

## 1. INTRODUCCIÓN

En este informe se presenta la cartografía geológica del Noroeste de Andorra, realizada a escala 1:25000, acompañada del estudio estratigráfico y estructural de la zona. Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto de cartografía geológica a escala 1:25000 de Andorra emprendido por el antiguo CRECIT en el año 2003 en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Este último informe presenta una síntesis de las características estratigráficas y estructurales del Noroeste de Andorra y que fueron recogidas en los informes que han acompañado cada una de las cartografías parciales realizadas en esta zona (Clariana, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2007) junto con las características de la nueva y última zona cartografiada correspondiente al valle de Ransol y su cresta oriental hasta el valle de Incles donde se situaría el contacto con los gneises del macizo de l'Ospitalet.

Geológicamente el Noroeste de Andorra corresponde a un sector de la zona Axial pirenaica en el que afloran rocas paleozoicas de edades comprendidas entre el Cambro-ordovícico y el Devónico (fig. 1). Estos materiales forman parte de varias unidades con características estratigráficas y estructurales diferentes: los domos gneísicos del Astón y de L'Hospitalet, el macizo de la Pallaresa, en el que afloran materiales de edad cambro-ordovícica los cuales han sufrido importante deformación y metamorfismo variscos y el sinclinorio de Tor-Casamanya, compuesto por rocas pertenecientes al Silúrico y Devónico que presentan una deformación con características diferentes a las del macizo de la Pallaresa y con un metamorfismo menos intenso.

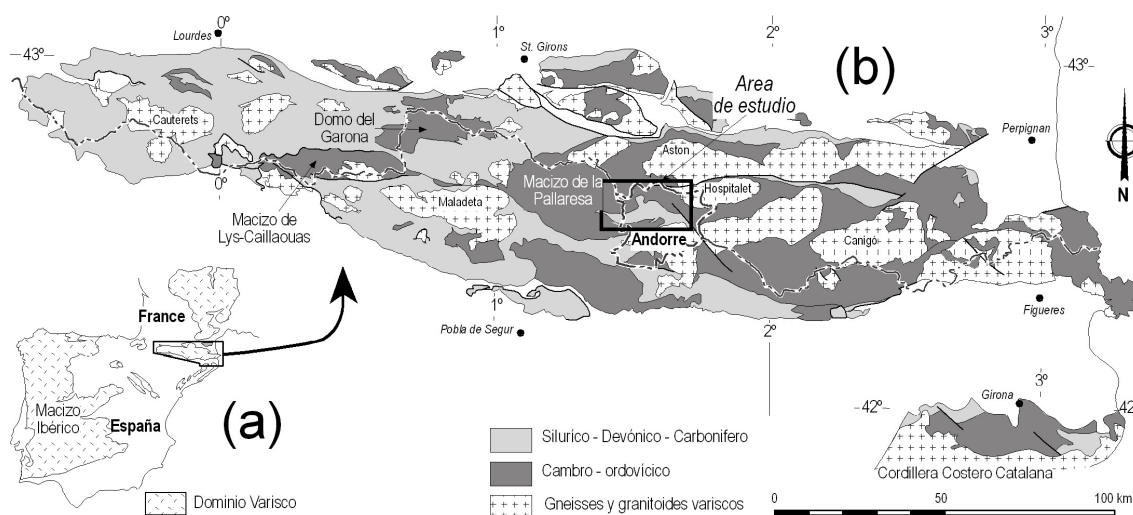


Figura 1. Situación geológica del área de estudio, enmarcada en la Zona Axial Pirenaica

De este modo, se presentan en este trabajo las características estratigráficas de las diferentes unidades identificadas en la zona, así como los principales rasgos estructurales correspondientes al resultado de la superposición de las orogenias Varisca y Alpina que han afectado a estos materiales.

