550 a 320 Ma) i, intruint en les roques sedimentàries, hi ha a més els batòlits hercinians que s'emporten al voltant del límit Carbonífer-Permià (300 Ma). La vall de Son i la mata de València se situen geològicament al Mantell de l'Orri i en el flanc nord de l'Apilament Antiforme de la Zona Axial.

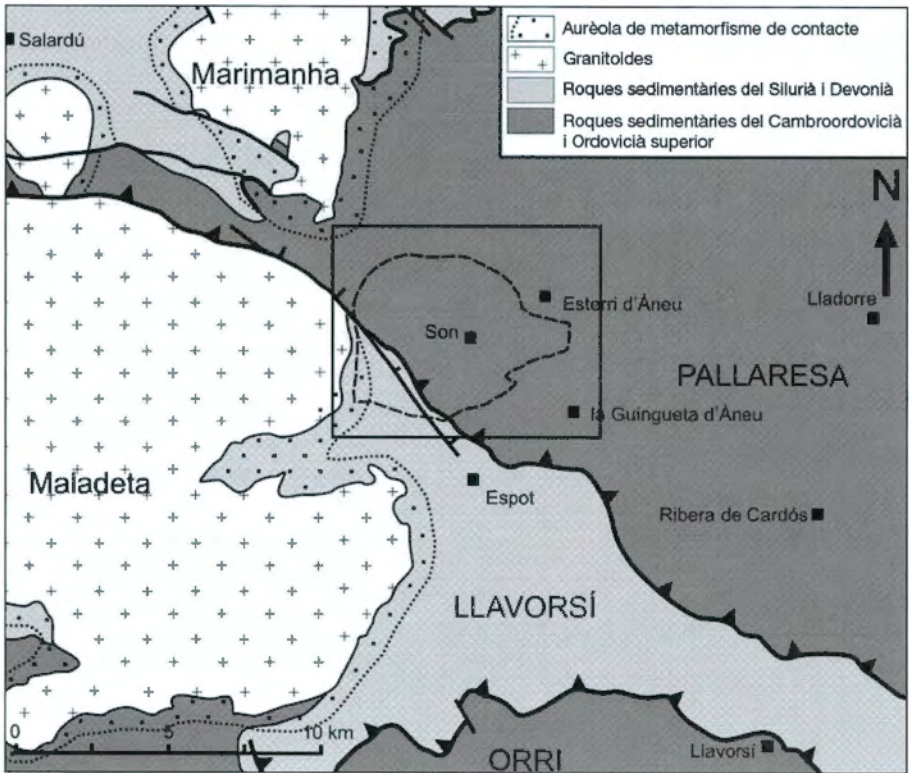


FIGURA 3. Esquema geològic de les unitats de la Pallaresa i de Llavorsí, que inclou el batòlit de la Maladeta. tan sols s'hi han representat les roques del substrat paleozoic i les estructures alpines majors.

4. DESCRIPCIÓ DE MATERIALS I DE PROCESSOS

La zona de les Planes de Son i la mata de València, com bona part dels massissos més elevats dels Pirineus centrals, és formada per roques sedimentàries, ígnies i metamòrfiques del Paleozoic (figures 2 i 3). El registre sedimentari comprèn en aquest sector des del Cambroordovicià fins al Devoniana (550 a 350 Ma). Tot aquest conjunt forma el substrat dels dipòsits del Plistocè superior i l'Holocè (0,12 Ma fins avui), els quals recobreixen bona part de l'àrea d'estudi (figura 4). La distinció entre el substrat i el recobriment plistocè i holocè es refereix al fet que les roques paleozoiques tenen una continuïtat en fondària que pot assolir alguns milers de metres, mentre que els dipòsits plistocens i holocens s'estenen en profunditat tan sols algunes desenes de metres, excepte en les antigues cubetes de sobreexcavació glacial, on el gruix del reblliment assoleix algun centenar de metres.

La distribució cartogràfica dels diversos materials que afloren a la zona d'estudi és al mapa geològic a escala 1:25.000 que acompanya aquest treball.

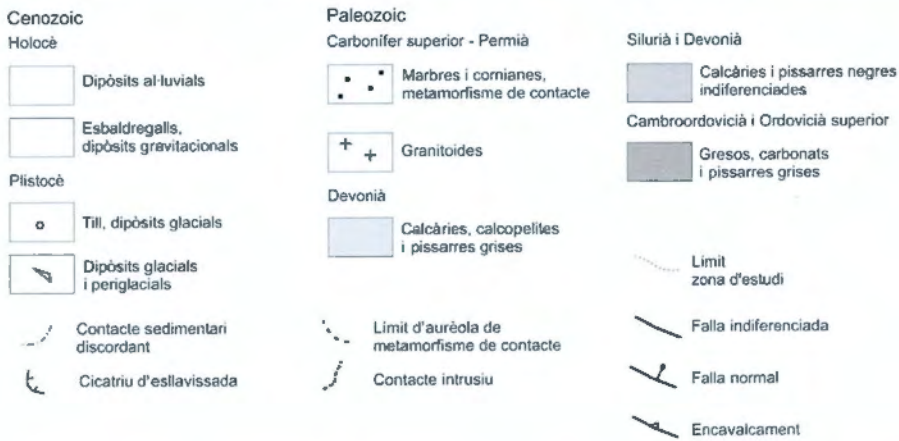
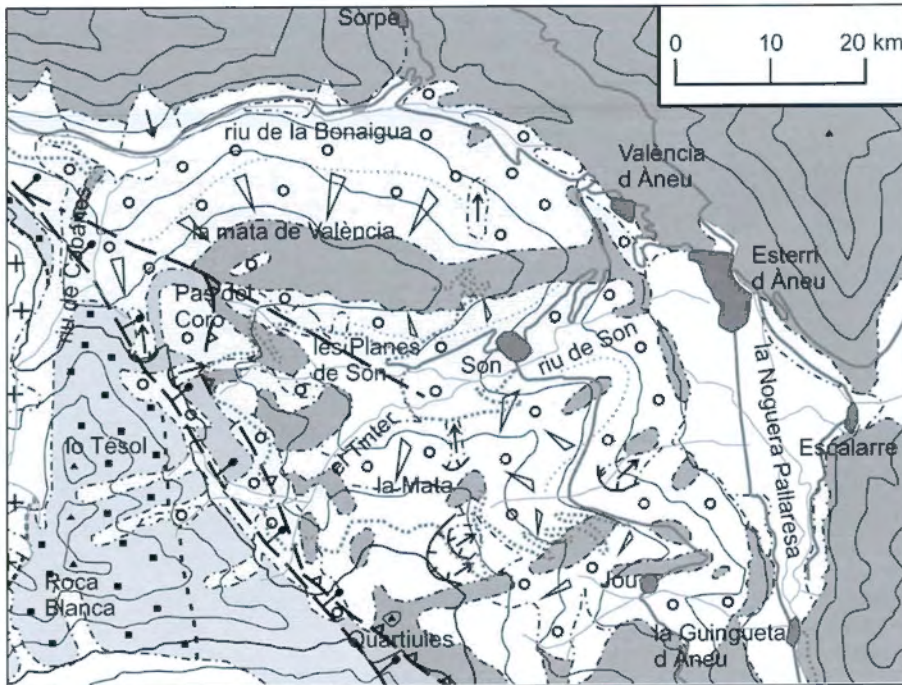


FIGURA 4. Esquema geològic simplificat de la zona de les Planes de Son i la mata de València. Reflecteix la distribució cartogràfica dels diversos materials que afloren a la zona d'estudi i als voltants.

4.1. ELS MATERIALS

4.1.1. Les roques del substrat paleozoic

Aquest apartat està dedicat a la descripció dels materials que formen el substrat, tots d'edat paleozoica. Per al conjunt del registre sedimentari es descriuen els dipòsits, així com els medis sedimentaris en els quals s'interpreta que es van formar, de més antics a més moderns. Per a les roques metamòrfiques s'expliquen breument els processos que van conduir a la seva formació. Pel que fa a les roques ígnies, se'n fa esment molt breument, ja que no formen part del substrat paleozoic de l'àrea d'estudi, però són un dels constituents predominants dels dipòsits plistocens.

Les escasses roques filonianes que s'han localitzat durant el reconeixement geològic també es descriuen en aquest apartat, ja que formen part del conjunt del substrat, tot i ser d'edat incerta.

Les datacions en aquesta àrea, tant paleontològiques com radiomètriques, són inexistent i per tant ha estat necessari recórrer als mètodes de correlació estratigràfica per proporcionar una idea orientativa de l'edat de les roques paleozoiques que hi afloren.

Els materials sedimentaris cambroordovicians

Els materials més antics que afloren en aquesta àrea són una alternança rítmica de nivells de gresos quarzífics o quarzifeldspàtics i nivells lutítics pissarrosos, de gruixos que oscil·len entre alguns centímetres i pocs decímetres (figures 4, 5 i 6, i mapa geològica a



FIGURA 5. Columna estratigràfica sintètica dels materials sedimentaris paleozoics de la zona de les Planes de Son i la mata de València. Els gruixos dels diferents trams són orientatius; en aquesta àrea no és possible establir la potència dels sediments silurians.



FIGURA 6. Nivell de gresos quarsosos de gra mitjà intercalats a les alternances de gresos i pelites cambroordovicians.

escala 1:25.000). Presenten coloracions grises o marronoses per alteració. Formen una sèrie potent i monòtona, en la qual de tant en tant es reconeixen intercalacions de lutites negres o grises molt fosques amb sulfurs de ferro, que en alterar-se proporcionen a les roques les coloracions rovellades que sovint s'observen en aquests paratges. Per les característiques litològiques, l'arranjament del conjunt i les escasses estructures sedimentàries originals que s'hi observen s'interpreta que es van dipositar en un medi marí.

En aquest sector només afloren els trams relativament més alts d'aquesta sèrie. No s'hi han trobat restes fòssils, però en situar-se estratigràficament per sota de nivells ben datats de l'Ordovicià superior s'atribueixen en conjunt al Cambroordovicià. Els millors afloraments es reconeixen prop d'Esterrí d'Àneu i a les carenes de castell Renau i Escobedo.

Aquesta unitat va ser anomenada com a sèrie de Pilàs - Estats per Zandvliet (1960) i posteriorment redefinida per Hartevelt (1970) com a Fm de la Seu.

Els materials sedimentaris de l'Ordovicià superior

El registre sedimentari de l'Ordovicià superior és molt reduït en aquest sector en comparació del que es reconeix a bona part de la Pallaresa i a la Cerdanya, on està molt ben representat. La sèrie estratigràfica s'inicia amb un tram de conglomerats polimíctics, formats majoritàriament per còdols de quars i fragments de roca, en una matriu sorrenca, heteromètrica. Aquests conglomerats s'interpreten com a dipòsits de *debris flow*, formats en con-

dicions subaèries. Els afloraments de conglomerats són molt precaris i no sempre es pot assegurar que es trobin *in situ*, tot i ser abundants com a blocs en els vessants de la Mata; això indica que, tot i formar part del substrat, la potència en aquest sector deu ser reduïda, inferior a 30 m (Hartevelt, 1970) (figura 5), i l'àrea d'aflorament actual molt restringida, per erosió o per recobriment. Aquests materials detrítics grollers van ser definits formalment com a Fm conglomerats de la Rabassa (Hartevelt, 1970).

Per damunt la sèrie continua amb gresos quarsifeldspàtics i limolites ocre, en les quals es reconeixen alguns motlles de conquilles de braquiòpodes, tot i que molt mal conservats. Són les primeres restes d'organismes que es troben en aquesta àrea i per correlació amb zones veïnes s'atribueixen a l'Ordovicià superior. En molts treballs a aquests gresos se'ls anomena *schistes troueés*, que es pot traduir al català com a «limolites traucades». Van ser definits formalment com a Fm de Cava per Hartevelt (1969).

Tot sovint aquests nivells tenen intercalades capes centimètriques o decimètriques carbonàtiques, en general calcàries amb proporcions variables de siderita (carbonat de ferro) (figura 7); en aquestes capes es reconeixen restes de tiges de crinoïdeus que són formades per plaques monocristal·lines de calcita amb una forma circular característica. En conjunt tot aquest tram té uns 100 m de gruix (figura 5). Les limolites amb braquiòpodes i les calcàries amb crinoïdeus són indicatives d'un medi sedimentari marí, de plataforma mixta detrítica i carbonàtica. Afloren al revolt de la carretera de Son, a la carena que baixa des del Calvari. A les àrees on el gruix dels nivells carbonàtics és més gran i es poden individualitzar cartogràficament constitueixen la Fm calcàries d'Estana (Hartevelt, 1970).



FIGURA 7. Calcàries ocre amb restes de tiges de crinoïdeus i pirita, els cristalls menuts foscos; localment tenen acumulacions d'òxids de ferro. Són de l'Ordovicià superior.

La sèrie continua amb un tram de pissarres negres, en les quals ni tan sols no és possible reconèixer les traces de l'estratificació original. Formen una feixa d'amplada variable, a la qual en conjunt s'atribueix un gruix d'entre 150 i 200 m (figura 5). No s'hi han reconegut restes fòssils, però per les seves característiques i per correlació amb altres àrees dels Pirineus s'interpreten com a sediments marins i s'atribueixen a la part alta de l'Ordovicià. El seu nom formal és Fm pissarres negres d'Ansovell (Hartvelt, 1970). Tot sovint poden ser difícils de diferenciar dels materials silurians.

Els materials sedimentaris silurians

Els dipòsits silurians són formats per lutites negres carbonoses, molt riques en restes de matèria orgànica i en sulfurs. Constitueixen una unitat litològica molt característica, ja que en conjunt són relativament toves, emmascaren els dits i presenten un aspecte rebregat. Poden mostrar colors grisos o fins i tot blanquinosos per alteració superficial. En algun indret es reconeixen restes de graptòlits, molt mal conservats. La base de la sèrie s'ha interpretat en altres zones dels Pirineus com un contacte transicional sobre les pissarres fosques de la Fm d'Ansovell, però en aquesta zona sempre és modificat per contactes mecànics. No és possible establir-ne la successió estratigràfica a causa de la intensa deformació interna. S'interpreten com a sediments marins, dipositats en ambients poc oxigenats, cosa que propicià l'acumulació de matèria orgànica i la precipitació de sulfurs.

Hi ha bons afloraments al coll de Fogueruix, al Pas del Coro (figura 8) i a Campolado.



FIGURA 8. Les pissarres negres, en realitat de color gris molt fosc, atribuïdes al Silurià; l'aflorament és prop del Pas del Coro.

L'aspecte rebregat és degut al comportament plàstic davant de la deformació, que fa que actuïn com a nivell de desenganxament entre tot el conjunt cambrià i ordoviccià infra-jacent i els materials carbonàtics devonians que tenen estratigràficament al damunt.

Una altra característica de les pissarres negres és que en conjunt són impermeables; tot sovint les fonts properes mostren acumulacions d'òxids de ferro.

Els materials sedimentaris devonians

Els materials devonians són el conjunt de roques carbonàtiques que formen la carena de lo Tésol a la serra de lo Pago (figura 4) i ofereixen els afloraments de les roques del substrat més extensos de la zona d'estudi.

El contacte entre les pissarres negres del Silurià i els carbonats devonians es troba sempre distorsionat per efecte de la tectònica herciniana i alpina. És possible que fos un contacte transicional, similar als descrits en altres zones dels Pirineus (figura 5).

Els trams inferiors de la sèrie sedimentària devoniana són formats per una alternança de nivells centimètrics de calcàries ocre i lutites; en aquests nivells es reconeixen restes de crinoïdeus, si bé mal conservats. Per damunt tenen un nivell relativament potent de calcàries massives clares, que conserven l'estratificació en banes de centimètrics a decimètrics (figura 9). La part més alta de la sèrie devoniana que aflora a l'àrea d'estudi són pissarres grises amb intercalacions de carbonats. La unitat inferior va ser definida com a Fm de Rueda, el



FIGURA 9. Detall de les calcàries grises, amb restes de crinoïdeus. Són del Devonian. Afloren al sud-oest del Pas del Coro.

tram calcari intermedi com a Fm de Baciver o Castanesa i el tram més alt com a Fm de Fontjanina; a part dels noms formals, també cal esmentar que formen part del que els autors holandesos anomenen l'àrea de fàcies de Serra Negra (Mey, 1967 i 1968; Boersma, 1973, a Zwart, 1979). En conjunt, formen una sèrie d'uns 150 a 200 metres de gruix (figura 5).

