



## Asociaciones con granate-clinopiroxeno en la 'unidad catazonal superior' del complejo del Cabo Ortegal (NW España)

### Garnet-clinopyroxene bearing assemblages in the 'upper catazonal unit' of the Cabo Ortegal complex (NW Spain)

GIL IBARGUCHI, J. I.; ABALOS, B.; CAMPILLO, A.; HIGUERO, A.; LOPEZ, B.; PINILLA, V.;  
RODRIGUEZ, C. I.; RODRIGUEZ, R.; URTIAGA, M. K.

Se han estudiado los siguientes materiales de la 'unidad catazonal superior' del Complejo del Cabo Ortegal conteniendo asociaciones con granate-clinopiroxeno: eclogitas, granulitas básicas, intercalaciones gneísicas en las granulitas, piroxenitas con granate, gneises de la aureola de contacto de las rocas ultramáficas, metabasitas de la 'formación Candelaria' y 'carbonatitas'. Los datos termobarométricos obtenidos sugieren que, mientras que los minerales de algunos de estos materiales han sufrido importantes reajustes composicionales durante los procesos de retromorfosis (e. g. granulitas con distena, intercalaciones gneísicas en granulitas, intercalaciones ultramáficas en gneises, etc.), otros han conservado elementos mineralógicos con la composición alcanzada durante el episodio metamórfico que originó la formación de las asociaciones con granate-clinopiroxeno. Este segundo grupo de materiales puede subdividirse en dos categorías: I) aquellos materiales en los que la asociación granate-clinopiroxeno se formó en torno a los 800 °C y  $15 \pm 1.5$  kbar (eclogitas 'tipo-I', granulitas de la 'formación Bracariza', piroxenitas con granate de los macizos de rocas ultramáficas 'carbonatitas'), y, II) aquellos en los que dicha asociación se formó a unos 700 °C y la misma P aproximadamente (eclogitas y granulitas intercaladas en las formaciones gneísicas). Aunque las diferencias no son muy importantes, es posible que los dos conjuntos litológicos representen dos gradientes metamórficos distintos y, por tanto, la existencia en dicha 'unidad' de materiales con diferentes historias tectono-metamórficas.

**Palabras clave:** eclogitas, granulitas, ultramáficas, 'carbonatitas', granate-clinopiroxeno, análisis minerales, termo-barometría.

The following materials from the 'uper' catazonal unit' of the Cabo Ortegal Complex, containing garnet-clinopyroxene assemblages, have been studied: eclogites, basic granulites, gneissic intercalations within granulites, garnet-bearing pyroxenites, gneisses from the contact aureole of the ultramafic rocks, metabasites from the 'Candelaria formation' and 'carbonatites'. The thermobarometric data obtained from this study suggest that the minerals from several of those materials underwent strong compositional readjustments during the subsequent retromorphic events (e. g. the kyanite-bearing granulites, the gneissic intercalations in granulites, the ultramafic intercalations in gneisses, etc.). The remaining materials have preserved mineral compositions attained during the metamorphic episode that produced the garnet-clinopyroxene assemblages; these materials may be classified as follows: I) those in which the garnet-clinopyroxene assemblage formed at ca. 800 °C and  $15 \pm \pm 1,5$  kbar ('type-I' eclogites, granulites from the 'Bacariza formation', garnet-bearing pyroxenites from the ultramafic massifs and 'carbonatites'), and, II) those where the same association developed at ca 700 °C and more or less the same P conditions (eclogites and granulites intercalated in gneisses). Although these differences in P and T are not very important, it is possible that these two groups represent two different metamorphic gradients, and therefore the existence in this 'unit' of the Complex of two lithological sub-units with different tectono-metamorphic histories.

**Key words:** eclogites, granulites, ultramafites, 'carbonatites', garnet-clinopyroxene, mineral analyses, thermo-barometry.

GIL IBARGUCHI, J. I.; ABALOS, B.; CAMPILLO, A.; HIGUERO, A.; LOPEZ, B.; PINILLA, V.; RODRIGUEZ, C. I.; RODRIGUEZ, R.; URTIAGA, M. K.