## 1.1 Localización geográfica

El área estudiada en este trabajo abarcaría prácticamente un tercio del territorio del Principado de Andorra correspondiente a todo el sector noroeste del país. Se extiende por toda la parroquia de Ordino y parte de las parroquias de Canillo, Encamp y La Massana. En su parte norte, desde la cresta fronteriza con Francia están incluidos el valle de Arcalis, el valle de l'Angonella, los parques naturales de los Pics alts de Andorra (valles de Comapedrosa y Pla de L'estany) y de Sorteny (valles de Rialb, Sorteny, la Cebollera, la Serrera y el Estanyo), y se extiende hacia el este hasta el valle de Incles. En lo que podríamos considerar como parte sur del área, se localizan de oeste a este las zonas del Port de Cabus, El Pic y la serra de Casamanya y la zona de la Encampadana, suponiendo una extensión total aproximada de 179 km<sup>2</sup>. La mayor parte de estas zonas fueron estudiadas en trabajos realizados en años anteriores (Clariana, 2004, 2005, 2006 y 2007) mientras que la parte más oriental correspondiente esencialmente al valle de Ransol ha sido estudiada en este último año.



Figura 2. Localización geográfica del área de estudio

El área ocupada por la zona de estudio abarca las hojas, (5-01-2, 5-02-1, 5-02-2, 5-01-4, 5-02-3, 5-02-4, 5-03-3, 5-03-4, 5-05-1, 5-05-2, 5-06-1, 5-06-2, 5-07-1, 5-07-2, 5-05-3, 5-05-4, 5-06-3, 5-06-4, 5-07-3, 5-07-4, 5-08b-2, 5-09-1, 5-09-2, 5-10-1, 5-10-2,, 5-11-1, 5-11-2, 5-09b-3, 5-09-3, 5-09-4, 5-10-3, 5-10-4) del mapa topográfico a escala 1:5000 del Área de Cartografía y Topografía del Gobierno Andorrano. Este ha sido simplificado y adaptado a escala 1:25000 conservando únicamente las curvas de nivel cada 25 metros, como base topográfica para la cartografía geológica.

## **1.2 Antecedentes**

Desde el siglo XIX, la geología de la parte central de la zona Axial pirenaica, en la que está incluida el área cartografiada en este trabajo, ha sido objeto de diferentes estudios. Si bien, desde mediados del siglo XX el número de trabajos realizados en esta zona se hace mucho más abundante.

Como en gran parte de la zona Axial, durante los años sesenta, muchos de los estudios realizados en la zona pertenecen a los geólogos holandeses de la escuela de Leiden (Sitter, 1959; Zandvliet, 1960; Zwart, 1965 y 1968; Hartevelt, 1970), cuyo trabajo resulta especialmente significativo en lo que se refiere a la elaboración de cartografía geológica ya que fueron quienes realizaron algunas de las primeras, si bien llevaron a cabo a su vez significativos estudios estratigráficos y estructurales. En esta misma década y en lo que se refiere concretamente a cartografía geológica de Andorra, debemos señalar la labor realizada por Llopis Lladó (1965, 1966 y 1969), quien también realizó aportaciones relevantes a nivel estratigráfico y paleontológico. A su vez en estos años autores franceses como Casteras *et al.* (1969), Oele, (1966) y Seguret y Proust (1968) estudiaran los materiales de edad cambro-ordovícica del Pirineo Central, realizando los tres últimos una importante contribución al conocimiento estructural de la zona.

Posteriormente en la década de los setenta, se realizarán importantes aportaciones al avance en el estudio de la deformación y la estructura tanto del macizo de la Pallaresa (Santanach, 1972), como del sinclinatorio de Tor-Casamanya (Deramon *et al.*, 1971 y Deramond y Soula, 1971) así como, de la falla de Merens (Leterrier, 1972; Aparicio, 1975; Aparicio y Lelubre, 1976; y Zwart, 1979). A la vez, los autores holandeses siguieron trabajando en la zona realizando estudios más especializados como por ejemplo el estudio bioestratigráfico, a partir del estudio de conodontos, realizado por Boersman, 1973.