Els nivells carbonàtics suprajacents a la resta de la unitat de Llavorsí, la Fm de Manyanet, no afloren en aquesta àrea. Els trams més alts de la sèrie devoniana a la unitat de Llavorsí són pissarres grises, les quals tampoc no afloren a l'àrea d'estudi. Es coneixen formalment com a Fm pissarres de Civís (Hartvelt, 1970) i, contràriament a l'atribució geocronològica clàssica que els atribuïa una edat carbonífera, són del Devonian mitjà.

Els sediments devonians són força ben datats al conjunt dels Pirineus i, per correlació amb les sèries més ben conegudes, els carbonats que afloren en aquesta àrea s'atribueixen al Devonian inferior (Poblet, 1991, i Sanz, 1995). En conjunt, s'interpreten com a sediments marins de plataforma carbonàtica o de talús.

Les roques metamòrfiques: els efectes del metamorfisme de contacte

Al sector occidental de l'àrea d'estudi afloren roques metamòrfiques, majoritàriament marbres i cornianes calcosilicatades.

Aquestes roques es formaren com a conseqüència de l'augment de temperatura provocat per l'emplaçament del batòlit de la Maladeta en les roques, sedimentàries encaixants, els protòlits, cosa que provocà la recristal·lització d'aquestes roques, i confereixen al conjunt un aspecte massiu. Els efectes del metamorfisme de contacte es reconeixen en una franja d'uns 1.000 m aproximadament, paral·lela a la vora del cos intrusiu (figura 4). La formació de l'aurèola de metamorfisme de contacte fou sincrònica a l'emplaçament del batòlit de la Maladeta, que se situa en el límit Carbonífer-Permià (aproximadament 300 Ma).

Les modificacions en els protòlits degudes al metamorfisme de contacte n'afecten sempre la textura i, de manera variable, la composició mineralògica. A les calcàries, formades exclusivament per carbonat de calci, els efectes de l'augment de temperatura només modifiquen la textura: els grans de calcita recristal·litzen i en conjunt augmenta la mida de gra, alhora que es difuminen les estructures sedimentàries originals. Les roques que en deriven són els marbres, de colors clars i amb un aspecte homogeni i massiu.

Les alternances de nivells calcaris i nivells lutítics conserven el bandat litològic original i esdevenen alternances de nivells de marbres i de cornianes o cornianes calcosilicatades (figura 10). La composició mineralògica d'aquests darrers nivells és variada i depèn de la distància del contacte amb els granitoides, és a dir, de l'augment de temperatura, així com de la composició química original dels nivells lutítics. La mida de gra aquí és menuda i no permet reconèixer els minerals a ull nu.

Els processos metamòrfics obliteren bona part de les estructures sedimentàries i de les possibles restes fòssils d'aquests carbonats, de manera que el seu estudi en aquest sector és per força més incomplet. Però també proporcionen a les roques una major duresa i resistència a l'erosió; aquesta pot ser una de les raons per la qual formen la carena més alta i escarpada de l'àrea.

Els millors afloraments del conjunt són als vessants de les canals de les Estanyeres i de lo Tonedor. Els nivells de marbres i roques calcosilicatades afloren a la zona de la pleta Amagada.



FIGURA 10. Els materials devonians, tot i que estan afectats pel metamorfisme de contacte, conserven el bandat sedimentari original, format per nivells calcaris i nivells lutítics, que s'han convertit en marbres i cornianes. Els marbres són de color gris i homogenis, i les cornianes són més fosques, amb un aspecte quarterat

Les roques filonianes

Durant el reconeixement geològic del substrat s'han localitzat alguns afloraments de roques filonianes. Destaquen el filó de quars blanc al Pas del Coro, encaixat en els gresos quarsítics cambroordovicians; té una orientació NW-SE, proper a la vertical, i assoleix un metre d'amplada. Prop dels nivells de carbonats de l'Ordovicià superior aflora un filó de calcita i siderita (carbonat de ferro), d'uns 2 m de gruix, al revolt de la carretera de Son, per sota la carena del Calvari.

Les roques filonianes s'atribueixen en conjunt al Paleozoic per manca de datacions més precises.

Alguns reculls bibliogràfics esmenten la presència d'indicis de ferro, però a hores d'ara se'n desconeix la situació.

Les roques intrusives: els granitoides

Tot i que no afloren a l'àrea d'estudi (figures 3 i 4), els granitoides són una de les roques més esteses a la vall de Son, en ser un dels components detrítics majoritaris dels dipòsits glacials plistocens.

El terme *granitoides* defineix un conjunt de roques ígnies intrusives de composició àcida que comprèn els granits, les granodiorites i les tonalites, i del qual es desconeix la composició mineralògica i geoquímica precisa (Strekeisen, 1976, a Riba, 1997). S'utilitza per denominar qualsevol roca ígnia cristal·lina granular d'aspecte «granític», formada per quars i minerals del grup dels feldspats en proporcions variables, biotita i altres silicats de ferro i magnesi, com ara l'hornblenda. Els feldspats són de les sèries de la plagiòclasi i del feldspat potàssic.

Dels minerals que constitueixen els granitoides, els feldspats són els que s'alteren amb més facilitat i formen minerals del grup de les argiles i deixen lliures els grans de quars i d'altres minerals de mida sorra, tan abundants als dipòsits plistocens.

Els blocs de granitoides de la zona de Son han estat transportats majoritàriament des del batòlit de la Maladeta, a ponent de l'àrea que ens ocupa. Els afloraments més propers són al vessant oest de la carena de lo Tésol, a la vall de Cabanes (figura 4), on el contacte entre els granitoides de la Maladeta i els carbonats devonians de la unitat de Llavorsí és intrusiu. Està molt recobert per esbaldregalls de pendent i se situa aproximadament a la cota de 2.300 m al vessant oriental de la vall.

4.1.2. Els materials del «recobriment»: els dipòsits plistocens i holocens (quaternaris)

Els materials sedimentaris plistocens i holocens són els que ocupen una major extensió a l'àrea d'estudi (figura 4 i mapa geològic a escala 1:25.000). En general, assoleixen gruixos d'algunes desenes de metres (Serrat *et al.*, 1981) excepte al pla d'Esterrí, on el relleu holocè de l'antiga cubeta de sobreexcavació glacial arriba a gruixos superiors als 300 m (Bordonau *et al.*, 1989).

Tal com ja s'ha esmentat a la introducció a aquest capítol, les roques paleozoiques constitueixen el substrat i alhora la «font» dels components detrítics dels dipòsits plistocens i holocens; tots són sempre discordants damunt les roques paleozoiques.

Pel que fa als límits del Plistocè i l'Holocè i a l'edat dels cicles glacials i interglacials, en aquest capítol s'utilitzaran les dades més actualitzades (Silva *et al.*, 2007). La base del Plistocè se situa fa 1,8 Ma, però la seqüència de cicles glacials i interglacials plistocens s'inicià ara fa uns 900.000 anys (0,9 Ma). Durant el Plistocè superior s'esdevingué el darrer període climàtic càlid, anomenat Eemià, el qual s'inicià fa uns 118.000 anys i finalitzà al començament de la darrera glaciació, fa uns 70.000 anys. El darrer període climàtic fred, també anomenat Würm, quedà ben reflectit als Pirineus, amb diferents fases d'avanç, estabilització i retrocés de les glaceres. (Vegeu l'article *Geomorfologia de les Planes de Son i la mata de València: la influència del modelat glacial i periglacial*, de Josep Ventura, en aquest mateix volum.) Dels períodes glacials i interglacials anteriors no hi ha registre a l'àrea d'estudi. L'Holocè correspon al període climàtic càlid actual, que es va iniciar ara fa uns 10.000 anys.

Les edats absolutes dels diversos dipòsits són difícils de determinar i per tant s'utilitzaran les edats relatives i els mètodes de correlació estratigràfica, de manera que, si en un futur es pot concretar l'edat (o els intervals d'edat) d'algun d'aquests materials, les noves dades es puguin incorporar al conjunt d'aquests treballs sense alterar l'esquema general. Per això en aquest capítol s'atribueixen tots els dipòsits directament relacionats amb el glacialisme al Plistocè superior i tots els que el succeeixen a l'Holocè; entre aquests es descriuran separadament els dipòsits relativament antics i els que es formen actualment i que tenen una relació directa amb els processos geològics funcionals.

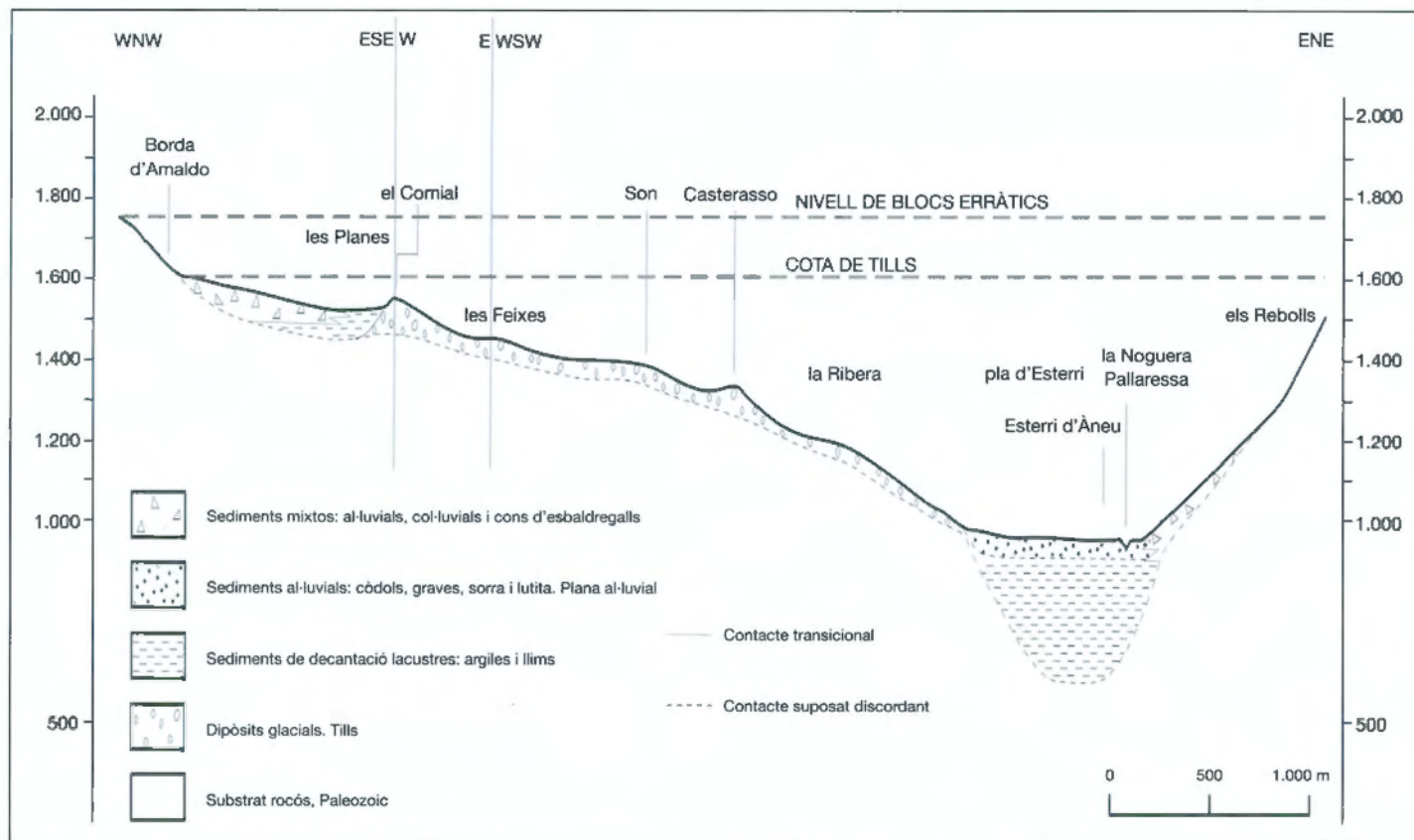


FIGURA 11. Tall geològic dels dipòsits plistocens i holocens de la vall penjada de Son i de la cubeta de sobreexcavació glacial d'Esterri. Hi és reflectida l'alçària màxima de les restes glacials, indicades pels blocs erràtics.

En tots els casos es descriuen, amb els més recents, els dipòsits amb una història llarga, que abraci l'Holocè i part del Plistocè superior; és el cas de les tarteres i dels esbaldregalls de pendent.

Per mostrar les relacions verticals i laterals dels dipòsits plistocens i holocens amb gruixos rellevants s'ha construït un tall geològic d'aquests (figura 11) que transcorre des de la Borda d'Arnaldo, a l'oest de les Planes de Son, passant per aquestes i pel nucli de Son, fins al vessant del serrat d'Escobedo, a l'est del pla d'Esterrí. En aquest tall es reconeixen clarament els trets morfològics principals de la vall penjada de Son: l'estany de barratge reblert de les Planes, la morena lateral del Comial i les restes dels dipòsits de till als vessants, entre els quals sobresurt la morena lateral del Casterasso. Aigües avall, a la vora oest del pla d'Esterrí, es reconeix el ventall al·luvial dels prats del Riu de Son i, tot seguit, la plana al·luvial actual, que recobreix els dipòsits lacustres que rebleixen la cubeta d'Esterrí.

Els dipòsits plistocens

La caracterització i classificació dels materials plistocens es basa en l'estudi de les fàcies sedimentàries, la granulometria dels dipòsits, la situació i la morfologia original, quan encara es conserva; aquest conjunt d'observacions proporcionen una interpretació genètica per a cada tipus de dipòsit. Totes aquestes dades són, en bona part, el resultat dels treballs de cartografia geològica que es van dur a terme per un equip especialitzat (Serrat *et al.*, 1981); aquesta classificació i, en conseqüència, la seva expressió cartogràfica han estat revisades i actualitzades per a aquest treball en col·laboració amb Josep Ventura (vegeu l'article *Geomorfologia de les Planes de Son i la mata de València: la influència del modelat glacial i periglacial*, en aquest mateix volum).

En l'àrea d'estudi es reconeixen diferents tipus de dipòsits que es descriuran tal com s'ha fet per a les roques del substrat, atenent a criteris litològics i tot indicant posteriorment la interpretació de l'origen.

4.1.3. Dipòsits detrítics grollers, heteromètrics i mal classificats: tills

Constitueixen acumulacions detríctiques, amb elements de dimensions que oscil·len entre mètriques, els blocs, i mil·limètriques; en la fracció més fina predomina la sorra, i en determinats indrets, les argiles. Els blocs són de subangulosos a subarrodonits. En conjunt, no presenten cap mena d'estructura interna i es podria dir que són dipòsits desorganitzats. No estan cimentats (figura 12). Totes aquestes característiques permeten dir que es tracta de tills i s'interpreten com el conjunt de materials formats pels arrossegalls transportats i dipositats exclusivament per les glaceres. Aquests materials són els que ocupen més extensió cartogràfica a l'àrea d'estudi (figures 4 i 11, i mapa geològic a escala 1:25.000). El gruix és molt variable i oscil·la entre mètric i decamètric.

La composició litològica dels blocs i els clasts dels tills difereix segons l'àrea font de la glacera que els transportà. Així, els tills de les glaceres de circ de lo Tonedor i de la pala de Palomera són formats per blocs de carbonats devonians, de procedència local, amb proporcions variables de matriu. L'àrea d'afiorament d'aquests dipòsits és restringida a les canals dels circs glacials i a Campolado.

Els dipòsits del Pas del Coro contenen abundants blocs de granitoides, roques que no



FIGURA 12. Blocs de granitoides heteromètrics en una matriu sorrenca. Són els dipòsits de till glacial plistocens.

afloren a la capçalera de la vall de Son; la composició del till indica que prové de zones on afloren aquestes roques, en aquest cas de la vall de Cabanes.

Tots els tills de la vall de Son també tenen una proporció elevada de blocs de granitoides, a més d'una matriu sorrenca abundant; aquests components van ser transportats per la glacera de la Pallaresa, que va penetrar lateralment a la vall de Son.

A més de la composició litològica, els tills es classifiquen amb relació a la posició que ocupaven respecte de les glaceres: així, es diferencien els dipòsits subglacials, els supraglacials i juxtaglacial. Les descripcions acurades de cadascun d'aquests tipus són a l'article dedicat a la geomorfologia (vegeu *Geomorfologia de les Planes de Son i la mata de València: la influència del modelat glacial i periglacial*, de Josep Ventura, en aquest mateix volum).