(Dpto. de Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco, Aptdo. 644, E-48080, Bilbao, España)

## INTRODUCCION

Los complejos del NW de la Península Ibérica, Cabo Ortegal y Ordenes en Galicia (NW de España) y Bragança y Morais en Tras-os-Montes (N de Portugal), junto con la Banda de Malpica-Tuy en Galicia Occidental, constituyen restos de una importante estructura alóctona, emplazada tectónicamente sobre materiales del Dominio Esquistoso de Galicia-Tras-os-Montes y de la Zona Centro Ibérica. Esta estructura alóctona está constituida por diferentes unidades separadas entre sí por contactos mecánicos. Las características litológicas y tectonometamórficas de esas unidades varían considerablemente de una a otra, habiendo sido objeto de una reciente sistematización por parte de ARENAS *et al.* (1988). Según estos

autores, la disposición, de abajo arriba, sería la siguiente: I) unidad basal de ortogneises, metasedimentos y metabasitas localmente eclogitizadas, II) unidad metasedimentaria epizonal, III) unidad inferior ofiolítica epizonal, IV) unidad catazonal inferior, V) unidad superior ofiolítica epimesozonal, VI) unidad catazonal superior y VII) unidad culminante de metabasitas, metasedimentos y ortogneises. Algunas de estas unidades representarían el mismo 'terreno' (fragmento litosférico) aunque desmembrado y duplicado, debido a los procesos de imbricación y emplazamiento. Este sería el caso, por ejemplo, para las dos unidades catazonales y la unidad culminante. Análogamente, la unidad basal y la unidad metasedimentaria epizonal, podrían considerarse como partes del margen del conti-

nente europeo, el cual está representado ahora por el autóctono relativo de la megaestructura alóctona.

En el Complejo del Cabo Ortegal, la 'unidad catazonal superior' está formada esencialmente por gneises félsicos, rocas básicas con paragénesis anfibolíticas, granulíticas o eclogíticas y rocas ultramáficas. Esta 'unidad' había sido objeto de investigaciones previas por VOGEL (1966), MAASKANT (1970), ENGELS (1972), ARENAS y PEINADO (1984), BASTIDA *et al.* (1984) y KUIJPER *et al.* (1985) entre otros. El estudio realizado forma parte de un proyecto de estudio global del Complejo, cuyo objetivo es el establecimiento de las condiciones de presión y temperatura a las que se han metamorfizado las diferentes litologías que componen esa y otras unidades, así como el establecimiento de la edad de los episodios metamórficos. Por los estudios anteriores se sabía que había rocas que habían sufrido un metamorfismo de HP/HT con formación de paragénesis eclogíticas y granulíticas de alta presión, y que estas rocas presentaban evidencias de una retromorfosis posterior que llegaba a originar hasta asociaciones de la facies de los esquistos verdes. El trabajo realizado ha tenido por objetivo la determinación de las condiciones de equilibrio para la formación de las asociaciones con granate-clinopiroxeno presentes en las diferentes litologías de la 'unidad' mencionada. Asumiendo que dichas asociaciones se formaron durante el climax del principal episodio de metamorfismo regional (el 'metamorfismo catazonal'), la determinación precisa de tales condiciones representa un paso fundamental para establecer la trayectoria presión-temperatura-tiempo de los materiales del Complejo.

Asociaciones con granate-clinopiroxeno se encuentran en las granulitas básicas, las eclogitas, las intercalaciones gneílicas en las granulitas, las rocas ultramáficas, las rocas de la aureola de contacto de las peridotitas, las metabasitas de la 'formación Candelaria', las 'carbonatitas' y las intercalaciones

de rocas calcosilicatadas en los diferentes tipos de gneises. Se han estudiado todas las litologías excepto las rocas calcosilicatadas, dado que en principio en esos materiales es posible estabilizar la asociación granate-clinopiroxeno en condiciones de metamorfismo de grado relativamente bajo.

## METODOS DE ESTUDIO

Se han realizado análisis de minerales de una serie de muestras seleccionadas (cf. situación en la Figura 1) con una microsonda electrónica CAMEBAX en el Centre de Mémoires Physiques de la Universidad de Clermont-Ferrand (Francia) mediante el método de dispersión de longitud de onda. Las condiciones de trabajo han sido: tiempo de integración - 10 s, corriente de imagen - 10 nA, tensión de aceleración - 15 kV; los patrones utilizados han sido óxidos y silicatos suministrados por el B. R. G. M. El error analítico del instrumento es generalmente menor del 2 % para la mayoría de los elementos mayores; en las condiciones de análisis, los valores absolutos de los elementos poco abundantes como Cr, Mn y Ni deben ser erróneos en la mayoría de los casos y, de hecho, muestran una importante dispersión, por lo que deben ser utilizados con precaución. Los contenidos en Fe<sup>3+</sup> de piroxenos y granates han sido deducidos asumiendo estequiometría de los minerales mediante cálculos de balance de cargas utilizando diferentes modelos: HAM y VIETEN (1971), CAWTHON y COLLERSON (1974) y PAPIKE *et al.* (1974), para los piroxenos, y RYBURN *et al.* (1975) para los granates. Para el cálculo de las fórmulas estructurales de los piroxenos se han utilizado los programas de P. BOIVIN de la Universidad de Clermont-Ferrand. Las Tablas I y II presentan una serie de análisis representativos de los minerales analizados. Los cálculos de las condiciones P-T fueron efectuados utilizando el geotermómetro de ELLIS y GREEN (1979), modificado por POWELL

