

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La cartografía geológica y el estudio estratigráfico y estructural llevado a cabo en el Noroeste de Andorra nos han permitido conocer mejor las características estratigráficas de las rocas que afloran en esta área así como sus principales rasgos estructurales.

A partir de la cartografía geológica y el estudio estratigráfico hemos podido reconocer y diferenciar distintas unidades estratigráficas que pertenecen al Cambro – Ordovícico, Ordovícico Superior, Silúrico y Devónico. Algunas de estas unidades se han diferenciado por primera vez, para el noroeste de Andorra, en este trabajo y en cartografías parciales realizadas anteriormente (Clariana, 2004, 2005, 2006, 2007).

Comenzando por la serie cambro-ordovícica, en esta zona se han diferenciado tres tramos que por las características que presentan, su posición estratigráfica y por correlación con otras áreas, se han considerado equivalentes a las formaciones: Alos de Isil, Lleret-Bayau y Alins de edad Cámbrico Inferior. Estas forman parte del denominado grupo Jujols, según Laumonier et al. (2004). Si bien hemos de señalar que la formación intermedia (Fm. Lleret-Bayau), de carácter pizarroso-carbonatado, tradicionalmente en la bibliografía se ha denominado Mb. Ransol o Formación Ransol para gran parte de la zona cartografiada.

En lo que se refiere a las unidades consideradas como pertenecientes al Ordovícico Superior, estas se sitúan discordantes sobre la serie más antigua cambro-ordovícica, como se ha podido constatar en áreas vecinas por otros autores (Santanach, 1972; Casas y Fernández, 2007). Por sus características sedimentológicas estas formaciones son comparables a las descritas por Hartevelt (1970) en la zona de la unidad del Segre y teniendo en cuenta que en ningún punto aflora la serie completa, de base a techo se han podido identificar: la Fm. Conglomerados de Rabassa, Fm. Areniscas de Cava, Fm. Calizas de Estana y Fm. Pizarras de Ansovell.

Sobre el Ordovícico Superior se sitúan en contacto mecánico los materiales pertenecientes al Silúrico, representados por pizarras ampelíticas negras y niveles de calizas bioclásticas negras en su parte superior. Estas rocas afloran mayoritariamente en el área del sinclinorio de Tor-Casamanya, al igual que ocurre con los materiales devónicos cartografiados en esta zona.

Las unidades devónicas diferenciadas en el noroeste de Andorra forman parte del sinclinorio de Tor-Casamanya. Estas abarcan desde el Devónico Inferior hasta el Devónico Superior, ya que los nuevos datos de los que se disponen, principalmente bioestratigráficos, nos han permitido identificar materiales que por el momento podemos considerar como pertenecientes tanto a la parte alta del Devónico Medio como al Devónico Superior. Así pues las formaciones devónicas identificadas en la zona son de base a techo: la Fm. Rueda, Fm. Basibé, Fm. Manyanet, Fm. Civis (Clariana, 2004) y sobre esta última en la zona del Pic de Casamanya se ha diferenciado lo que por el momento se ha denominado: *tramo superior carbonatado* el cual presenta una serie de características litológicas y sedimentológicas diferentes al resto de formaciones devónicas. Este tramo, cuya potencia total no ha podido precisarse hasta el momento, está compuesto por

diferentes litologías: pizarras, calizas pizarrosas, calizas, calizas glomerulares azul-grises, calizas verdi-rojas con tonos anaranjados, calizas grises y calizas pizarrosas con nódulos blancos. En este tramo se han diferenciado tres subtramos de carácter provisional que nos han ayudado a la realización de su estudio sedimentológico y bioestratigráfico.

Por otra parte, las características estructurales y metamórficas del noroeste de Andorra se han ido conociendo a partir de la cartografía, los cortes geológicos y el análisis microestructural y petrográfico llevado a cabo en los diferentes estudios realizados (Clariana, 2004, 2005, 2006, 2007) así como a partir de los últimos datos obtenidos en la zona del valle de Ransol. Estas características son las siguientes:

En el noroeste de Andorra se han reconocido varias fases de deformación. Tres fases de deformación bien diferenciadas y entre las que se ha podido establecer su relación cronológica, en lo que hemos denominado el *Dominio septentrional cambro-ordovícico* y otras tres fases de deformación en el *Dominio del sinclinorio de Tor-Casamanya*. En este último caso, existen dos fases precoces entre las que no se ha podido concretar su relación temporal y una fase dominante posterior a las anteriores. Las características de esta fase dominante y de una de las fases precoces parecen permitir un intento de correlación coherente con las fases de deformación establecidas para el primer dominio, como explicaremos a continuación.

En el dominio septentrional cambro-ordovícico se han identificado las siguientes fases de deformación:

La primera fase (D1) se observa únicamente a escalas microscópica y centimétrica y se caracteriza por un *slaty cleavage* (S1) definido por la orientación preferente de cuarzo y filosilicatos sin que hasta el momento se hayan observado claramente pliegues asociados a este clivaje.