Els dipòsits subglacials són tots aquells que s'acumulen sota la glacera, entre aquesta i el substrat rocós. Es caracteritzen per una proporció de matriu lutítica elevada, la presència de blocs estriats pel fregament amb les roques del substrat i nivells sorrenca deformats per la compressió de la mateixa glacera. Han estat reconeguts en diversos indrets i les obres de la nova carretera C-13 han proporcionat talls excel·lents d'aquests dipòsits.

Els dipòsits supraglacials són aquells que se situen per damunt, als flancs i davant de la glacera; localment poden haver estat modificats per l'aigua de fusió, que renta el conjunt i s'endú les argiles i els llims, les fraccions granulomètriques més fines. Tot sovint conserven la morfologia pròpia del dipòsit, i el cas més comú és el de les morenes frontals i laterals. Són els dipòsits glacials més abundants a la zona d'estudi. Afloren a tota la vall de Son entre les cotes de 1.200 i 1.600 m, als plans d'Arrose i a la vall de Cabanes.

Els dipòsits juxtaglacial són aquells que s'acumulen entre els vessants rocosos i la glacera; són formats per cairells o clasts angulosos, amb proporcions variables de matriu lutítica. Localment hi pot haver actuat l'aigua de fusió, que deixa nivells de sorres i graves

amb estructures tractivas. Se situen en posicions topogràfiques molt enlairades, allunyades dels fons de vall actuals. Són dipòsits mixtos, en els quals els aportaments periglaciàls procedents dels vessants són molt abundants, però la seva situació, adossats als vessants i en cotes relativament elevades, indica que la seva acumulació va estar del tot condicionada per l'existència de les glaceres. Poden conservar la morfologia original, però el més normal és que hagin estat parcialment erosionats i recoberts per dipòsits col·luvials posteriors. Hi ha bons afloraments d'aquests dipòsits a les pistes del vessant SE del serrat de Sarroca.

Els dipòsits supraglaciàls, subglaciàls i juxtaglaciàls no són cartografiàbles de manera homogènia per a tota la zona i per tant han quedat inclosos dins el conjunt dels dipòsits glaciàls (figura 4 i mapa geològic a escala 1:25.000). Tan sols s'han indicat aquells que conserven la morfologia originària, com les morenes laterals i alguns dipòsits juxtaglaciàls.

Les morenes són formes d'acumulació glaciàl constituïdes per tills. A la vall de Son se'n reconeixen dos exemples molt ben preservats, amb la morfologia de llom tan característica i la concavitat aigües avall, ja que són morenes laterals de la glacera de la Pallaresa (figura 11); la més enlairada és el Comial (1.550 m), a les Planes de Son, i a una cota inferior (1.323 m) hi ha el Casterasso, aigües avall del nucli de Son. Ambdues delimiten àrees planeres, amb rebliment lacustre i especialment la del Comial no ha estat gens alterada per l'erosió.

D'altra banda, s'ha indicat al mapa geològic a escala 1:25.000 el que es defineix com a dipòsits sense un contorn definit, és a dir, aquells rastres esparsos els quals es reconeixen pels vessants però que no són cartografiàbles com un conjunt: són els blocs erràtics o bé els components detrítics de mida bloc que correspondrien a restes de tills amb la matriu erosionada. Aquests elements, tan abundants als vessants d'aquesta zona (figura 13), són indicadors excel·lents de l'extensió i gruix del glaç perquè en ser d'una litologia diferent de



FIGURA 13. La costa de la Solana, al nord de Son, és formada a la part baixa per dipòsits de till plis-tocens, ocupats per bancals i prats, amb blocs esparsos de granitoides; aquests també es veuen vessant amunt, on ja floreixen les roques del substrat paleozoic, i indiquen l'abast de la glacera.

la del substrat han estat molt útils per determinar l'abast de les glaceres, ja que indiquen l'alçada topogràfica màxima que van assolir. En el cas de la vall de Son s'han localitzat blocs de granitoides fins a la cota de 1.765 m a la Solana de Son i fins a la de 1.575 m al bosc Negre (figura 11), i a la mata de València n'hi ha fins als 1.865 m.

Tots aquests dipòsits són relacionats directament amb les glaceres i s'atribueixen al Plistocè superior.

4.1.4. Dipòsits clàstics endreçats: esbaldregalls de pendent

Són acumulacions formades per clasts de dimensions centimètriques amb o sense matriu, que presenten en conjunt un llitatge, amb un fort pendent deposicional (de l'ordre de 20° a 25°). En general, estan relativament consolidats. Constitueixen dipòsits d'esbaldregalls de pendent en la formació dels quals predomina l'acció gravitacional i, localment, l'acció de l'aigua, que s'endú la fracció més fina i deixa els clasts «rentats» però sense remobilitzar-los. Són sempre per damunt de les glaceres de vall i s'interpreten com a dipòsits periglaciars. L'edat és difícil d'establir i s'atribueixen en conjunt al Plistocè.

Els dipòsits holocens

Els sediments holocens també ocupen una extensió gran a la zona d'estudi, especialment al pla d'Esterrí. Seguint les pautes utilitzades fins ara, es descriuran atenent a la litologia dels dipòsits i també a la cronologia relativa, i s'indicaran separadament aquells que són relativament antics i els que es formen actualment i que tenen una relació directa amb els processos geològics funcionals. Tots són sediments detrítics i per a la classificació es consideren els agents que propicien la fragmentació o erosió de les roques del substrat (paleozoiques i pliocenes en aquest cas), el transport i els diferents processos d'acumulació o de sedimentació: de caiguda, torrencials i fluvials o de decantació de material en suspensió.

De bona part dels sediments holocens només n'aflora la part superficial, però la morfologia d'aquests proporciona molta informació sobre el procés que els ha format.

4.1.5. Rocalla; blocs, cairells i clasts angulosos: tarteres

Són acumulacions rocoses, formades exclusivament per elements clàstics de procedència local que s'acumulen als vessants i als peus de les parets dels circs glacials; es tracta de blocs angulosos, cairells i clasts, en proporcions variables que constitueixen les tarteres d'alta muntanya. En són bons exemples les de les canals de les Estanyeres i de lo Tonedor. Tots els elements clàstics són fruit del trencament de les roques del substrat per l'acció del gel-desgel i de la subseqüent caiguda d'aquests per l'acció de la gravetat, sense que hi intervingui cap altre agent. El pendent és molt elevat, superior als 35°. Són dipòsits de caràcter periglaciari. Són funcionals i per tant holocens, tot i que també devien ser actius durant el Plistocè.

4.1.6. Rocalla; blocs, cairells i clasts angulosos sense matriu: glaceres rocalloses

Aquests dipòsits són formats exclusivament per elements rocosos clàstics de procedència local; es tracta de blocs angulosos, cairells i clasts, en proporcions variables que constitueixen acumulacions als circs glacials, a cotes superiors als 2.300 m. Ocupen les comes de la canal de les Estanyeres. Presenten una morfologia característica en cordons i per aquesta raó s'interpreten com a dipòsits de glaceres rocalloses. La gènesi dels blocs i els clasts està directament relacionada amb els fenòmens de fragmentació de les roques del substrat per processos de gel-desgel, mentre que la morfologia del dipòsit és conseqüència de la mobilització dels elements clàstics per efecte del gel intersticial (vegeu l'article *Geomorfologia de les Planes de Son i la mata de València: la influència del modelat glacial i periglacial*, de Josep Ventura, en aquest mateix volum). Són dipòsits periglacials antics que ja no són funcionals.

4.1.7. Cairells i clasts angulosos amb proporcions variables de matriu: esbaldregalls de pendent

Bona part dels vessants de la vall de Son i de la mata de València està recoberta per dipòsits formats per cairells i clasts angulosos, de procedència local, amb proporcions variables de matriu sorrenca o llimosa. Poden ser desordenats o presentar una organització interna en nivells de diferent composició i mida de gra. En molts indrets incorporen material erosionat provinent dels dipòsits plistocens. El pendent és acusat, de 20° a 25°. El gruix d'aquests dipòsits és d'ordre mètric. S'interpreten com a col·luvions i esbaldregalls de pendent, formats per processos gravitacionals amb intervenció esporàdica del transport per corrents de tipus torrencial. Afloren extensament en molts dels vessants de la zona d'estudi.

4.1.8. Cairells i clasts angulosos amb matriu sorrenca o llimosa: cons d'esbaldregalls

A les zones enlairades topogràficament es reconeixen dipòsits formats per cairells i clasts angulosos o subarrodonits, amb matriu sorrenca o llimosa. L'estructura interna és difícil d'observar per manca d'affloraments (figura 14). Presenten una morfologia en ventall i s'interpreten com a dipòsits mixtos, al·luvials i col·luvials (figura 11). Poden estar relacionats lateralment amb els esbaldregalls de pendent, però l'acció del transport per corrents torrencials és més acusada. Un exemple ben clar és el que forma el barranc del Tinter als prats de Piero.

4.1.9. Conjunts rocosos caòtics: esllavissades gravitacionals

En alguns indrets de la vall de Son s'identifiquen, per bé que amb dificultats, masses de blocs rocalloses amb elements individuals de dimensions decamètriques; la possibilitat d'atribuir aquests «megablocs» a veritables afloraments del substrat paleozoic, roques *in situ*, complica la cartografia geològica i ha provocat alguna interpretació estructural errònia.



FIGURA 14. Les Planes de Son des de la borda d'Arnaldo. Els prats de dall, en primer terme, relativament pendents, aprofiten els cons d'esbaldregalls. En segon terme, les Planes, que corresponen als dipòsits de rebliment lacustre; a darrere, barrant la vall, el llom del Comial és una morena lateral de la glacera de la Pallaresa.

Formen unitats cartogràfiques que es caracteritzen per l'heterogeneïtat dels components, l'estructura caòtica i la morfologia característica en lòbuls o «bonys». S'interpreten com el resultat d'esllavissades rocoses gravitacionals; en alguns casos es reconeix, en cotes més altes, la cicatriu de l'esllavissada. Les més destacables són al nord i a l'est dels planells de Tosa i ocupen una àrea que queda en bona part delimitada per les cicatrius de les esllavissades; les masses esllavissades afloren a la cabana de Cabanyeres i als plans de Breviari (figura 4 i mapa geològic a escala 1:25.000).

Fora de l'àmbit estricte de l'àrea d'estudi es reconeixen altres esllavissades gravitacionals que hi tenen efectes directes: l'una és a lo Costerasso, al vessant nord de la vall de la Bonaigua, on la massa rocosa esllavissada barrà el pas del riu de la Bonaigua i provocà la formació aigües amunt de l'estany de la Senyora, actualment pràcticament reblert; l'altra és al marge dret del barranc d'Arrose i modificà el traçat d'aquest curs torrencial alhora que aportà grans quantitats de components detrítics al ventall al·luvial dels camps de Salito. Al marge esquerre d'aquest barranc també es conserven les restes de cicatrius d'esllavissades que deixen al descobert les roques paleozoiques del substrat, però no es reconeix la massa despresa que devia ser arrossegada per les aigües del torrent.

És possible que també s'hagin produït esllavissades gravitacionals a la mata de València, a la mata de Son i a la capçalera de la vall d'Arrose (plana d'Aires) però no ha estat possible fer-ne la delimitació precisa.

El desprendiment rocós de lo Costerasso és el més recent, les esllavissades de la zona dels planells de Tosa i d'Arrose són de l'Holocè, algunes de les quals possiblement històriques; les de la mata de València i la mata de Son són també holocenes, tot i que en estar més desfigurades deuen ser probablement més antigues.

4.1.10. Còdols i graves amb matriu: ventalls al·luvials

Constitueixen els dipòsits formats per nivells de graves i còdols subarrodonits, alternats amb nivells sorrenes i lutítics. Els nivells amb components més grollers tenen morfologia de canal. La composició dels còdols varia en funció de l'àrea font, és a dir, dels materials que afloren a la conca torrencial que alimenta cadascun d'aquests ventalls; en bona part són elements dels dipòsits glacials plistocens erosionats i transportats pels corrents. En conjunt, presenten una morfologia en ventall bombat molt característica, amb pendents que varien entre els 11° als sectors proximals, amb sediments més grollers, i els 5° a les parts distals, formades per sediments més fins i que passen lateralment a la plana al·luvial (figura 11). El millor exemple és al marge oest del pla d'Esterrí, a la zona dels prats del Riu de Son, format pels arrossegalls del riu de Son. El ventall dels camps de Salito i els Arenys és format pels arrossegalls del torrent d'Arrose i, en estar més erosionat, proporciona molt bons afloraments dels dipòsits que el formen i del seu arranament intern.

4.1.11. Graves i còdols amb matriu sorrenca: els dipòsits torrencials i la plana al·luvial recent

El llit dels torrents actuals és format per còdols i graves amb matriu sorrenca. Aquests materials difícilment poden ser considerats com a dipòsits individualitzats als torrents més enlairats, ja que hi predominen el transport de material detrític i l'erosió respecte de la sedimentació. Per contra, al pla d'Esterrí els dipòsits de còdols i graves amb matriu sorrenca o lutítica ocupen bona part de la plana fluvial i el llit actual de la Noguera Pallaresa. Els afloraments són molt escassos, tot sovint efímers, provocats per l'excavació en obres civils. La morfologia planera i la proximitat al riu o als torrents permeten classificar-los com a sediments torrencials i al·luvials, formats pel transport dels elements detrítics en un medi aquós durant les crescudes i dipositats a les vores dels torrents o a la plana al·luvial. Per a la delimitació cartogràfica s'ha utilitzat el pendent de la superfície del dipòsit i han quedat individualitzats els de la plana al·luvial, el pla d'Esterrí, d'aquells dels torrents actuals i dels ventalls al·luvials. Els límits laterals entre aquestes unitats és transicional (figura 11).

4.1.12. Llims i argiles: dipòsits lacustres

D'aquests materials no hi ha pràcticament cap aflorament i només es poden diferenciar per la morfologia horitzontal de les àrees que ocupen (figura 14), per la situació i el context geològic i morfològic i per les dades de subsòl disponibles.

Per correlació amb altres valls en les quals hi ha bons afloraments, com la vall de Llauset (Serrat & Vilaplana, 1992), se sap que són formats per argiles i llims que alternen amb nivells sorrenes a les àrees més fondes o per nivells de llims negres rics en matèria orgànica que alternen amb nivells de sorres a les zones marginals, de poca fondària, o als nivells més alts de rebliment.

A l'àrea d'estudi hi ha dos exemples excel·lents: a la vall de Son la morena lateral de l'apèndix de la glacera de la Pallaresa, molt ben conservada al Comial, propicià la formació aigües amunt d'un llac de barratge; en aquest llac es dipositaren probablement sediments detrítics fins i argiles de decantació, pròpies d'aquests medis. El llac és actualment totalment reblert i els torrents de les Cabanyeres i de les Estanyeres drenen l'antiga zona

lacustre per ambdues bandes de la morena lateral que forma el llom del Comial (1.550 m). La zona lacustre de les planes de Son pot tenir un registre sedimentari continu que superi els darrers 10.000 anys. No hi ha cap aflorament d'aquests dipòsits, ja que els torrents a banda i banda discorren pràcticament a la mateixa cota, poc o molt canalitzats per la mà de l'home, i no s'hi han encaixat encara. Els materials que s'observen en superfície són llims foscos, probablement molt rics en matèria orgànica. La construcció del tall geològic (figura 11) permet estimar el gruix dels dipòsits lacustres en més de 50 m.

És probable que també hi hagi dipòsits lacustres al pla de Querides, entre el nucli de Son i el Casterasso (1.323 m), que constitueix un segon arc morènic a una cota inferior a la del Comial (figura 11).

El pla d'Estერი també és majoritàriament reblert en fondària per dipòsits lacustres de rebliment. Són formats per lutites amb intercalacions sorrenques i algun clast espars. Els estudis geofísics (Bordonau *et al.*, 1989) indiquen un gruix superior als 300 m, és a dir, que el substrat rocós que aflora a banda i banda del pla d'Estერი i que forma el vas de la cubeta, es troba aproximadament a la cota de 400 m (figura 11). Els dipòsits lacustres estan actualment recoberts per graves, sorres i llims que constitueixen els sediments de rebliment fluviodeltaics i els de la plana fluvial actual.