(1985), así como las calibraciones del tránsito lherzolitas con espinela-lherzolitas con granate de O'HARA *et al.* (1975), de la reacción Albita = Jadeita + Cuarzo de Holland (1980, 1983) y de la transformación gabro-granulita-eclogita de Wood (in litt.).

Teniendo en cuenta que las zonaciones observadas en algunos casos en los granates podrían estar relacionadas con procesos de reequilibrio retrógrados, para el cálculo de las condiciones P-T máximas del metamorfismo se han utilizado los valores de los contenidos más altos en Mg de los granates, tanto en el caso de que éstos presentasen evidencias de una zonación 'normal', esto es, con aumento de los contenidos en Mg hacia los bordes, como en ausencia de zonación apreciable o en caso de zonación con disminución del contenido de Mg hacia los bordes (disminución que en principio se puede atribuir a los procesos de retromorfosis). Cabe señalar a este respecto que en ocasiones las presiones y temperaturas más elevadas no se obtienen utilizando los valores de Mg-máximo sino los correspondientes al análisis con el contenido más alto en Ca (debido a que con el geotermómetro utilizado T también aumenta al aumentar el  $X_{Ca}$  del granate); ahora bien, dado que los contenidos en Ca del granate pueden aumentar eventualmente durante los procesos de retromorfosis (destrucción de zoisita primaria), se ha preferido utilizar sistemáticamente los análisis correspondientes a los contenidos más altos de Mg, aunque las temperaturas obtenidas sean ligeramente más bajas. En cuanto a los piroxenos, los contenidos en  $Fe^{2+}$  dependen enormemente de la cantidad de  $Fe^{3+}$  calculada por ajuste de cargas a partir del análisis del mineral; dado que dicha cantidad puede variar mucho como resultado de pequeñas variaciones (dentro del error analítico) en el contenido de  $SiO_2$ , a fin de minimizar en lo posible el efecto de dichas variaciones, se ha preferido utilizar el valor promedio del  $Fe^{2+}$  calculado.

## RESULTADOS

### Eclogitas

En base a su modo de yacimiento, es posible distinguir dos tipos de eclogitas en la 'unidad catazonal superior' del Complejo del Cabo Ortegal:

*Eclogitas tipo-I:* son las eclogitas que forman la gran banda que se extiende a lo largo de unos 15 km por varios cientos de m de espesor, desde la Punta Aguillones (Cabo Ortegal) hasta Felgasos; estas eclogitas (muestra MC-5), aparecen casi sistemáticamente entre las granulitas básicas y los 'banded gneises'.

*Eclogitas tipo-II:* son las que aparecen formando pequeñas intercalaciones, con aspecto de boudins rotados, en el seno de los gneises de las formaciones denominadas 'banded gneisses' (e. g. las que aparecen en la Península de Masanteo, descritas por VOGEL, 1966, como eclogitas con carintina, muestra EC-1) y 'gneises de Chimparra' (muestra CO-8673).

Textural y mineralógicamente los dos tipos de eclogitas son bastante diferentes. En general las primeras son de grano medio a grueso y frecuentemente presentan granates de varios mm de diámetro conteniendo un núcleo rico en inclusiones de cuarzo, zoisita y rutilo principalmente y bordes idiomórficos carentes de inclusiones; contienen granate, onfacita, cuarzo, rutilo, zoisita y más raramente distena. Las segundas suelen ser de grano fino a medio; las variedades de grano medio se parecen a las eclogitas tipo-I aunque generalmente suelen estar más retromorfoseadas (hasta la fecha no se ha encontrado onfacita en ninguna de las muestras estudiadas, por lo que no se han tenido en cuenta en el presente trabajo); las de grano fino (muestras EC-1 en los 'banded gneises' y CO-8673 en los 'gneises de Chimparra') poseen texturas en nido de abeja que parecen traducir un origen coronítico para

los granates, apareciendo este mineral en general libre de inclusiones; poseen granate, onfacita, cuarzo y rutilo como minerales primarios. Ambos tipos de eclogitas presentan frecuentemente minerales secundarios (anfíbol, clinzoisita, fengita, flogopita, clorita y esfena principalmente) resultado de los procesos subsecuentes de retromorfosis.