La segunda fase de deformación (D2) esta caracterizada por pliegues de dirección E-O, apretados y vergentes al norte, los cuales tienen una foliación de plano axial asociada (S2) que es la dominante en la parte central y norte del área cartografiada. Estos pliegues generalmente asimétricos muestran charnelas engrosadas y flancos adelgazados. Además, como puede observarse en los cortes realizados, los flancos de estos pliegues pueden llegar a alcanzar una longitud kilométrica. La foliación S2 corresponde a un clivaje de crenulación que se encuentra deformando a S1, lo cual puede ser observado claramente en lámina delgada.

La tercera fase de deformación (D3) se caracteriza por pliegues de dirección E-O a ENE-OSO, subverticales o vergentes al sur, que pueden ser desde redondeados a angulosos y que tiene una foliación de plano axial asociada (S3), esta foliación se hace dominante en la zona sur de este dominio conforme nos acercamos al sinclinorio de Tor-Casamanya. Tanto a escala de afloramiento como en lámina delgada se observan estructuras de fase 3 plegando a estructuras de fase 2. En este punto hay que señalar también la presencia de bandas de cizalla y fallas inversas con altos buzamientos hacia el norte y orientación similar a la de los pliegues D3 y que igualmente se encuentran deformando a las estructuras de fase 2 indicándonos una posible relación entre ellos.

En lo que se refiere al metamorfismo existente en este dominio, como se observa en la cartografía se han diferenciado las siguientes zonas metamórficas: *zona moscovita – clorita*, *zona biotita*, *zona granate*, *zona*

Andalucita, *zona estaurolita-out* y *zona sillimanita*. Situándose las zonas de mayor grado metamórfico en las proximidades de los domos gneísicos del Aston y de l'Ospitalet es decir en el norte y este del mapa y las de menor grado en la parte suroccidental del área cartografiada. La mayoría de estas zonas metamórficas fueron definidas por Alias (1992, 1995), a excepción de la *zona granate* y de algunas áreas correspondientes a la *zona biotita*, diferenciadas por primera vez durante la realización de este trabajo. En cuanto al metamorfismo y su relación con la deformación los rasgos más significativos son los siguientes: en general es muy común observar porfidoblastos de biotita creciendo paralelos a la dirección de la foliación S2 e igualmente en algunos casos esos porfidoblastos marcando las trayectorias de la foliación de plano axial de los pliegues de fase 2. Esto indicaría que el desarrollo de S2 se produjo en condiciones de grado metamórfico bajo (*zona biotita*). Por otra parte, en zonas de mayor grado metamórfico como la *zona andalucita* se pueden observar crecimientos post- y sin-tectónicos de andalucita y estaurolita con respecto a S2. Esto se deduce de la existencia de porfidoblastos de andalucita que muestran las huellas de dos foliaciones correspondientes a S1 y S2 lo que indicaría el crecimiento posterior de la andalucita. Igualmente se observan porfidoblastos de estaurolita en los que se aprecian inclusiones que marcarían la rotación de la foliación S2 dentro del porfidoblasto indicando el carácter sincinemático de este.

Por su parte, en el segundo dominio correspondiente al sinclinorio de Tor-Casamanya se han identificado dos fases precoces de deformación. Una de ellas está caracterizada por pliegues vergentes al norte que muestran una asimetría de flancos muy marcada a los que está asociada una foliación de plano axial que puede llegar a ser muy penetrativa. La otra fase precoz solo se observa en el extremo occidental del sinclinorio, y está caracterizada por pliegues acostados vergentes al sur, a los que también está asociada una foliación de plano axial. Tanto a una como a otra se superpone la fase de deformación principal caracterizada por pliegues de dirección E-O con plano axial subvertical o vergentes al sur. Estos se observan a todas las escalas y en general son bastante apretados. La foliación asociada a estos pliegues es la dominante en todo el sinclinorio, y corresponde a una foliación de crenulación lo cual puede observarse tanto a escala de afloramiento como en lámina delgada. Tanto las estructuras precoces como las estructuras principales están cortadas por numerosos cabalgamientos de orientación E-O y sentido de movimiento hacia el sur, lo que nos indicara una edad de desarrollo para estos cabalgamientos posterior a las fases de plegamiento descritas.

Como señalamos anteriormente y dadas las características de los pliegues dominantes de plano axial subvertical y de los pliegues precoces vergentes al norte se podría establecer una equivalencia entre estos y los pliegues D3 y D2 respectivamente, descritos en el dominio septentrional cambro-ordovícico, lo cual resultaría bastante coherente dentro de un mismo contexto de deformación para toda la zona cartografiada. Aunque en este esquema debemos tener en cuenta la presencia de los pliegues precoces vergentes al sur cuya relación temporal con los pliegues vergentes al norte todavía no hemos concretado y deberíamos encajar en dicho contexto.