La cubeta d'Estერი es formà per sobreexcavació glacial a la confluència de les glaceres de la Noguera Pallaresa, de la Bonaigua i d'Unarre. En fondre's el glaç l'espai sobreexcavat fou ocupat per un llac; el rebliment sedimentari abraça uns 10.000 anys.

4.1.13. Torbes: argiles i llims amb abundants restes de matèria orgànica vegetal

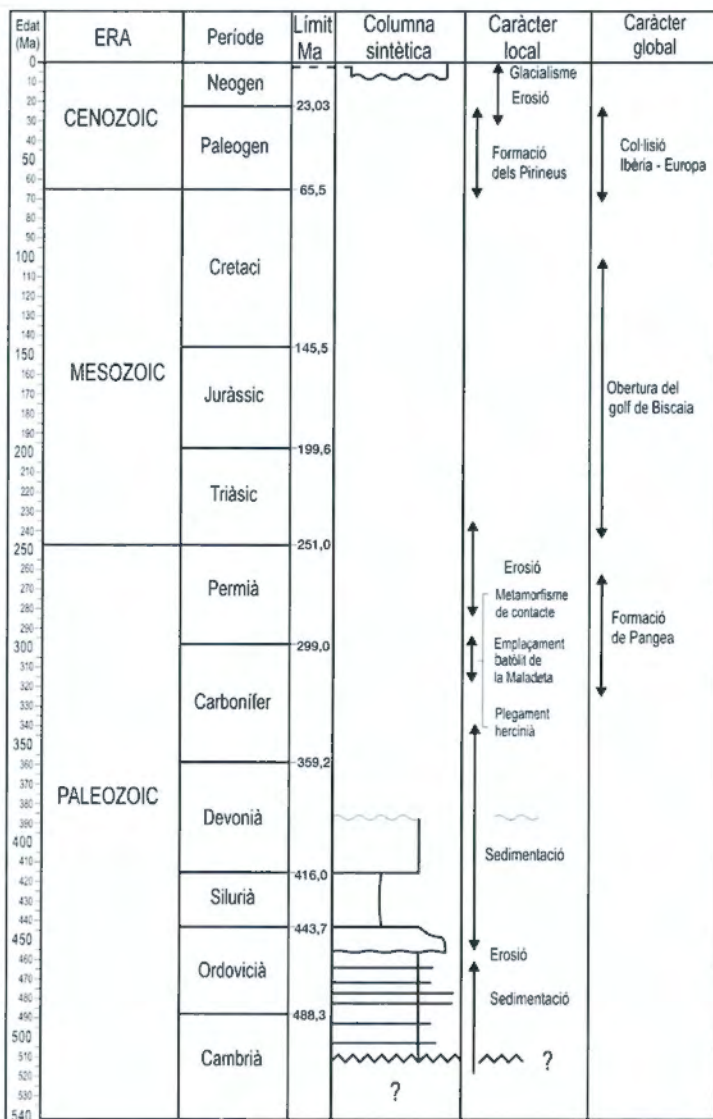
Les torbes són formades per l'acumulació de restes de matèria orgànica vegetal, amb proporcions variables d'argila. Són comunes als nivells més alts dels sediments de rebliment dels llacs glacials i als estanyols pràcticament reblerts; els indrets on actualment encara se sedimenten llims amb abundant matèria orgànica vegetal s'anomenen *molleres*. Les més destacades són les de la zona de les Estanyeres, on ocupen clotades entre els afloraments de roques del substrat i els dipòsits glacials i periglacials; és possible que hi hagi nivells de torbes a les Planes de Son i al pla de Querides. A la vall de la Bonaigua eren conegudes les de l'estany de la Senyora, al límit de l'àrea d'estudi.

En tot cas, les més destacades són les que han posat al descobert les obres de la variant de la carretera C-28, aigües amunt de València d'Àneu, entre els indrets de prats de la Vila i Campolado; aquests dipòsits estan extensament descrits al treball dedicat al paisatge vegetal (Pèlachs *et al.*, en aquest volum). Possiblement s'acumularen a favor d'algun clot d'excavació glacial; el rebliment d'aquest és format per un tram inferior de dipòsits de till glacial (conglomerats de blocs granítics), amb graves i còdols al sostre que indicarien la circulació d'aigua superficial. Al damunt la unitat superior és formada majoritàriament per torba amb abundants restes vegetals (fustes i carbons) als trams més alts.

4.2. L'ESTRUCTURA I ELS PROCESSOS GEOLÒGICS

Un dels objectius d'aquest treball és explicar els processos i esdeveniments geològics que han conduït a la constitució i la morfologia de la vall de Son i la mata de València tal

com les veiem actualment. En aquest capítol es fa un breu recorregut per la història geològica d'aquesta zona i s'expliquen des dels processos passats, que tingueren lloc durant els cicles orogènics hercinià i alpi, fins als processos funcionals. Tots són resumits a la taula 1.



TAULA 1. En paral·lel a l'escala dels temps geològics, aquest quadre mostra l'abast temporal i el tipus de processos que s'han enregistrat en aquesta zona des de fa uns 550 Ma. Les quatre primeres columnes corresponen a l'escala geocronològica en milions d'anys (Ma), les eres, els períodes i l'edat concreta dels límits entre aquests. La columna sintètica mostra el registre sedimentari, molt reduït; l'abast dels dipòsits plistocens i holocens està exagerat. Les dues columnes finals volen expressar gràficament la situació en els temps geològics i la durada dels processos geològics de caràcter local i global; aquests darrers, referits només a l'àmbit dels Pirineus.

4.2.1. El cicle orogènic hercinià i l'estructura herciniana

Als Pirineus afloren, gràcies a la tectònica alpina i a l'erosió posterior, fragments de l'antiga serralada herciniana. Els materials que els constitueixen i els ambients sedimentaris en els quals es formaren ja han estat descrits, i en aquest apartat es prestarà atenció als processos geològics propis de la geodinàmica interna que s'esdevingueren durant un lapse de temps comprès entre 315 Ma i 300 Ma, aproximadament, durant l'orogènia herciniana.

La sedimentació de tots els materials descrits succeí abans de la col·lisió de les plaques continentals que provocà la formació de la serralada herciniana. Aquesta és molt extensa i, com ja s'ha esmentat, als Pirineus n'afloren fragments relativament petits.

En l'àmbit de la Zona Axial pirinenca els principals efectes de l'orogènia herciniana són:

- el desenvolupament de diversos sistemes de plecs de gran escala;
- la formació de mantells de corriment;
- els processos metamòrfics regionals provocats per l'augment de la temperatura i de la pressió en franges molt àmplies;
- l'emplaçament de grans batòlits intrusius, majoritàriament de granitoides, amb el consegüent escalfament de les roques sedimentàries encaixants i la formació d'aurèoles de metamorfisme de contacte.

Es descriuran en aquest ordre tots aquells que participen en la configuració de la zona d'estudi.

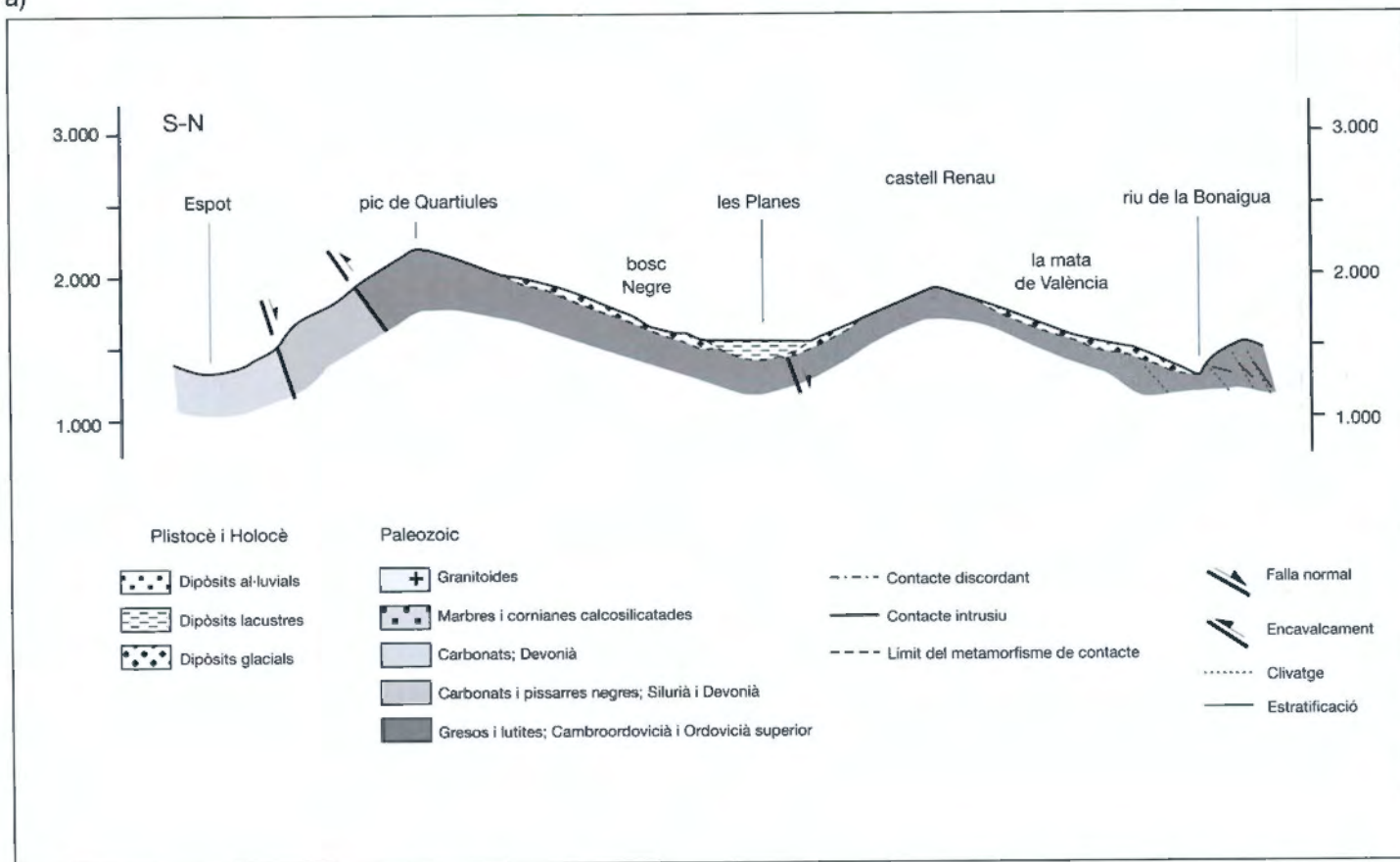
Els sistemes de plecs

A la zona que ens ocupa es reconeixen tres sistemes de plecs. Els més evidents formen un sistema en direcció aproximada oest-est, amb estructures de totes les escales, des de centimètrica fins a quilomètrica. L'anàlisi de les estructures menors permet deduir bona part de l'arranjament general de les roques. Aquest sistema de plecs duu associat un clivatge ben desenvolupat que afecta tots els materials sedimentaris prehercinians; per aquesta raó s'anomena sovint «clivatge regional». En aquesta àrea té una orientació oest-est, amb un cabussament d'uns 55° cap al nord (figura 15 i mapa geològic a escala 1:25.000). Les relacions angulars entre el clivatge i les superfícies d'estratificació (figura 16 interpretada) permeten reconstruir la geometria dels plecs a gran escala. De l'anàlisi del conjunt de la zona, recolzada amb dades de la resta de la unitat de la Pallaresa, es dedueix que són plecs tombats amb vergència sud. Són asimètries i en general tenen l'estratificació amb cabussaments relativament suaus cap al nord en els flancs llargs i propera a la vertical o invertida en el flanc curt (figura 15a).

Les estructures relacionades amb aquest sistema de plecs es reconeixen arreu de la zona d'estudi, ja que afecten tots els materials del Cambroordovicià, Ordovicià superior, Silurià i Devonian.

La conseqüència més immediata del desenvolupament d'aquestes estructures és que proporcionen al conjunt de les roques sedimentàries paleozoiques dos sistemes de plans de discontinuïtat: el bandat litològic originari i el clivatge, amb angles variables entre ells. Aquest fet tindrà importància en els processos erosius, com s'explicarà més endavant.

a)



b)

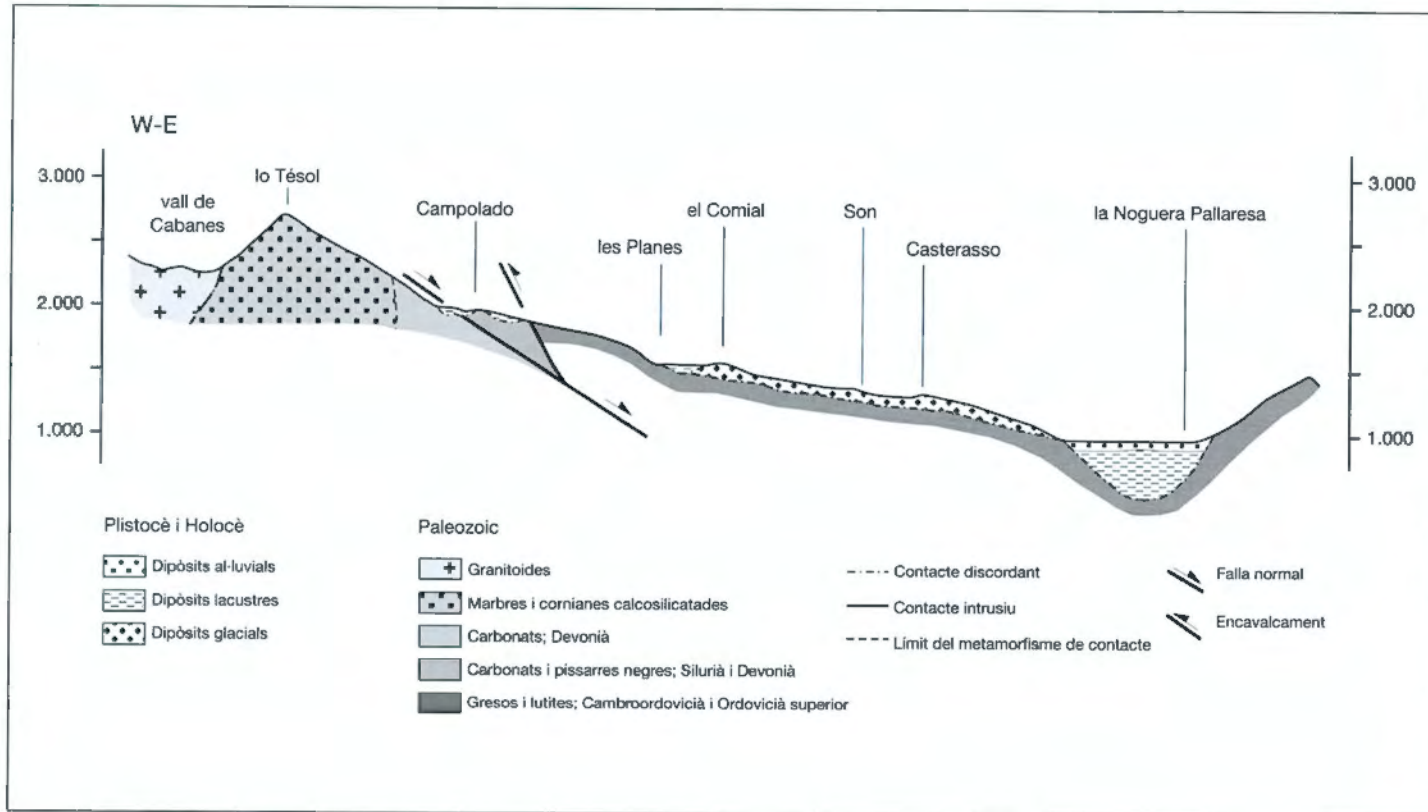


FIGURA 15a-b. Talls geològics de la zona de les Planes de Son i la mata de València. a) Tall en direcció S-N, perpendicular a les estructures de plegament hercinianes. b) Tall en direcció W-E, amb la falla neògena de la Bonaigua i els dipòsits plistocèns i holocèns.

El sistema de plecs anteriors (més antics) es dedueix del context regional de tota la unitat de la Pallaresa. En mesurar i analitzar la distribució de les estructures menors, especialment les lineacions d'intersecció, s'observa en les projeccions estereogràfiques una distribució en ventall que abraça uns 180° de dispersió (Losantos, 1986). Aquesta distribució és pròpia de les estructures d'interferència de plecs, en les quals els eixos del primer sistema queden redistribuïts per l'efecte dels posteriors. En aquest primer sistema de plecs no sempre es desenvolupa clivatge. No se n'ha observat cap en cap aflorament de la zona d'estudi.