Los piroxenos primarios de las eclogitas tipo-I son onfacitas con contenidos en molécula de jadeita en torno al 30 % la retromorfosis produce en estas eclogitas la formación de piroxenos de composición diopsídica formando simplectitas con plagioclasa, los contenidos en jadeita de estos piroxenos son mucho menores oscilando en torno a un 15 %. Algunos piroxenos primarios de estas eclogitas presentan indicios de una zonación composicional consistente en la disminución del contenido en  $Fe^{+3}$  y aumento del contenido de  $Fe^{2+}$  desde el centro hacia los bordes. En cuanto a las eclogitas tipo-II, los piroxenos analizados también poseen composiciones onfacíticas sin una zonación significativa, siendo en general algo más ricos en molécula de jadeita que los de las eclogitas tipo-I (35-40 mol %, con mayores contenidos en las eclogitas EC-1 intercaladas en los 'banded gneisses').

Los granates de las eclogitas tipo-I suelen estar ligeramente zonados, sin embargo no presentan una zonación consistente, pudiendo observarse dentro de una misma lámina granates que aumentan el contenido en Mg de centro a borde y otros en los que disminuye este contenido; el Fe muestra en general un comportamiento inverso al del Mg, mientras que el contenido en Ca disminuye en todos los casos desde el centro hacia los bordes (e. g. Alm<sub>41.3</sub>Espe<sub>0.9</sub>Pir<sub>31.9</sub>Gros<sub>25.9</sub> y Alm<sub>41.4</sub>Espe<sub>0.7</sub>Pir<sub>37.1</sub>Gros<sub>20.8</sub> para centro y borde respectivamente en la muestra MC5). Estos hechos sugieren que los granates han debido participar en mayor o menor grado en los procesos de retromorfosis que han afectado a estos materiales con posterioridad al climax del metamorfismo eclogítico.

En cuanto a los granates de las eclogitas tipo-II, los de las eclogitas intercaladas en los 'banded gneisses' (EC-1), poseen composiciones bastante similares a los de las eclogitas tipo-I, y, aunque con contenidos en moléculas de almandino y grosularia algo más bajos y de piropo algo más altos, también muestran zonaciones inconsistentes dentro de una misma lámina; los granates de las eclogitas intercaladas en los 'gneisses de Chimparra' (CO-8673) no poseen una zonación apreciable y se diferencian de los granates de las otras eclogitas por sus contenidos netamente inferiores en grosularia y almandino y superiores en piropo (e. g. Alm<sub>33.8</sub>Espe<sub>0.6</sub>Pir<sub>53.3</sub>Gros<sub>12.3</sub> para el borde) lo que les sitúa próximos al campo composicional de los granates de las eclogitas tipo-A de la clasificación de COLEMAN *et al.* (1965).

Teniendo en cuenta lo expuesto más arriba acerca de los valores analíticos a utilizar para el cálculo de las condiciones P-T de metamorfismo, se han obtenido los siguientes resultados:

#### *Eclogitas tipo-I*

— Piroxenos primarios (centro) con granate (Mg-máximo): 660°C, 14.7 kbar (posible inicio de la eclogitización).

— Piroxenos primarios (borde) con granate (Mg-máximo): 805°C, 17.2 kbar (T y P mínimas del climax eclogítico).

En ambos casos se ha utilizado la curva Jd35 según la calibración de HOLLAND (op. cit.).