Será a partir de los años ochenta cuando los trabajos en la parte central de la Zona Axial comienzan a ser más numerosos, se realizan trabajos de carácter estratigráfico para intentar caracterizar la serie cambro-ordovícica del macizo de la Pallaresa (Laumonier y Guitard, 1986; Laumonier, 1988) y numerosos estudios estructurales que buscarán establecer un modelo tectono-metamórfico (Lamoroux *et al.* 1980, 1981, 1987; Soula, 1982; Verhoef, 1984, Van den Eeckhout, 1986) o caracterizar accidentes que pueden haber tenido un papel importante tanto en la orogenia Varisca como en la Alpina como por ejemplo: la falla de Merens (Carreras y Cirés, 1986; Mc Caig, 1986). Esta abundante producción continuó en la década de los noventa con trabajos dedicados al estudio de la estructura de la Zona Axial en el Pirineo Central destacando entre ellos los de Poblet (1991), Carreras y Capellà (1994), (1995) y (1996), Capellà (1995) y Aerden (1995), así como al estudio de la relación entre la deformación y el metamorfismo y en concreto en la zona del Pirineo de Andorra debemos destacar los trabajos de Alías (1990), Alías y Liesa (1992), Alías y Cirés (1992) y Alías (1995) que tratarán el metamorfismo regional varisco asociado a los macizos gneísicos del Aston y de l'Hospitalet. Gran parte de estos autores y sus trabajos constituyeron una contribución al trabajo de síntesis denominado: "*Síntesis geológica y geofísica de los Pirineos*" (Barnolas y Chiron, 1996).

Finalmente en los últimos años se han seguido realizando trabajos en la zona que abarcan diferentes campos desde la estratigrafía hasta el estudio de la deformación y el metamorfismo (Gil-Peña *et al.*, 2000; Laumonier, 2004; Clariana, 2005, 2006 y 2007; Denèle, 2007). Además a principios de esta década destaca la realización de un nuevo trabajo de síntesis sobre la geología de Andorra, en el que se elaboró una cartografía geológica a escala 1:50000 a partir de datos bibliográficos (Casas *et al.*, 2002).

### **1.3 Objetivos**

Los principales objetivos de este trabajo son los siguientes:

◆ Realización de una cartografía geológica a escala 1:25000 de la parte noroeste de Andorra que pueda ser integrada en un sistema de información geográfica (SIG). Este mapa incluirá las cartografías realizadas en los años 2004, 2005, 2006 y 2007, así como las posibles modificaciones realizadas sobre ellas a partir de la obtención de nuevos datos.

◆ Realización de un estudio estratigráfico en continuación con los realizados en los años 2005, 2006 y 2007 en el caso de los materiales cambro-ordovícicos y en el caso del Devónico se incluirán las modificaciones realizadas a partir de los datos preliminares obtenidos del análisis bioestratigráfico de conodontos..

◆ Elaboración de un estudio estructural, apoyado en la cartografía geológica, en la realización de cortes geológicos detallados orientados perpendiculares a la dirección general de las estructuras, así como en el estudio microestructural y petrográfico. Esto estará apoyado por la realización de proyecciones estereográficas, interpretación de fotografías y elaboración de esquemas estructurales.

### **1.4 Metodología**

La metodología de trabajo seguida en este estudio geológico y en la realización del mapa geológico como en ocasiones anteriores será el resultado de un proceso dividido en varias etapas. En una primera, que podríamos denominar de trabajos previos, se realiza la revisión de la bibliografía existente sobre la geología de la zona, así como la consulta de las cartografías geológicas realizadas hasta el momento y la información complementaria que las acompaña. En estos primeros pasos se realiza también un estudio fotogeológico, mediante pares estereoscópicos de las fotografías aéreas existentes. Para este trabajo se utilizaron las fotografías de dos vuelos realizados por el gobierno andorrano el primero de escala 1:22000 del año 1982 y el segundo a escala 1:16000, más moderno. El estudio de la fotografía aérea es de gran ayuda para el trazado de estructuras de escala kilométrica que debido a sus dimensiones no pueden trazarse claramente en el campo.