Amb posterioritat a la formació del sistema de plecs oest-est i al desenvolupament del clivatge regional associat, el darrer conjunt d'estructures de plegament són d'abast més local i no sempre tenen clivatge associat. Els eixos presenten una distribució irregular i els plans axials són redreçats, amb una orientació més variable (figura 15a). N'hi ha bons exemples a la carretera de Son.

El conjunt de les estructures de plegament, si més no les del primer i segon sistema de plecs, són el resultat de la deformació herciniana i poc o molt distorsionades pels efectes de l'orogènia alpina, sobretot pel que fa a la inclinació dels plans axials i al clivatge associat al sistema de plecs oest-est.



FIGURA 16. La fotografia mostra els gresos amb nivells de carbonats de l'Ordovicià superior, amb les superfícies d'estratificació lleugerament inclinades cap al nord (a la dreta de la fotografia) i els plans de clivatge que cabussen uns 60°, també cap al nord.

L'emplaçament del batòlit de la Maladeta i el metamorfisme de contacte

El batòlit de la Maladeta s'emplaçà després de la formació dels plecs oest-est i del clivatge regional associat. La cronologia relativa entre les estructures de plegament i l'emplaçament d'aquest cos intrusiu es desprèn dels estudis geològics regionals i de la constatació que el metamorfisme de contacte és posterior al sistema de plecs oest-est.

Els efectes del metamorfisme de contacte

L'augment de temperatura provocat per l'emplaçament del batòlit de la Maladeta en les roques encaixants afectà aquí pràcticament tots els materials carbonàtics del Devonian, provocà la recristal·lització d'aquests i els conferí un aspecte massiu i una major duresa i resistència a l'erosió. Les discontinuïtats preexistents, estratificació i clivatge, queden en bona part obliterated (figura 10). Potser aquesta és una de les raons per les quals es forma la carena més alta i escarpada de l'àrea, lo Tésol.

Finalment, cal esmentar que a l'àrea d'estudi les roques paleozoiques que hi afloren no han estat afectades pel metamorfisme regional hercinian.

4.2.2. El cicle orogènic alpi i l'estructura alpina

Com ja s'ha esmentat, l'arranjament actual de les unitats de la Pallaresa i de Llavorsí, incloent tota l'estructura interna herciniana, és en bona part conseqüència de l'orogènia alpina. Aquesta és ben coneguda des de l'any 1988, en què es publicaren els resultats del projecte ECORS Pyrenees (ECORS Pyrenees Team, 1988; Losantos *et al.*, 1988; Berástegui *et al.*, 1993). Aquest projecte tenia com a objectiu l'estudi d'un orogen de col·lisió complet, en el qual es van considerar les dades geològiques de superfície, la informació de subsòl procedent dels sondatges d'exploració d'hidrocarburs i les dades geofísiques adquirides expressament per a aquest projecte (sísmica de reflexió, magnetotel·lúrica, etc.). La integració de totes aquestes dades proporcionarà els elements necessaris per a la reconstrucció geològica dels esdeveniments del cicle alpi.

Pel que fa a l'àrea de Son, la traça del perfil ECORS hi passa pel bell mig, de manera que el tall geològic que es construí per a aquell projecte conté tota la informació de superfície, integrada amb les dades regionals i amb les dades del subsòl.

El perfil ECORS proporcionarà les dades necessàries per explicar la història dels esdeveniments geològics que ocorregueren en l'àrea que actualment ocupen les Planes de Son i el seu entorn durant tot el temps del qual no es té registre sedimentari en aquest sector, és a dir, des del Carbonífer fins a finals del Cenozoic (taula 1).

L'orogènia herciniana provocà l'emersió generalitzada i la formació de relleus elevats que tot seguit foren atacats pels processos erosius. El registre sedimentari de l'Estefania (Carbonífer) és indicatiu d'aquestes condicions: tots són sediments continentals, majoritàriament detrítics, que ocupaven petites conques intramuntanyoses. Localment es formaren llacs i zones pantanoses on s'acumularen grans quantitats de restes vegetals que esdevindrien el carbó que dona nom al període. Durant el Permià l'erosió devia ser molt intensa, ja que el registre sedimentari és format per dipòsits detrítics; des del punt de vista regional es considera que a la

fi del Permià aquesta part de la serralada herciniana estava ja molt erosionada i constitueix una plana extensa amb relleus molt suaus; és el que s'anomena la peneplana pretriàsica.

A l'inici del Triàsic el registre sedimentari indica condicions continentals i se sedimenten graves de còdols de quars i gresos, que esdevindran els conglomerats quarzosos i els gresos vermells típics de la base del Triàsic; constitueixen el que s'anomena les fàcies Buntsandstein.

Posteriorment aquesta plana extensa recoberta de sediments continentals quedà envaïda per les aigües marines i es formaren plataformes de molt poca fondària en les quals es dipositaren carbonats i es precipitaren guixos i sals durant el Triàsic mitjà i superior. Constitueixen les anomenades fàcies Keuper. A la zona que actualment ocupen els Pirineus es registrà vulcanisme bàsic relacionat amb el trencament de Pangea i l'obertura de l'Atlàntic i del Golf de Biscaia; aquest moment marca l'inici del cicle alpí.

De la restitució del perfil ECORS (Berástegui *et al.*, 1993) es dedueix que per damunt del substrat paleozoic que actualment aflora a l'àrea de Son no es dipositaren sediments ni del Juràssic ni del Cretaci inferior, ja que les conques marines de l'antic Golf de Biscaia s'estenien al sud. En aquestes s'acumularen guixos importants de dipòsits carbonàtics de plataforma marina i de conca que afloren actualment al sud de Morrerres, al congost de Collegats. Durant el Cretaci superior es mantingueren les condicions marines, però cap a la fi d'aquest període el mar s'havia enretirat i les condicions ambientals esdevingueren continentals i càlides. A la fi del Cretaci començà l'acostament entre la Placa Ibèrica i la Placa Europea, i, com a conseqüència d'això, la formació de la serralada de col·lisió alpina dels Pirineus (taula 1).

L'estructura alpina es caracteritza per la formació de mantells de corriments; d'aquests, n'hi ha que són formats exclusivament per roques del Mesozoic i del Cenozoic, desenganxades del substrat paleozoic gràcies a la plasticitat dels guixos i les sals del Triàsic, que actuen com a nivell de desenganxament. S'anomenen en conjunt mantells superiors. En paral·lel, es desenvoluparen els encavalcaments que involucren també el substrat, els mantells inferiors, que en conjunt formen el que s'anomena Apilament Antiforme de la Zona Axial (figures 1, 2 i 17); és aquest arranjamnt el que ha permès que

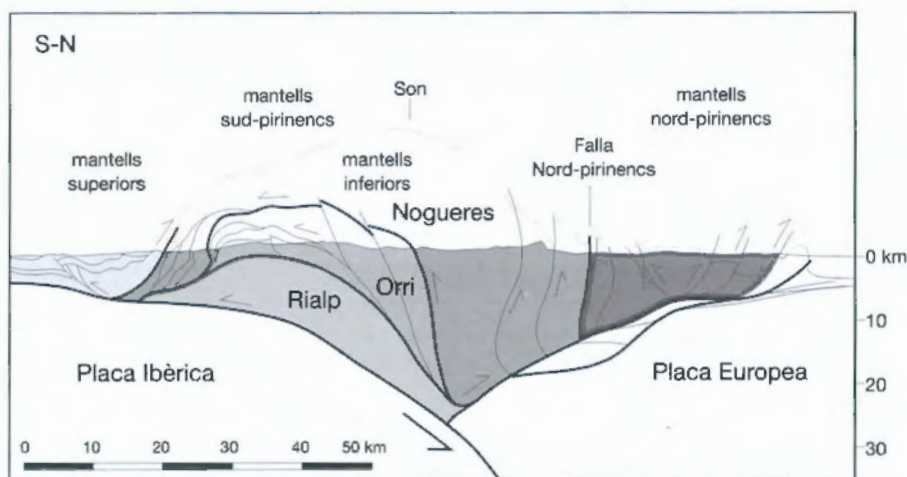


FIGURA 17. Tall geològic del conjunt dels mantells inferiors; de dalt a baix, són el mantell de Nogueres, el de l'Orrí i el de Rialp. L'eix de l'Apilament Antiforme de la Zona Axial és al sud de la zona d'estudi, que se situa a tocar del límit nord del Mantell de l'Orrí.

afloressin les roques més antigues, tal com es dedueix de la restitució del perfil ECORS (Berástegui *et al.*, 1993).

L'erosió actuà des de l'inici de l'acostament de les plaques i amb més intensitat a mesura que es creaven relleus més importants. El resultat dels processos erosius paleògens són, a la transversal de la Noguera Pallaresa, l'exhumació de roques cada cop més antigues i les acumulacions de sediments detrítics al·luvials des de finals de l'Eocè i durant l'Oligocè, representats pels conglomerats que es conserven al sud de Colletgats.

El procés de col·lisió entre les dues plaques finalitzà fa uns 25 Ma, al Catjà.

4.2.3. El Neogen

El Miocè i el Pliocè

Del Miocè i el Pliocè no hi ha cap rastre sedimentari en aquest sector dels Pirineus, i els més propers són els de l'Urgellet i la Cerdanya. La formació d'aquestes conques sedimentàries és deguda al desenvolupament d'un sistema de falles normals (extensives) durant el Neogen que afecten principalment els Pirineus orientals. Potser d'aquesta edat, o encara més recents, són també les falles normals de la zona del port de la Bonaigua, de les quals es parlarà més endavant.

Les restes de flora conservades en els dipòsits detrítics continentals i lacustres del Miocè superior de la Cerdanya indiquen unes condicions climàtiques temperades; però és durant el Pliocè quan es registren condicions climàtiques càlides arreu (Uriarte, 2003) i possiblement humides a l'àrea pirinenca. Aquesta situació provocà l'alteració química dels granitoides arreu dels Pirineus; com a conseqüència d'això, es generaren morfologies pròpies de climes càlids, que quan afecten els granitoides es reflecteixen en la formació de grans blocs de roca inalterada envoltats per sauló, el qual es forma per l'alteració *in situ* dels feldspats que constitueixen part dels granitoides. Aquesta situació es dona actualment al Maresme i en bona part de la Costa Brava. De tots aquests processos, només en resten en aquesta àrea els blocs de granitoides que van ser remobilitzats i incorporats posteriorment als dipòsits pliocèns així com la sorra, tan abundant a la matriu dels tills.

En aquells temps el relleu dels Pirineus es caracteritzava per extenses superfícies d'aplanament alguns retalls de les quals es conserven a la zona d'estudi: són les formes preglacials de lo Planell i part de la plana d'Aires, la carena de castell Renau i el Pas del Coro fins sota els planells de Tosa i Gargaredo, al vessant nord del pic de Quartiules (vegeu l'article *Geomorfologia de les Planes de Son i la mata de València: la influència del modelat glacial i periglacial*, de Josep Ventura, en aquest mateix volum).

Les estructures recents (neògenes)

Tal com ja s'ha esmentat, la falla de la Bonaigua, que en aquell sector delimita el batòlit de la Maladeta de la unitat de la Pallaresa, sembla que té continuïtat cap al sud-est i creua la zona d'estudi des de prop dels plans de Breviari fins al coll de Fogueruix (figura 4 i mapa geològic a escala 1:25.000). Aquesta estructura, o, més ben dit, el conjunt del contacte entre la unitat de la Pallaresa i la de Llavorsí ha estat interpretat de diverses maneres: a la Bonaigua sembla indiscutible que es tracta d'una falla normal (Losantos, 1986), men-



FIGURA 18. Lo Tésol vist des del pla de la Font. A les canals de lo Tonedor i les Estanyeres es reconeix la traça de l'estratificació dels carbonats devonians, cornianificats, molt redreçada. L'estructura interna del massís és obliqua a les pales, que tenen un pendent inferior i molt regular. Al peu de les pales es veu la morfologia característica de Campolado.

tre que prop d'Estaron és sens dubte un encavalcament, possiblement d'edat alpina. La història del moviment és complexa i sembla que es tallen i se superposen estructures diverses de manera que a la vall de Son conflueixen amb la falla neògena de la Bonaigua, que tallaria l'encavalcament alpi d'Estaron.

Aquesta hipòtesi de treball se sustenta en l'expressió morfològica dels materials del bloc inferior de la falla, al sud-oest de la traça cartogràfica; en aquest sector es reconeixen facetes a les pales de lo Tésol, de Palomera i de les Lleitoses, amb un pendent regular d'entre 30° i 33° (figura 15b). A les parets dels circs excavats en aquesta superfície s'observa l'estructura interna dels materials devonians de la unitat de Llavorsí tallada netament per aquest pla (figura 18). Així, al sector de la vall de Cabanes i Cabanyeres el contacte entre els materials devonians i cambroordovicis seria a través de la falla extensiva de la Bonaigua, mentre que cap al sud-est el contacte entre aquestes dues unitats seria la continuació de l'encavalcament d'Estaron (figures 3 i 4, i mapa geològic a escala 1:25.000).

Aparentment, com ja s'ha mencionat, no és possible reconèixer enlloc els contactes originals entre els materials cambroordovicis, silurians i devonians.

El plistocè: el glacialisme

El glacialisme és un procés climàtic i geològic que s'ha repetit diverses vegades en el darrer milió d'anys. Als Pirineus es conserven les formes d'erosió que li són pròpies i els dipòsits de materials arrencats, transportats i acumulats per les glaceres.

La seqüència de cicles glacials i interglacials plistocens s'inicià a l'hemisferi nord ara fa uns 900.000 anys (0,9 Ma) (figura 19). Des de llavors s'han succeït un seguit d'èpoques

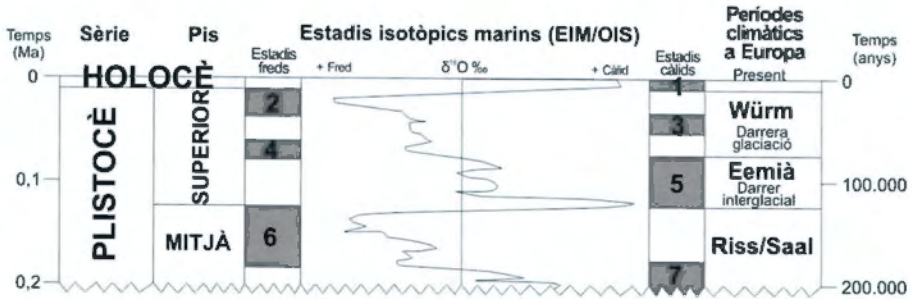


FIGURA 19. Els estadis isotòpics marins (EIM, o OIS segons les sigles angleses) estan numerats correlativament des de l'1 (actual) per a tot el Pliocè, de manera que els EIM senars indiquen condicions climàtiques càlides, i els EIM parells, condicions fredes. L'Holocè correspon al període climàtic càlid actual, que es va iniciar ara fa uns 10.000 anys (EIM 1). El darrer període climàtic fred, anomenat Würm o Weichsel, durant el qual tingué lloc la darrera glaciació, correspon als EIM 2 i 4; entre aquests dos va haver-hi un curt període càlid (EIM 3), que possiblement es reflecteix en les diferents fases d'avanç, estabilització i retrocés de les glaceres als Pirineus. L'Eemià és el darrer període climàtic interglacial, corresponent a l'EIM 5. S'inicià fa uns 118.000 anys i finalitzà al començament de la darrera glaciació, fa uns 70.000 anys. El límit entre el Pliocè mitjà i el superior coincideix amb la base de l'Eemià (modificada d'Uriarte, 2003, i Silva et al., 2007).

fredes separades per períodes càlids. Durant les èpoques fredes, en aquestes latituds i alçàries, s'hi acumulava més neu de la que es fonia de manera que s'enregistraren processos glacials. Entre cadascuna d'aquestes èpoques, els períodes interglacials van estar caracteritzats per la fusió del glaç i el retrocés i la probable desaparició de les glaceres.

En aquesta zona es conserva el registre de la darrera glaciació; si les anteriors van actuar-hi, les restes van quedar obliteratedes per la darrera. Aquesta començà fa més de 70.000 anys i finalitzà ara en fa 10.000, moment que determina la base de l'Holocè.