— Piroxenos secundarios: en este caso los resultados pueden ser muy diferentes según con qué tipo de granate asumamos que se equilibraron estos piroxenos. Es sabido que la retromorfosis del granate durante los procesos post-eclogíticos produce generalmente descensos en los contenidos en Mg de este mineral, sin embargo este cambio composicional estaría relacionado con la formación de anfíbol + plagioclasa a partir del

granate (retromorfosis anfíbolítica); si asumimos que los piroxenos secundarios se forman en un estadio anterior, dado que ellos mismos se transforman subsecuentemente en anfíbol, es posible considerar que dichos piroxenos estarían en equilibrio con un granate de composición no muy diferente de la que este mineral poseía en las condiciones del climax eclogítico; para estas condiciones (piroxeno secundario - granate con Mg máximo) los resultados obtenidos son prácticamente idénticos, en cuanto a la T, a los obtenidos para la paragénesis eclogítica: 810°C, mientras que las P son evidentemente más bajas teniendo en cuenta la disminución del contenido en jadeita del piroxeno: 14 kbar (utilizando la curva Jd15 de la calibración de WOOD, op. cit., para el tránsito gabro-granulita-eclogita). Asumiendo que el equilibrio de los piroxenos secundarios fuese con los bordes de los granates empobrecidos en Mg, el resultado es de unos 700° y 13kbar. En cualquier caso, estos resultados sugieren que la retromorfosis de las eclogitas, previa a los episodios de metamorfismo epizonal, es resultado de un proceso relacionado esencialmente con la descompresión, pudiendo ser mínimas las variaciones de T durante el mismo; estos datos contrastan con lo señalado en trabajos anteriores (KUJIPER *et al.*, 1985) donde se proponía un estadio 'granulítico' posterior a la eclogitización producido por un aumento de la T en condiciones más o menos estáticas.

### *Eclogitas tipo-II*

A pesar de que los granates de las dos muestras analizadas poseen composiciones sumamente diferentes, los resultados son bastante similares dado que los efectos de los contenidos en Mg y Ca se compensan mutuamente; estos resultados son:

— Para EC-1 (eclogitas en los 'banded gneisses'): 705 °C y 15.5 kbar (utilizando la curva Jd35; teniendo en cuenta que los pi-

roxenos poseen más de 40 mol % de jadeita, si se utilizase la curva Jd50, el resultado apenas varía, 16.1 kbar y prácticamente la misma temperatura).

— Para CO-8673 (eclogitas en los 'gneises de Chimparra'): 715 °C y 15.75 kbar (con Jd35).

### **Granulitas básicas**

También en el caso de las granulitas es posible establecer dos tipos diferentes teniendo en cuenta los criterios de campo:

— *Granulitas tipo-I*: este tipo lo constituyen las rocas denominadas pirigarnitas y plagiopirigarnitas en trabajos anteriores, las cuales afloran principalmente en la parte central del Complejo constituyendo la 'formación Bacariza'; suelen ser rocas de grano medio a grueso conteniendo proporciones variables de granate, clinopiroxeno y plagioclasa con algo de rutilo, ilmenita y en menor proporción zoisita como accesorios; como minerales secundarios son frecuentes anfíbol, esfena, escapolita, epidota/clinozoisita y biotita; en un punto se han encontrado rocas de este tipo con distena (relicta en zoisita, muestra CO-8020). En las variedades más ricas en plagioclasa suele ser raro observar la asociación clinopiroxeno-granate estable; por lo general estas últimas rocas suelen ser también ricas en granate conteniendo cantidades variables de anfíbol y en menor proporción de biotita; también es frecuente en esas rocas la existencia de partes claras con composición trondhjemítica y aspecto de movilizados de origen anatéctico. El grado de retromorfosis puede ser muy variable, existiendo desde granulitas frescas formadas casi exclusivamente por granate y clinopiroxeno con algo de plagioclasa y cantidades mínimas de anfíbol secundario (muestra GA-7826), hasta rocas en las que se desarrolla una gran cantidad de anfíboles secundarios a partir de los granates y de los piroxenos (muestra CO-8699).

*Granulitas tipo-II:* se trata de intercalaciones básicas decimétricas a métricas en forma de boudins rotados en los 'gneises de Chimparra' (muestras CO-8638 y CO-8672); la diferencia más importante con las otras granulitas es la gran abundancia de biotita en estas rocas. Una de las muestras (CO-8672) aparece formando parte del mismo boudín que la muestra de eclogita CO-8673 (la diferencia es que en CO-8673 no hay plagioclasa y asimismo los granates poseen composiciones muy diferentes de los de la granulita (CO-8672).