La segunda etapa consiste en la realización de los trabajos de campo. Estos han consistido en varias campañas de campo realizadas entre los meses de Junio y Octubre dadas las características climatológicas de la zona y en concreto la última campaña realizada principalmente en la zona del valle de Ransol se ha llevado a

cabo durante los meses de Julio y Agosto de 2007. Los trabajos realizados en estos meses han quedado reflejados en 161 estaciones de medida cuyos datos, medidas de dirección y buzamiento de la estratificación, foliación tectónica, ejes de pliegues, intersecciones entre diferentes superficies, etc, son de gran utilidad para la reconstrucción de estructuras geológicas de gran escala. Paralelamente se realizaron numerosas observaciones de carácter litológico, sedimentológico y mineralógico buscando la caracterización sedimentológica de la serie y el reconocimiento de aquellos minerales metamórficos para la posterior diferenciación de las distintas zonas metamórficas.

A su vez en esta campaña se llevó a cabo un muestreo detallado de los materiales devónicos que afloran en la cresta del Pic de Casamanya desde el pico hacia el sur, con el fin de realizar el análisis bioestratigráfico a partir de conodontos. Para ello se contó con la colaboración de expertos en bioestratigrafía de conodontos de la Universidad de Valencia. Durante el muestreo se recogieron muestras de manera sistemática, es decir se diferenciaron una serie de tramos o bloques que mostraban características litológicas similares y en cada uno de ellos se recogieron una serie de muestras, separadas entre 2 y 5 metros aproximadamente, dependiendo del carácter carbonatado de los diferentes estratos, ya que el material más adecuado para contener restos de conodontos es la caliza y principalmente las calizas bioclásticas. En total se recogieron 37 muestras cuyo peso podía oscilar entre los tres y los diez kilogramos de peso. El volumen y peso total que supuso el muestreo requirió para su transporte la ayuda de un helicóptero que fue proporcionado por el CENMA (IEA).

Por otra parte, durante esta campaña se recogieron también muestras de los materiales cambro-ordovícicos con diferentes fines desde el estudio microestructural y sedimentológico hasta el estudio geoquímico y metamórfico. Este estudio se llevará a cabo una vez finalizada la campaña de campo dentro de la siguiente etapa en la que se realizaran los trabajos de laboratorio.

En el laboratorio se ha realizado mayoritariamente el análisis de las láminas delgadas, realizadas a partir de las muestras tomadas en el campo. Este análisis se realiza a través del microscopio óptico de luz transmitida, esto nos ha permitido identificar la composición mineral de las rocas sedimentarias, así como reconocer los minerales índice propios de cada una de las diferentes zonas metamórficas. Además este análisis resulta de gran ayuda a la hora de conocer las características microestructurales de las diferentes fases de deformación así como la relación de cada una de estas fases con el desarrollo del metamorfismo.

La última fase en un estudio de este tipo es aquella en la que se llevan a cabo lo que se denomina trabajos de gabinete. Esta consiste esencialmente en el tratamiento, interpretación e integración de los datos obtenidos tanto en el campo como en el laboratorio. En esta etapa se llevó a cabo, en lo que se refiere al estudio estratigráfico, la elaboración de las diferentes columnas estratigráficas a partir de los datos de campo y en la parte que concierne al estudio estructural, la elaboración de cortes geológicos detallados tanto a partir de los datos directos de campo como de la cartografía geológica realizada. Además se realizaron esquemas fotogeológicos, proyecciones estereográficas, interpretación de fotografías, etc. Todo esto unido al análisis microestructural, llevado a cabo durante los trabajos de laboratorio, nos ha permitido realizar el análisis

geométrico de las estructuras, intentando establecer la secuencia de deformación y deducir las condiciones en las que esta se produjo a partir de criterios de superposición de estructuras.

Finalmente el trabajo desarrollado en cada una de estas etapas ha quedado reflejado en el mapa geológico y el presente informe que lo acompaña.