De tots els processos relacionats amb el glacialisme només cal recordar aquí que es tracta d'un agent erosiu de primer ordre.

En tot cas, cal esmentar que la data del darrer màxim glacial és d'uns 70.000 anys, que s'expressa pels dipòsits del Pas del Coro i pels blocs erràtics esparats pels vessants de la vall de Son (figura 13) i la mata de València. Posteriorment, s'enregistren dos episodis de retrocés i d'estabilització de les glaceres de vall; el primer queda marcat per la formació de la morena lateral del Comial (figura 14) i el segon queda reflectit per la morena lateral de Casterasso (figura 11). Les glaceres d'altitud a lo Tonedor i a les Estanyeres (figura 18) encara van seguir actives alguns milers d'anys més. La fusió total de la glacera de la Noguera Pallaresa i de totes les glaceres de vall s'esdevingué fa uns 11.000 anys.

4.2.4. L'Holocè

S'anomena Holocè el període de temps que abraça els darrers 10.000 anys. El seu inici, com ja s'ha esmentat, està definit pel retrocés del casquet polar a l'hemisferi nord i, als Pirineus, per la fusió de les glaceres de vall.

Processos postglacials que actualment ja no són funcionals. Holocè «antic»

A l'àrea d'estudi es poden reconèixer els dipòsits o les formes d'erosió de processos que succeeixen el glacialisme però que ja no són funcionals. Un cop fosa la glacera de la Noguera Pallaresa començà el reblliment dels fons de vall, dels llacs que ocupaven les cubetes de sobreexcavació glacial i els estanys de barratge (figures 11 i 14). L'erosió dels dipòsits glacials per part de l'aigua d'escolament provocà la incisió dels barrancs i la modificació de la morfologia original de bona part d'aquests.

D'altra banda, en cotes altes la gelifracció i els fenòmens periglacials continuaren el desenvolupament de les glaceres rocalloses i, de fet, alguns processos periglacials continuen en alguns indrets. Als vessants s'acumularen esbaldregalls que recobreixen bona part dels dipòsits glacials.

A més a més, la descompressió de les roques dels marges de les glaceres devia afavorir els processos erosius, que semblen més actius als vessants orientats al sud. És durant aquest temps quan s'inicià la colonització vegetal, que aprofità els terrenys amb el substrat més adequat per prosperar (vegeu l'article dedicat al paisatge vegetal, de Pèlachs *et al.*, en aquest volum).

Els processos funcionals

L'àrea d'estudi és privilegiada pel que fa a la possibilitat de reconèixer processos geològics actuals, especialment l'alteració i fragmentació de les roques del substrat, el transport per diferents mitjans i la posterior acumulació en ambients sedimentaris actuals o prou recents.

A les zones més elevades s'identifiquen el conjunt de fenòmens periglacials: el principal efecte és la fragmentació de les roques del substrat per l'acció del gel-desgel a les esquerdes o en qualsevol dels plans de discontinuïtat que presenten aquestes roques: plans d'estratificació i superfícies de clivatge. L'aigua a les esquerdes, en gelar-se, augmenta de volum i actua com un tascó que de mica en mica trenca les roques; és el que podríem anomenar la «fàbrica» dels blocs i els cairells. Aquests cauen vessant avall per l'acció de la gravetat, formen les tarteres i poden acumular-se al peu dels vessants en indrets amb menys pendent.

Les allaus de neu també són un fenomen que transporta blocs i cairells vessant avall; actualment les zones de sortida i d'arribada d'allaus són ben conegudes (*Mapa de zones d'allaus de Catalunya 1:25.000: Vall d'Àneu - Sant Maurici*, 2001).

Quan hi ha aigua d'escolament superficial en quantitats suficients, una part del transport dels cairells i dels fragments de roca més menuts és degut a l'acció d'aquesta. Els forts pendents proporcionen molta energia i capacitat de càrrega a l'aigua, que comença a actuar com a principal «cinta transportadora». Durant el transport, els impactes amb altres fragments rocosos va suavitzant les arestes dels cairells i va arrodonint-los progressivament fins que esdevenen còdols.

Als vessants s'acumulen dipòsits mixtos, col·luvials i al·luvials, és a dir, formats per l'acció combinada de la gravetat i del transport torrencial. Es generen els típics dipòsits de pendent, que poden ser molt ben triats i estructurats. Tot sovint retreballen els dipòsits glacials plistocens (figura 20).

A mesura que la xarxa de drenatge és més ben desenvolupada els dipòsits torrencials guanyen espai; són formats per còdols, que ja han sofert un cert arrodoniment durant el trans-



FIGURA 20. Al nord del Centre de les Planes de Son els tills glacials han estat modificats pels processos propis de la dinàmica actual dels vessants; els esbaldregalls de pendent remobilitzen els components detrítics del till. A la part superior hi ha les restes d'un mur, obrat amb clasts de granitoides, que forma part del sistema de bancals construïts als vessants amb més pendent per evitar l'erosió.

port, amb graves i sorres, es disposen a les vores i als fons del torrents, i, en arribar a zones més planeres, formen els anomenats ventalls al·luvials. Aquestes acumulacions es caracteritzen per la disposició en forma de con a la desembocadura dels torrents; tenen pendents d'entre 12° a les zones proximals i 5° a les distals. Les dimensions oscil·len, en aquesta zona, entre les pròpies de petits cons al·luvials i les de ventalls de més d'un quilòmetre d'amplada.

El riu de Son proporciona un bon exemple d'erosió lineal: excava el llit als dipòsits glacials plistocens, té un traçat rectilini i forma, en assolir el pla d'Esterri, un ventall al·luvial de dimensions considerables, els prats del Riu de Son.

Un capítol a part mereixen els moviments en massa gravitacionals. Aquests fenòmens tenen lloc en vessants amb forts pendents, o bé amb una orientació de les discontinuïtats de les roques del substrat que els afavoreixin o bé afectant materials no consolidats, generalment els dipòsits glacials. Els nivells de lutites negres del Silurià i els dipòsits glacials amb major proporció d'argiles actuen sovint com a nivells de desenganxament. En general, aquests fenòmens es produeixen en èpoques de pluges intenses, en quedar el terreny amarat d'aigua, la qual afavoreix la desestabilització i el lliscament; bona part del material després és arrossegat ràpidament pels corrents d'aigua i tan sols s'identifiquen les cicatrius de les esllavissades; tanmateix, en alguns indrets es reconeixen les restes de la massa rocosa despresa. Els exemples més clars de cicatrius són al nord dels planells de Tosa i a la capçalera de la vall de Cabanyeres. Al marge dret del barranc d'Arrose es reconeix la morfologia en lòbuls pròpia dels materials esllavissats, i al marge esquerre, les cicatrius d'antigues esllavissades.

Sismicitat: la geodinàmica interna

La sismicitat actual a l'àrea de la vall de Son i la mata de València és moderada. Els darrers anys s'han enregistrat sismes de magnituds que varien entre 2 i 4 graus en l'escala de Richter. La distribució i les dades de cadascun d'aquests sismes es poden consultar al *Mapa de sismicitat de Catalunya 1977-1997* (1999) i als butlletins sismològics (de 1984 a 2007).¹

L'àrea d'estudi es troba dins la zona afectada per sismes històrics destructors ocorreguts als Pirineus; els estudis de perillositat sísmica per un període de retorn de 500 anys proposen valors d'intensitat de VII-VIII en aquesta zona, que és per tant una àrea de perillositat sísmica elevada.

5. INTERPRETACIÓ GEOPAISSATGÍSTICA

No és l'objectiu d'aquest article definir què és el paisatge però sí que pretén explicar la participació indispensable del substrat rocós, de la seva constitució litològica i de les formes del relleu com a suport físic de la resta d'elements que integren el concepte de «paisatge».

Aquest capítol proposa una lectura geologicopaisatgística dels diversos àmbits que es poden definir a l'àrea d'estudi; alhora, vol mostrar com es pot observar i llegir el paisatge des del punt de vista geològic, amb la intenció de facilitar el reconeixement i el gaudiment d'una part fonamental d'aquest: el suport físic.

A la zona d'estudi es poden diferenciar diversos «àmbits geopaisatgístics»; s'han d'entendre en aquest treball com a àrees en les quals el conjunt de les característiques del substrat els confereix trets diferencials.

Els elements de caràcter estrictament geològic que s'han considerat són: la litologia del substrat, el grau de consolidació, l'existència o no de discontinuïtats a les roques i la tipologia i orientació d'aquestes, l'orientació dels vessants respecte de les discontinuïtats del substrat, la permeabilitat, la morfologia (especialment el pendent) i els processos geològics antics i els actius.

Les característiques estrictament fisiogràfiques són: l'alçada topogràfica, el pendent i la regularitat o no d'aquest i l'orientació absoluta.

S'han compilat també d'altres trets, com ara el tipus de vegetació, el grau d'antropització i el tipus d'aprofitaments.

Amb tots aquests paràmetres es poden definir set àmbits geopaisatgístics, resumits a la taula 2 i expressats cartogràficament al mapa d'àmbits geopaisatgístics (figura 21). Tots tenen característiques d'abast regional, és a dir, extrapolables a bona part de l'Alt Pallars. Endreçats des de les cotes més altes, lo Tésol, fins al nivell de base, la Noguera Pallaresa, són els següents: l'alta muntanya, els plans d'alta muntanya, les carenes i els planells enlairats, les obagues, les solanes, planells i vessants a mitjana alçada, i les planes de ribera. Tot seguit es descriuen breument cadascun d'aquests àmbits.

1. Els butlletins sismològics anuals (1984 a 2007) són elaborats per institucions amb noms diversos, segons l'any i les circumstàncies administratives de la xarxa sísmica, i sempre són editats pel Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Barcelona. Es poden consultar en línia a http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/sismologia/igc_sismologia_sismicitat_butlletins.html#.

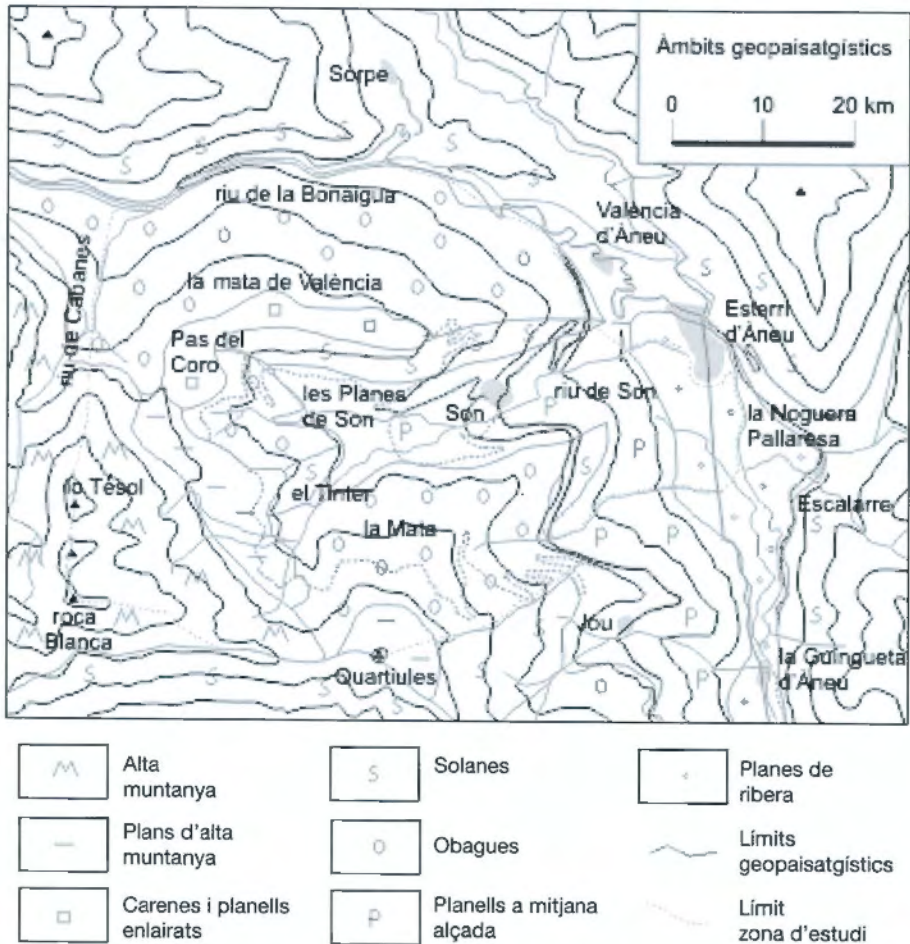


FIGURA 21. Mapa de distribució dels «àmbits geopaisatgístics» definits per a aquesta zona.

Alta muntanya

Aquest àmbit es defineix per damunt dels 1.900 als 2.000 m d'alçada i es caracteritza pels pendents forts i el relleu generalment escarpat; en aquesta zona destaquen la carena de lo Tésol (figura 22) i la serra de lo Pago, que emmarquen i delimiten la vall de Son per ponent.

Discorrent en direcció nord-sud, el massís de lo Tésol és format per substrat carbonàtic. La carena és molt escarpada i al vessant est les formes d'erosió són típicament glacials i periglacials, amb els circs, les canals i les comes, les glaceres rocalloses i les tarteres; localment es reconeixen morfologies càrstiques. A tot el vessant destaquen les canals de les Estanyeres i de lo Tonedor. Les pales són facetes amb un pendent molt regular d'entre 30° i 33° i estan condicionades per la falla de la Bonaigua (figura 15b), ja que no hi ha cap relació morfològica entre els diferents nivells de carbonats devonians cornianificats i les formes del

TAULA 2. Elements dels àmbits geopaisatgístics. Aquesta taula recull els paràmetres i les característiques que defineixen els diversos àmbits geopaisatgístics de la zona de la vall de Son i la mata de València. Proporciona una síntesi dels factors geològics (i no geològics) que permeten delimitar amb precisió cadascun d'aquests àmbits.

Àmbit geopai- satgístic	Alçada topogrà- fica	Litologia del substrat	Grau de consoli- dació	Discon- tinuïtats	Pendent (en °)	Pendent, regular / irregular	Orienta- ció gene- ral	Relació pendent / disconti- nuïtats	Permea- bilitat	Processos antics (plisto- cens)	Processos recents i actius (holocens)	Vegetació	Antropit- zació	Aprofita- ments	Orienta- ció espe- cífica	Paratge tipus
Alta muntanya a 1.900 m	Superior a 1.900 m	Carbo- nàtica	Elevat, roca	Massives	Superior a 30°	Variable	Variable	Superfi- cies estructu- rals (pales)	Mitjana, càrstica	Glacial, perigla- cial: glaceres de circ, glaceres rocallo- ses	Fragmen- tació pel gel- desgel, tarteres	Prat alpi, roca nua	Nul·la	Pastures d'estiu	N-S	Massis de lo Tésol
								Nul·la			Fragmen- tació per arrels	Bosc alpi	Nul·la	Forestal	W-E	Serra de lo Pago
Plans d'alta muntanya	Superior a 1.900 m	Variada: carbonà- tica, detrítica o mixta	Variable: d'elevat (roca) a baix	Hetero- gènies	Inferior a 15°	Irregular amb sortints rocosos	Variable	No és evident	Variable: d'elevada a molt baixa	Glacial, perigla- cial	Movi- ments en massa, rebliment lacustre, molleres	Alpina, prats i/o bosc	Nul·la	Pastures d'estiu	NW-SE	Campo- lado, planells de Tosa, Palomera
Carenes i planells enlairats	Entre 1.800 i 2.000 m	Variable: silicatada, carbonà- tica, mixta	Variable: segons el substrat, d'alt a baix	Variables segons el substrat	Suau, inferior a 10°	Regular amb sortints rocosos	Variable	Nul·la	Variable: per fissuració i granular d'aplana- ment	Restes de superfi- cies d'aplana- ment	Fragmen- tació de roques per arrels	Bosc i prats alpins	Molt baixa	Pastures d'estiu, forestal	W-E, separen solanes d'oba- gues	Castell Renau, Cabanye- res, Gar- garedo
Obagues	Inferior a 1.900 m	Silícica, Rocosa o detrítica	Variable: baix o irregular	Sí, en roca diversos sistemes	Entre 20° i 22°	Regular	W-E amb pendent cap al nord	Pendent subpa- ral·lel als plans de disconti- nuïtat del substrat rocós	Irregular: per fissu- ració i granular	Glacial i perigla- cials Dipòsits juxta- glacials	Reptació, movi- ments en massa	Bosc, avetoses	Escassa, camins, carbo- neres	Forestal	Nord	Mata de València, la Mata, bosc Negre