En general los piroxenos primarios de las granulitas tipo-I son salitas con elevados contenidos en molécula de jadeita (en torno a un 20 mol %), y, a diferencia de lo que sucede normalmente con los piroxenos de las áreas granulíticas, los piroxenos de las granulitas del Cabo Ortegal son más bien pobres en molécula de Tschermak, situándose en muchos casos en el campo de los piroxenos de las eclogitas del diagrama discriminador  $Al^{VI}/Al^{IV}$  de WHITE (1964). Los piroxenos de las granulitas tipo-II poseen contenidos en jadeita aún más elevados (30-35 mol %) y se sitúan más claramente en el campo de las eclogitas del mencionado diagrama; de hecho, los piroxenos de estas muestras son totalmente comparables a los de las eclogitas y su denominación correcta sería la de onfacitas, por lo que cabría preguntarse cual sería la mejor denominación para estas rocas: ¿eclogitas con plagioclasa o granulitas? Por el momento, y en base al criterio de la existencia de plagioclasa estable con granate y clinopiroxeno mantendremos la denominación de granulitas.

En varias muestras existen piroxenos zonados (e. g. GA-7826, granulita masiva y CO-8638, intercalación en los 'gneises de Chimparra') sin embargo las zonaciones observadas no son totalmente consistentes: en ambas muestras existe un incremento de los contenidos en Mg y Ca y una disminución de los contenidos en Al y Na del centro al borde, sin embargo mientras que en la CO-8638 los centros son ricos en  $Fe^{3+}$  (lo

que sugiere que en este caso debe existir también una proporción significativa de componente acmita), en la GA-7826 sucede lo contrario, aumentando la cantidad de  $Fe^{3+}$  desde el centro hacia los bordes. Por otra parte, en algunos casos (e. g. muestra CO-8638) existen piroxenos secundarios simplectíticos; estos piroxenos se caracterizan por un aumento de los contenidos en  $Fe^{3+}$ , Ca y Mg, y una disminución de los contenidos en Al,  $Fe^{2+}$  y Na con respecto a los piroxenos primarios de la misma roca. Cabe mencionar que los piroxenos de la muestra CO-8020 (la única muestra de granulita básica con distena conocida hasta la fecha en el Complejo del Cabo Ortegal) presentan un aspecto poiquiloblástico bastante diferente del de los piroxenos primarios normales, lo cual unido al hecho de que también poseen los contenidos en Na más bajos de todos los piroxenos de granulitas analizados, permite suponer que en realidad se trata de piroxenos secundarios.

En cuanto a los granates, el rasgo más característico es la ausencia de zonaciones significativas. Salvo en el caso de la granulita con distena (CO-8020), que posee granates de composición muy similar a los de la eclogita tipo-II EC-1 (e. g.  $Alm_{35,6}Espes_{1,2}Pir_{42,4}Gros_{20,7}$  para el centro, i. e., con contenidos más altos en piropo que en almandino), en general son netamente más ricos en almandino y más pobres en piropo (e. g.  $Alm_{57,1}Espes_{2,1}Pir_{19,3}Gros_{21,4}$  para el centro de GA-7826) que los de las eclogitas.

Para la estimación de las condiciones P-T del metamorfismo se ha utilizado un criterio análogo al empleado en el caso de las eclogitas (Mg máximo de los granates con piroxenos primarios, etc.). Los resultados obtenidos también parecen confirmar la existencia de dos tipos de granulitas:

— Las granulitas tipo-I que aparecen formando la gran masa de la 'formación Barcariza', dan, a pesar de su diversidad litológica, temperaturas sistemáticamente más elevadas para el climax granulítico, que las

granulitas tipo-II: 785°C-11.75 kbar (CO-8020), 790°C-15.1 kbar (CO-8699) y 800°C-15.25 kbar (GA-7826). Como puede observarse, si se exceptúa la muestra CO-8020 cuyo piroxeno como ya se ha indicado probablemente no sea primario, estas condiciones no difieren mucho de las obtenidas para las eclogitas tipo-I, siendo solamente algo más bajas las presiones obtenidas en el caso de las granulitas (cabe señalar que el resultado obtenido utilizando los bordes de los piroxenos zonados de GA-7826 es de 695°C-12.9 kbar lo que puede indicar que en este caso existe un descenso considerable de la temperatura durante la descompresión).

— Las granulitas tipo-II intercaladas en los 'gneises de chimparra' dan las siguientes condiciones para el máximo de metamorfismo: 695°C-14.5 kbar para CO-8638, y 755°C-15.25 kbar para CO-6872. El hecho de que estos valores se sitúen más bien en el campo de la facies de las anfibolitas y sean bastante similares a los que se obtienen para las eclogitas tipo-II, aumenta la duda, si cabe, en cuanto al significado de estas rocas y a su correcta denominación. Una posible explicación para la formación de paragénesis granulíticas en esas condiciones de P y T sería el hecho de que durante el 'metamorfismo catazonal' predominasen las condiciones de  $P_{H_2O} < P$ , en las intercalaciones básicas en los gneises, hecho no del todo improbable teniendo en cuenta el carácter migmatítico de éstos.

### Intercalaciones gnéissicas en las granulitas

Se trata de rocas bastante similares a los 'gneisses de Chimparra' o a algunos tipos de 'banded gneisses', que aparecen intercaladas entre las granulitas básicas de la 'formación Bacariza' al S de S. Andrés de Teixido (muestra CO-852). Son gneises migmatíticos con movilizados de composición trondhjemítica. Las partes melanosómicas contienen gran cantidad de granate y biotita y en

algunos casos también aparece clinopiroxeno relicto en anfíbol; otros minerales presentes son ilmenita, esfena en ocasiones con inclusiones de rutilo, y esporádicamente mica blanca y carbonatos.

Los piroxenos analizados poseen composiciones análogas a algunos piroxenos de las granulitas básicas, en particular a los piroxenos poiquiloblásticos de las granulitas con distena (muestra CO-8020, piroxenos cuyo posible origen secundario ha sido discutido más arriba); esto es, con contenidos elevados en Ca y más bien bajos en Na; estos datos, unidos al hecho de que estos piroxenos aparezcan relictos en anfíbol induce a pensar que las composiciones analizadas deben ser resultado en parte de los procesos de anfíbolización posteriores al climax metamórfico. En cuanto a los granates, poseen composiciones no muy diferentes de los de las granulitas básicas adyacentes (e.g. Alm<sub>48</sub>.<sub>6</sub>Espes<sub>1</sub>.<sub>4</sub>Pir<sub>23</sub>.<sub>9</sub>Gros<sub>26</sub> para el borde), y, lo mismo que los de aquellas rocas, apenas están zonados.

La determinación de las condiciones P-T del metamorfismo da los siguientes valores: 705 °C y 11 kbar; teniendo en cuenta lo dicho más arriba, estos valores deben corresponder a un equilibrio de retromorfosis posterior al climax granulítico.

### Piroxenitas granate

Aunque existen indicios de que las rocas ultramáficas con granate son relativamente abundantes en el Complejo del Cabo Ortegal, hasta la fecha solamente se dispone de datos de dos tipos de piroxenitas con granate: I) las que aparecen formando bandas paralelas a la foliación, con una extensión lateral considerable (decenas de m), en el macizo ultramáfico de Herbeira (*piroxenitas tipo-I*, muestras GA-7821, CO-7910, CO-8656, CO-8728, CO-286GIR), y II) las que aparecen formando boudíns o cuerpos de pequeñas dimensiones en los 'banded gneisses' (*piroxenitas tipo-II*, muestra Co-

8615). En las primeras el granate puede aparecer formando coronas milimétricas entre los piroxenos y la espinela, o bien formando cristales, o agregados de cristales, subredondeados de tamaño considerable (varios mm a más de 1 cm) y sin relación aparente en ocasiones con la espinela; además de estos minerales pueden existir flogopita, anfíbol y clorita y en algún caso corindón; la presencia de anfíbol puede ser muy importante en algunas muestras, y parece estar relacionada con la recristalización en condiciones anfíbolíticas que afectó a estos minerales con posterioridad a los procesos de recristalización de más alto grado. Las intercalaciones ultramáficas en los 'banded gneises' muestran signos de una fuerte recristalización retrógrada en condiciones anfíbolíticas e incluso más bajas (formación de talco, clorita y carbonatos); los piroxenos primarios suelen estar a menudo transformados en anfíbol y es frecuente la formación de granate y flogopita en las partes externas del cuerpo ultramáfico, cerca del contacto con el gneis encajante. Además de las rocas mencionadas se ha estudiado una muestra constituida por una gran cantidad de anfíbol, granates de gran tamaño (varios mm - 1 cm), zoisita y algo de clinopiroxeno con espinela y corindón como accesorios, que aparece intercalada entre las piroxenitas con granate del macizo de Herbeira, que podría corresponder a un nivel de composición gabroica en dichos materiales ('metagabro' CO-8727). Cabe señalar por último que también son relativamente frecuentes las venas de piroxenitas con granate formado a partir de espinela, cortando la foliación en las partes superiores del macizo de Herbeira y en algunos puntos del macizo de Limo, sin embargo no se dispone de datos analíticos para este tipo de rocas.