Solanes	Inferior a 1.900 m	Silícica, Rocosa o detrítica	Variable: a baix	Variable: en roca diversos sistemes	Entre 25° i 40°	Irregular	W-E amb pendent cap al sud	Pendent perpendicular als sistemes de plans de discontinuïtats	Variable: d'elevada a baixa per fissuració	Glacial i periglacial, Descompressió per fusió de les glaceres?	Bolcades de blocs, esbaldregallament, erosió	Escassa, «escobes»	Baixa	Pastures	Sud	La Solana, Brusera, Escobedo
Planells i vessants a mitjana alçada	Entre 1.000 i 1.900 m	Silícica, detrítica	Baix	No	Variable, inferior als 20°	Regular	Variable	Nul·la	Elevada, granular	Glacial i periglacial, torrencial	Erosió torrencial	Bosc, pastures, conreus	Mitjana: bancals, camins, murs, etc.	Prats de dall, conreus de secà, etc.	Bordes	Plans de Breviari, prats del Coro i de Piero
					Localment 0°				Baixa	Rebliment lacustre			Mitjana: camins, murs	Prats de dall		Planes de Son
	Entre 1.000 i 1.500 m								Elevada, granular	Glacial i periglacial, torrencial			Mitjana: bancals, camins, murs, nuclis de població	Nuclis de població, horts		Son, la Ribera, Argeniles, plans d'Arrose
Planes de ribera	Al voltant de 1.000 m	Mixta detrítica	Molt baix	No	Entre 0° i 5°	Regular	Variable, relacionada amb la de la xarxa fluvial		Elevada, granular	Rebliment de valls glacials i llacs	Fluvials i torrencials, riuades	De ribera	Elevada: nuclis de població, conreus, camins, carreteres, altres	Agrícola, nuclis de població		Pla d'Estერი



FIGURA 22. La serra de lo Pago, roca Blanca i lo Tésol, en darrer terme, vistos des del Centre de les Planes de Son; són els massissos d'alta muntanya. En segon terme, Escobedo, on es diferencien clarament la vegetació pròpia de la solana i de l'obaga. Els prats, en primer terme, corresponen als plans i vessants de mitjana alçada.

relleu actuals (figura 18). L'escassa vegetació permet d'observar el massís rocós, ben al contrari del que succeeix a cotes més baixes. És el geopaisatge d'alta muntanya carbonàtica.

La serra de lo Pago, de menor altitud, té una carena menys escarpada i està tota recoberta per bosc alpi, cosa que dificulta l'observació directa del substrat rocós.

Plans d'alta muntanya

Aquest àmbit es defineix per damunt dels 1.900 als 2.000 m d'alçada i es caracteritza pels pendents febles i formes del relleu generalment suaus; a l'àrea d'estudi està representat pels plans de Campolado (figura 18). S'estenen en direcció NW-SE al peu del massís de lo Tésol, amb una ruptura de pendent molt marcada, possiblement relacionada amb la falla de la Bonaigua (figura 15b).

El substrat rocós és heterogeni i difícil d'observar. És format per carbonats devonians i pissarres negres del Silurià; aquestes són impermeables i els carbonats estan afectats per processos de dissolució càrstica. Tot sovint formen sortints rocósos amb morfologia en forma de «llom de balena», parcialment o totalment recoberts per dipòsits de till, esbaldregalls periglacials i de pendent, i blocs erràtics calcaris esparsos. Algunes de les petites depressions poden interpretar-se com a cubetes de sobreexcavació glacial; van ser estanys que actualment estan reblerts per lutites fosques amb clasts i blocs en menor proporció. A les molleres es dipositen argiles de decantació i acumulacions de torba. El prat alpi que recobreix aquest àmbit dificulta l'observació del substrat.

Carenes i planells enlairats

Aquest àmbit se situa al voltant dels 2.000 m d'alçada i és format per carenes aplanades amb sortints rocósos. El substrat pot ser de qualsevol tipus, rocós paleozoic o format per acumulacions detrítiques plistocenes. L'arranjament i morfologia no depenen en cap cas de la tipologia del substrat i més aviat corresponen a retalls de les antigues superfícies d'aplanament preglacials.

Els millors exemples són la carena que va de castell Renau al tossal de la Cabana dels Caçadors i el plan d'Estaro. A la primera afloren les roques del substrat paleozoic, els gresos i les pissarres del Cambroordovicià, si bé molt fragmentades. Al plan d'Estaro, per contra, el substrat rocós és recobert per tills glacials plistocens.

Quan s'estenen en direcció W-E separen clarament els vessants solans de les obagues (figura 15a).

La vegetació és la pròpia d'aquestes alçades, prats alpins i bosc esclarissat.

Obagues

Aquest àmbit està definit per l'orientació dels vessants, que s'estenen en direcció est-oest amb un pendent molt regular que varia entre 20° i 22° cap al nord. A la zona d'estudi hi ha un dels exemples més bonics d'obagues dels Pirineus: la mata de València i, a menor escala, la mata de Son i el bosc Negre. En totes aquestes zones el substrat rocós està recobert per gruixos irregulars d'esbaldregalls de pendent i dipòsits periglacials i glacials. La cartografia geològica és impossible, en ser àrees sempre ocupades per boscos magnífics que tan sols deixen entreveure algun bloc rocós de tant en tant; als talls que ofereixen les pistes forestals tan sols es veuen esbaldregalls, blocs i cairells.

El context regional permet deduir que a totes les obagues l'arranjament de les discontinuïtats de les roques del substrat, el bandat litològic i sobretot el clivatge, té la mateixa orientació que els vessants (figura 15a), tot i que amb angles variables. Aquesta circumstància fa que als vessants obacs els processos de fragmentació de les roques del substrat i els moviments gravitacionals actuïn amb molta eficàcia. És probable que la fragmentació fos afavorida per la descompressió que es produï en fondre's les glaceres, fenomen descrit en altres valls glacials. La fragmentació i el desplaçament per gravetat, ajudat per processos periglacials, han format uns vessants amb un pendent molt regular d'uns 22° en els quals ha prosperat un bosc ben desenvolupat. Possiblement les arrels dels avets i del pi negre també contribueixen a la fragmentació.

Els processos funcionals són tots aquells relacionats amb el desplaçament lent dels dipòsits superficials per reptació. En tot cas, el bosc protegeix aquests vessants de l'erosió.

Una situació comparable és la del bosc de Virós, a la Vallferrera, amb un substrat rocós, una orientació i una situació respecte de les glaceres similars als de la mata de València.

Solanes

Àmbit geopaisatgístic situat per sota dels 1.900 m d'altitud que està definit per l'orientació dels vessants, que s'estenen en direcció est-oest amb un pendent irregular i abrupte que varia entre 25° i 40° cap al sud. Els exemples més extensos en aquesta àrea són la So-

lana i Brusera, però també en són bons exemples a menor escala la Coma, al nord del barranc de les Cabanyeres, i Escobedo (figura 23), al barranc de les Estanyeres.

Els vessants orientats al sud són formats majoritàriament per roques del Cambroordovicià i de l'Ordovicià superior. La relació amb l'orientació de les discontinuïtats del substrat és la situació contrària a la descrita per a la mata de València: el bandat litològic i el clivatge estan inclinats en el sentit contrari al pendent del vessant; els processos erosius més comuns són la fragmentació i el desprendiment de blocs rocosos, en alguns indrets de dimensions mètriques. La formació de blocs, cairells i fragments de roca més menuts, afavorida també pel gel-desgel, proporciona material detrític als vessants; aquest és transportat per la gravetat i per l'aigua tot formant, al peu dels afloraments de roques del substrat, dipòsits col·luvials amb pendents d'uns 25°. Les solanes són aspres i amb una vegetació particular, les «escobes», i pràcticament sense arbres. L'erosió i el transport en aquests vessants són més efectius que als vessants orientats al nord.



FIGURA 23. La solana d'Escobedo és un exemple excel·lent d'aquest geopaisatge. El pendent és irregular, amb sortints rocosos que confereixen un aspecte aspre a aquests vessants.

Plans i vessants a mitjana alçada

El concepte «plans» o «planes» als Pirineus es refereix a totes aquelles àrees amb pendents inferiors als 15° i, en aquest cas, relativament allunyades dels grans eixos fluvials. A la zona d'estudi aquest àmbit geopaisatgístic està molt ben representat a la vall penjada de Son. Abracen l'indret de les Planes de Son i les Feixes, aigües amunt del nucli de Son i

la Ribera, aigües avall fins a la ruptura de pendent que separa la vall de Son del pla d'Esterrí. Al marge dret del barranc d'Arrose també són força extenses.

Se situen a cotes compreses entre 1.900 i 1.000 m. d'altitud. Es caracteritzen pel substrat detrític plistocè, amb gruixos que oscil·len entre els pocs metres i acumulacions de sediments de més de 20 m coneguts. La morfologia és la pròpia dels dipòsits glacials, poc o molt erosionats, als quals se superposen els dipòsits col·luvials dels darrers 10.000 anys (figura 11).

És la zona més intensament antropitzada, en ser l'única apta per al conreu. A les àrees més planeres els murs de pedra que delimiten els trossos són obrats amb blocs i cairrells provinents dels mateixos dipòsits infrajectes. A les àrees més pendents els bancals i altres obres de protecció davant de l'erosió són magnífics exemples de gestió del territori (figura 20).

Entre les zones planeres destaca el paratge de les Planes de Son, amb una superfície horitzontal, envoltada per una franja d'amplada variable amb pendent relativament suau (figura 14). Aquest indret correspon a un antic estany de barratge glacial actualment reblert.

El nucli de Son, a la cota 1.375, marca l'alçària màxima habitada; els nuclis de població enlairats són característics d'aquestes valls.

Plana de ribera

El darrer geopaisatge és el propi dels fons de valls fluvials amples, representat aquí pel pla d'Esterrí.

El pla d'Esterrí, que ocupa l'ampli espai de la vall i de la cubeta de sobreexcavació glacial, és format en superfície pels dipòsits al·luvials que aporten tots els torrents que conflueixen a la Noguera Pallaresa i els del mateix riu. Els ventalls al·luvials dels vorells del pla, amb un pendent d'uns 5°, enllacen suaument amb la plana de ribera (figura 11); aquests són els dels prats del Riu de Son i els d'Arenys i els prats de Salito. El riu de Son està canalitzat en arribar a la plana, mitjançant el canal del Tinter.

Les roques del substrat paleozoic afloren localment als marges de la plana. Els desmunts de la nova carretera C-13 han deixat al descobert bona part del substrat rocós, que és format per gresos i pissarres del Cambroordovicià.

A la part central del pla, a les zones més properes al curs actual de la Noguera Pallaresa, els dipòsits són típicament fluvials, formats per graves i còdols relativament arrodonits a causa del fregament durant el transport per l'aigua. La permeabilitat és alta i la vegetació és la pròpia de ribera. Aquesta zona és relativament vulnerable a les crescudes.

La Noguera Pallaresa està canalitzada a Esterrí d'Àneu i bona part del curs del riu ha estat modificat poc o molt recentment, però al sud del pla de Salito presenta la morfologia pròpia d'un curs fluvial en zones planeres. Tot i ser fora de l'àrea d'estudi, val la pena explicar que, des de la construcció de la presa de la Torrassa, s'acumulen a l'extrem nord de l'embassament dipòsits propis d'un delta lacustre; aquesta situació és similar a la que devia mostrar el llac que ocupava la cubeta de sobreexcavació d'Esterrí abans del rebliment complet.

Les planes de ribera són les àrees més intensament aprofitades i antropitzades.

6. LES CARACTERÍSTIQUES DEL SUBSTRAT I LA COBERTA VEGETAL

La constitució del substrat rocós i especialment la composició química i les característiques internes dels dipòsits, com ara la permeabilitat, condicionen en gran mesura el desenvolupament de la vegetació i de tots els ecosistemes que es reconeixen a la zona d'estudi, així com els diversos aprofitaments per part de l'home. Aquestes característiques estan reflectides als mapes geotèmatics: el *Mapa de grups litològics de Catalunya* (2006) i el *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya* (1992); ambdós, a escala 1:250.000. La consideració conjunta de les àrees amb un tipus de porositat i un grau de permeabilitat concret amb les característiques litològiques i geoquímiques del substrat defineixen tres grans dominis. Aquests es poden resumir en:

- àrees amb substrat carbonàtic i poc permeables, o amb permeabilitat càrstica;
- àrees amb substrat rocós detrític, silícic i silicatat, amb permeabilitat per fracturació i fissuració;
- àrees amb substrat detrític no consolidat, silícic i silicatat, amb permeabilitat granular.

Aquests paràmetres són fonamentals per al desenvolupament de la coberta vegetal tant espontània com conreada.

7. INTERACCIÓ HOME-TERRITORI

7.1. LES ROQUES DEL SUBSTRAT I L'HOME

Com es desprèn del capítol dedicat al geopaisatge, allà on és més evident la interacció entre l'home i el territori és a les zones amb menys pendent, tant les planes altes com les de ribera.

El més obvi és l'aprofitament de les formes planeres dels dipòsits plistocens i holocens i del substrat amb millor drenatge, és a dir, del conjunt de dipòsits glacials i bona part dels dipòsits al·luvials i lacustres i de les parts distals dels dipòsits col·luvials. Les zones amb el substrat adequat però amb més pendent, de l'ordre de 15°, s'aprofitaven com a prats de dall i antigament per conrear cereals; bona part d'aquests es troben actualment abandonats per la dificultat de mecanització. És en aquestes zones on es va construir tot el sistema de bancals de pedra seca que evita l'acció erosiva de l'aigua d'escolament alhora que redueix un xic el pendent dels trossos o de les feixes (figura 20).

Als planells d'Arrose de Davall es conserven «cabanes de tros», obrades dins els bancals. Les llindes i els murs són de pedra seca i la coberta és de lloses grans de gresos cambroordovicians, recobertes de terra (figura 24); proporcionen aixopluc i un espai per desar roba, la berena o estris. Són una mostra magnífica de la integració de les obres de prevenció de l'erosió, la reducció del pendent i el refugi per als qui treballaven als camps.

La xarxa de camins, de diferents amplades i pendents, també és ben característica: els camins principals, els *carrers*, com s'anomenen en aquesta zona (C. Simó, com. pers.), són empedrats amb còdols i delimitats per murs en un costat o a banda i banda. Els exemples més ben conservats són el carrer que va de Son cap a Esterri i el de Son cap a Arrose i Jou.



FIGURA 24. Entrada d'una «cabana de tros», prop d'Arrose. El mur del bancal, obrat amb pedra seca, evita l'erosió i rebaixa el pendent de les feixes. La cabana, perfectament integrada a l'obra, proporcionava aixopluc als qui treballaven en aquests trossos.

La resta són camins de bast, tot sovint empedrats als trams més costeruts i delimitats per murs de pedra seca a la banda de muntanya. Els camins del bosc són poc o gens obrats, i sembla que aprofiten els replans naturals per al traçat.

Les escasses bordes que hi ha, com la borda d'Arnaldo, són edificades als marges de petits ventalls al·luvials, on el pendent és més pronunciat, i es deixen lliures de construccions les zones més aptes per al conreu o per als prats de dall.

7.2. LES ROQUES UTILITZADES EN LA CONSTRUCCIÓ TRADICIONAL

Les roques utilitzades en la construcció tradicional provenen arreu majoritàriament de les zones properes; així, a la vall de Son a tots els edificis hi ha fragments de granitoides (roques granítiques), que provenen dels dipòsits glacials plistocens, i gresos i lutites cambroordovicians, que també poden provenir dels dipòsits d'esbaldregalls de pendent.

Els fragments de roques granítiques són de tonalitats clares i més homogenis que els de gresos i pissarres, foscos; els primers presenten de manera natural formes irregulars o lleugerament arrodonides, mentre que en els darrers sempre és present com a mínim un sistema de discontinuïtats, que proporciona elements elàstics asimètrics (en forma de caps de sabates). Aquestes característiques fan que els fragments de granitoides siguin més aptes per ser tallats en carreus, tot i ser més resistents. La fragmentació natural en els gresos i pissarres n'afavoreix l'aprofitament amb molt poca elaboració, simplement triant aquells frag-

ments amb una mida i forma escaients per a cada cas i desbastant-los quan sigui necessari. Les característiques pròpies d'aquests dos tipus de roques fan que s'utilitzin específicament en els diversos elements constructius.

En bona part dels murs de les cases i els coberts de Son, la proporció aproximada entre els dos tipus de roca és equivalent, tot i que varia d'un edifici a l'altre i fins en un mateix edifici (figura 25). Sovint, els granitoides predominen als vèrtexs dels murs ja que són roques de major qualitat i més aptes per ser tallades en peces grans i regulars, els carreus. Per contra, les llindes de les finestres menudes poden ser fetes d'una sola llosa de gresos o de granitoides, i les finestres més grans i les portes són obrades amb cairells en forma de llibre.

En alguna casa, l'arc de la porta principal és fet amb dovelles de marbre beix. Puntualment a les parets d'alguns edificis es reconeixen fragments de marbres ocres ben tallats, que en general semblen reaprofitats d'altres edificis derruïts. No ha estat possible establir la procedència dels marbres beix, que tant poden ser locals, dels vessants de lo Tésol, com transportats des d'altres indrets.

Les cobertes de tots els edificis són de llosa, els llosats (figura 25), però no s'ha localitzat cap zona d'extracció clara a l'àrea d'estudi; és possible que provinguin de les lloseres del barranc del Cargol o d'Aidí, com a gran part de la comarca, en les quals s'explotaven fins fa poc les pissarres grises devonianes. Per a l'elaboració de les lloses



FIGURA 25. La proporció de cairells de gresos i pissarres del Cambroordovicià (roques fosques) i de granitoides (roques clares) és similar a la major part dels edificis de Son. Les lloses gruixudes de gresos i pissarres s'aprofiten per fer fileres regulars. Els cairells de granitoides són relativament irregulars. Per a les petites llindes s'utilitzen indistintament lloses o carreus de granitoides. En segon terme, es veu el llosat d'una casa, colonitzat per líquens.

s'extreien blocs grans de pissarres dels quals es treien les lloses, aprofitant els plans de discontinuïtat natural de les roques (el clivatge), mitjançant falques.

A la plaça del poble, les restes de les arcades són obrades majoritàriament amb cairells de gresos i pissarres, amb estructura en forma de llibre. Només als pilars i entre els arcs hi ha fragments de granitoides.

L'església de Sant Pere de l'Abadia és construïda amb filades de cairells i carreus molt rústics, sense cap decoració. L'arc de mig punt de la porta és de dovelles ben tallades de granitoides.

Els edificis principals

Però és al recinte de l'església parroquial, al conjunt monumental de l'església de Son, on la tipologia dels materials rocósos per a la construcció és més variada. L'església dels Sants Just i Pastor, el campanar, la presó, la torre del Rellotge i el cementiri formen tot un conjunt arquitectònic emplaçat a l'entrada del poble. L'església data del segle XII i, de l'estructura original, en resten tan sols el campanar i l'absis; la sagristia i les capelles laterals van ser afegides posteriorment. La torre del Rellotge sembla que era una construcció originalment defensiva (Trepal, 1993).

Un primer cop d'ull, tot fent la volta al recinte eclesiàstic, il·lustra tant la diversitat de roques emprades en la construcció com la tria acurada.

L'arc apuntat que dona accés al recinte és fet de dovelles de marbre (figura 26) que suporten una estructura en forma de llibre feta de cairells de gresos i llosa. Els pilars que el suporten són ben diferents, el de l'esquerra és d'una sola peça de granitoide i el de la dreta és obrat amb carreus de gresos i lloses.

En continuar la volta al recinte, a l'esquerra del portal d'accés hi ha la torre del Rellotge, de planta exterior semicircular i obrada amb cairells irregulars de gresos i pissarres i granitoides, en proporcions similars, com als altres edificis del poble. Està parcialment arrebossada.

Els murs exteriors de les capelles laterals i de la sagristia —tots, posteriors a l'església original— van ser obrats amb cairells i carreus de granitoides amb gresos en menor proporció, a diferència dels edificis del poble i de la torre del Rellotge.

En els elements originals, el campanar i l'absis, és on els materials petris per a la construcció són més ben triats. La torre del campanar és obrada exclusivament amb carreus de granitoides, excepte les arcuacions cegues, els capitells de les finestres i altres elements ornamentals, que són de travertí. Els carreus de granitoides són ben tallats i més regulars a les lesenes cantoneres. A les finestres del campanar, geminades o triples, les columnes són fusts cilíndrics d'una sola peça de granitoides, mentre que els capitells són de travertins (figura 27) (Cabestany, 2005). A l'absis ja hi ha cairells de gresos i pissarres, tot i que en menor quantitat que els carreus de granitoides. Com al campanar, els elements decoratius són de travertins: les franges llombardes de l'absis i els arcs cecs. També són fets de travertins els capitells de les tres finestres de l'absis, que estan tancades amb plaques d'alabastre.

Per finalitzar el recorregut per l'exterior del recinte, el mur del cementiri, que el separa de la carretera, és de pedra seca i obrat tot amb roques de procedència local.

La coberta actual de l'església i de la resta de construccions del recinte és de llosa.

S'accedeix a l'església per una porta d'arc de mig punt, feta amb dovelles que actualment estan arrebossades i pintades. A l'interior, l'arc triomfal també és enguixat i per tant



FIGURA 26. L'accés al recinte de l'església de Son és obrat amb diversos tipus de roques; el pilar de l'esquerra és d'una sola peça de granitoide ben tallat, mentre que el de la dreta és fet de carreus d'aquesta mateixa roca. L'arc és fet de dovelles de marbre i al damunt hi ha restes d'obra en forma de llibre feta amb caires de gresos i pissarres cambroordovicians. A la resta del mur de tanca predominen els caires de granitoides.

no se'n pot saber la constitució pètria. A sota l'altar es conserva el paviment de còdols, que dibuixen figures geomètriques (Trepal, 1993). Els còdols són de gresos o cornianes, allargassats. És probable que tota la nau tingué aquest tipus de paviment.

La pila baptismal rodona i la peça que s'interpreta com una pila de baptisme per immersió són tallades en sengles blocs de granitoides, de procedència local. Al recinte de les piles el paviment és de lloses.

D'aquesta descripció es desprenen l'aprofitament i la selecció de la roca local per a la construcció del conjunt, amb l'ús dels granitoides preferentment per a l'absis i exclusivament per al campanar. La incorporació de roques foranes, els travertins dels arcs cecs i els capitells i l'alabastre per al tancament de les finestres, és comuna en moltes esglésies romàniques, ja que el travertí (la pedra tosca) és lleuger i fàcil de tallar; aquestes característiques fan que sigui òptim com a material de construcció.

La utilització de carreus ben tallats de granitoides, d'elaboració més costosa, corroboraria la bona posició socioeconòmica de Son al segle XII.

No s'han trobat afloraments de travertins a l'àrea d'estudi, tot i que a tocar d'Esterrí d'Àneu, prop del carrer de Son, hi ha un paratge anomenat la Tosca; amb aquest mot es denominen popularment els travertins. Actualment està molt recobert per vegetació i no ha estat possible establir una localització més precisa, i per tant no es pot assegurar la presència de travertins a l'àrea d'estudi. Els travertins emprats en la construcció de l'església



FIGURA 27. El campanar de l'església dels Sants Just i Pastor a Son és obrat majoritàriament amb carreus ben tallats de granitoides; les columnes de les finestres són d'una sola peça cilíndrica de granitoides tallats, mentre que els capitells són de travertí, com altres elements ornamentals del campanar.

podrien provenir de la zona de Bonabé, on n'afloren a l'indret conegut com la font de la Tosca, prop de la borda del Pubill (C. Simó, com. pers.), o bé d'altres indrets més allunyats, com la conca de Tremp.

De guix alabastrí, tampoc no n'hi ha a l'àrea de Son i es desconeix la procedència de les plaques d'alabastre de les finestres. Els afloraments de guixos més propers són a Enviny, però no es pot afirmar que aquest sigui el lloc de procedència de les plaques d'alabastre.

7.3. ALTRES APROFITAMENTS

Els sulfurs que contenen les pissarres negres s'alteren en quedar exposats a les condicions atmosfèriques; el producte de l'alteració dels sulfurs, pulverulent i blanquinós, s'anomena *salpêtre* en francès i sembla que aquí es feia servir la mateixa expressió (C. Simó, com. pers.). En català s'anomena *salnitre*. Antigament es recollia i s'utilitzava dissolt en aigua per ensulfatar, aprofitant-ne les propietats fungicides.

Les calcàries han estat des de sempre aprofitades per fer calç. És possible que hi hagués algun forn de calç, tot i que els afloraments de calcàries són en cotes relativament altes i en conjunt poc boscoses, per la qual cosa caldria transportar o bé la roca calcària o bé el combustible vegetal per a la cocció.

Un altre recurs que de ben segur s'aprofità és la sorra. Tots els dipòsits glacials són molt rics en matriu sorrenca, la que s'utilitza per fer el morter.

Finalment, pel que fa als recursos minerals clàssics, hi ha notícies de mineralitzacions de ferro, però no ha estat possible localitzar-les.

AGRAÏMENTS

A Josep Germain per l'orientació en tot el treball i per la paciència.

A la Fundació Territori i Paisatge i a la Institució Catalana d'Història Natural per confiar aquest estudi a l'Institut Geològic de Catalunya.

A tots els qui treballen al centre de les Planes de Son pel suport en els treballs de camp.

A en Josep Ventura per tantes coses que m'ha ensenyat sobre glacialisme i per la col·laboració en la imbricació dels dos estudis, geomorfològic i geològic, que ha resultat molt profitosa. A na Cristina Simó, que ha resolt molts dels meus dubtes referents a la relació entre l'home i el territori i sobre els materials rocósos utilitzats en construcció.

A na Christyne Terrier per les indicacions referents a les estructures en la construcció tradicional pallaresa.

A na Sara Figueres per les qüestions de sismicitat.

A n'Antoni Roca i a en Xavier Berástegui, pel suport a aquest treball.

A na Raquel Robles per l'ajut en la realització de les figures.

A na Maria Sistach per la lectura i correcció del manuscrit.

I, finalment, a tots els geòlegs que han treballat als Pirineus.

BIBLIOGRAFIA

- ARDÈVOL, L.; FARRAN, J.; GARCÍA-SENZ, J.; MAESTRO, E.; VICENS, E. (2005). «Itinerari 2: Valls d'Àneu». A: *Meravelles geològiques del Pallars Sobirà*. Tarragona: Arola. 279 p.
- BERÁSTEGUI, X. (2000). «Història geològica de Catalunya». A: *Patrimoni geològic de Catalunya*. Madrid: ENRESA, p. 34-47.
- BERÁSTEGUI, X.; LOSANTOS, M.; MUÑOZ, J. A.; PUIGDEFÀBREGAS, C. (1993). *Tall geològic del Pirineu central 1: 200.000*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. 62 p.
- BOERSMA, K. Th. (1973). «Devonian and carboniferous conodont biostratigraphy. Central Spanish Pyrenees». *Leidse Geologische Mededelingen*, vol. 49, p. 303-377.
- BORDONAU, J.; POUS, J.; QUERALT, P.; VILAPLANA, J. M. (1989). «Geometría y depósitos de las cubetas glaciolacustres del Pirineo». *Estudios Geológicos*, vol. 45, núm. 1-2, p. 71-79.
- CABESTANY, J.-F.; MATAS, M. T.; PALAU, J. M.; CENTRE D'ART ROMÀNIC CATALÀ (2005). *El romànic de la vall d'Àneu*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, p. 96-110.
- ECORS PYRENEES TEAM (1988). «The ECORS Deep Reflection Seismic Survey Across the Pyrenees». *Nature*, 331, p. 508-510.
- GRADSTEIN, F.; OGG, J.; SMITH, A. (2004). *A Geologic Time Scale*. Cambridge: Cambridge University Press. 589 p.
- HARTEVELT, J. J. A. (1970). «Geology of the Upper Segre and Valira Valleys, Central Pyrenees, Andorra/Spain». *Leidse Geologische Mededelingen*, vol. 45, p. 167-236.
- LOSANTOS, M. (1986). *Informe Bonaigua*. Institut Geològic de Catalunya. GR_099_86. 45 p. [Informe intern]
- LOSANTOS, M.; BERÁSTEGUI, X.; MUÑOZ, J. A.; PUIGDEFÀBREGAS, C. (1988). «Corte geológico cortical del Pirineo central (perfil ECORS): evolución geodinámica de la cordillera pirenaica».

- A: *Simposios del II Congreso Geológico de España. Granada, 1988*, p. 7-16.
- LOSANTOS, M.; PALAU, J. (1986). «La conca alta de la Noguera Pallaresa». A: *Història natural dels Països Catalans*. Vol. 1: *Geologia 1*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, p. 167-170.
- Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000* (1992). Barcelona: Servei Geològic de Catalunya: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Mapa de grups litològics de Catalunya 1:250.000* (2006). Barcelona: Institut Geològic de Catalunya: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Mapa de sismicitat de Catalunya 1977-1997 1:400.000* (1999). Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Mapa de zones d'allaus de Catalunya 1:25.000: Vall d'Àneu - Sant Maurici* (2001). Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Mapa geològic comarcal de Catalunya 1:50.000: Pallars Sobirà* (2007). Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya: Institut Geològic de Catalunya: Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Mapa geològic nacional 1:50.000 MAGNA. Hoja 181: Estèrri d'Àneu*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. [En premsa]
- MARTÍ, C. E.; PUIGDEFÀBREGAS, C. (1968). «Estudio del Parque Nacional de Aigües Tortes y Lago de San Mauricio (Pirineos centrales): Geología y morfología». *Publicaciones del Centro Pirenaico de Biología Experimental*, 2, p. 7-37.
- MEY, P. H. W. (1967). «The Geology of the Upper Ribagorzana and Baliera Valleys, Central Pyrenees, Spain». *Leidse Geologische Mededelingen*, vol. 41, p. 153-220.
- (1968). «Geology of the Upper Ribagorzana and Tor Valleys, Central Pyrenees, Spain». *Leidse Geologische Mededelingen*, vol. 41, p. 229-292.
- POBLET, J. (1987). *Estudi geològic del sector central del sinclinal de Llavorsí (Pirineu central)*. Tesi de llicenciatura. Universitat de Barcelona. 166 p. [Inèdita]
- (1991). *Estructura herciniana i alpina del vessant sud de la Zona Axial del Pirineu central*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona. 604 p. [Inèdita]
- (1993). «Geologia del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici». *Ilerda. Ciències*, núm. 50, p. 39-43.
- RIBA O. (1997). *Diccionari de geologia*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Enciclopèdia Catalana. 1.407 p.
- SANZ J. (1995). *Estratigrafia i bioestratigrafia (conodontos) del Silúric superior - Carbonífer inferior del Pirineu oriental i central*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona. 717 p.
- SERRAT, D.; BRU, J.; MARTÍ, J.; VENTURA, J.; VILAPLANA, J. M. (1981). *Cartografia de les formacions quaternàries d'unes zones pilot del Pirineu*. Institut Geològic de Catalunya. GR_013_81. 51 p. [Informe intern]
- SERRAT, D.; VILAPLANA, J. M. (1992). «El glacialisme». A: *Història natural dels Països Catalans*. Vol. 2: *Geologia 2*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, p. 439-460.
- SILVA, P.; ZAZO, C.; BARDAJÍ, T.; BAENA, J.; LARIO, J.; ROSAS, A. (2007). *Tabla cronoestratigràfica del Cuaternario de la península Ibérica*. AEQUA. [Pòster]
- Taula dels temps geològics* (2006). Barcelona: Institut Geològic de Catalunya.
- TREPAT, R. (1993). *Conjunt monumental de Son*. Estèrri d'Àneu: Consell de les Valls d'Àneu. 40 p. (Quaderns de l'Ecomuseu de les Valls d'Àneu)
- URIARTE, A. (2003). *Historia del clima en la Tierra*. Vitòria: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 306 p.
- VENTURA J. (1986). «Aspectes del modelat glacial i periglacial a la vall de Son». *Revista Catalana de Geografia*, vol. 1, p. 57-69.
- ZANDVLIET J. (1960). «The Geology of the Upper Salat and Pallaresa Valleys, Central Pyrenees, France/Spain». *Leidse Geologische Mededelingen*, vol. 25, p. 127.
- ZWART, H. J. (1979). «The Geology of the Central Pyrenees». *Leidse Geologische Mededelingen*, vol. 50, p. 74.