Los piroxenos de las piroxenitas tipo-I son en todos los casos (incluyendo el 'metagabro'), diópsidos ricos en Al; sin contenidos particularmente elevados en Cr o Na; los contenidos en  $Fe^{3+}$  son bastante variables, en principio no es posible atribuir esta

variación a un factor sistemático (intensidad de la deformación, tipo de espinela, etc.), por lo que parece necesario disponer de un mayor número de datos para conocer su significado. Los piroxenos de las piroxenitas tipo-II intercaladas en los 'banded gneises' son algo más pobres en Mg y más ricos en Fe que los anteriores, lo que les confiere una composición de salitas; por lo demás son bastante similares a los de las piroxenitas tipo-I.

Un rasgo frecuente de la composición de muchos granates de las rocas ultramáficas (y de la intercalación de 'metagabro') es la existencia de  $Fe^{+3}$  en su fórmula (deducido por ajuste de cargas a partir del análisis). Por otra parte, aunque la composición de los granates es sumamente variable, es posible distinguir, los granates de las piroxenitas intercaladas en los 'banded gneises', piroxenitas tipo-II, de los de las otras piroxenitas por sus contenidos mucho más altos en Fe y más bajos en Mg y Ca (e. g.  $Alm_{53.3}Espes_{2.3}Pir_{26.1}Gros_{18.3}$  para al borde de CO-8615). En cuanto a los granates de las piroxenitas tipo-I hay que señalar en primer lugar que, o bien no presentan zonaciones significativas, o si lo están, suelen ser zonaciones débiles sin ningún tipo de tendencia sistemática. Por otra parte, los datos obtenidos sugieren que los granates formados a partir de espinelas cromíferas son más ricos en molécula de piropo (e. g. CO-8728 y 'metagabro' CO-8727, 45-55 mol %) que los formados a partir de espinelas aluminicas (e. g. CO-7910) y CO-8656, 40-44 mol %), no obstante también existen granates en algunas muestras sin relación aparente con espinelas, que poseen contenidos elevados en piropo (e. g. CO-7821, más de 50 mol %) por lo que no es posible establecer con certeza la relación entre composición de espinelas y composición de granates. La variabilidad es aún más notable en lo que se refiere a los contenidos en Ca de los granates, siendo de hecho posible encontrar dentro de una misma lámina granates con composiciones bastante diferentes (e. g.  $Al_{10}$

Espe<sub>0.03</sub>Pir<sub>45.5</sub>Gros<sub>35.2</sub> y Alm<sub>21</sub>Espe<sub>1.1</sub> Pir<sub>54.7</sub>Gros<sub>23.2</sub> para bordes de granates en contacto con espinelas en CO-8728); en conjunto los contenidos en molécula de grosularia varían desde el valor indicado de 35.2 hasta 15.7 mol % en la muestra GA-7821). Teniendo en cuenta todo lo anterior, parece lógico pensar que las composiciones de los granates de estas rocas deben ser en gran parte resultado de equilibrios locales controlados por la composición y proporción de las diferentes fases (espinela, clinopiroxeno y ortopiroxeno) que participan en las reacciones de formación de dichos minerales.

Utilizando un criterio análogo al empleado anteriormente para eclogitas, granulitas, etc. se han determinado las condiciones P-T para las asociaciones con granate y clinopiroxeno. La estimación de la P corresponde a un valor mínimo obtenido utilizando los valores de la curva de equilibrio para el tránsito lherzolitas con espinela-lherzolitas con granate de O'HARA *et al.* (1971); en realidad, y dado que esta curva es prácticamente horizontal en una amplia gama de T (entre 500 y 900 °C varía 1 kbar aproximadamente), el valor general de P mínima para todas aquellas muestras que poseen granate y espinela (todas las piroxenitas tipo-I), podría fijarse en unos  $16 \pm 0.5$  kbar. No se ha precisado más por el momento las condiciones P-T, utilizando por ejemplo las composiciones de ortopiroxenos y espinelas, o bien otras curvas para el equilibrio granate-espinela en rocas ultramáficas. Por otra parte, es evidente, en vista de lo comentado más arriba, que los resultados del cálculo de las presiones y temperaturas plantean numerosos problemas de interpretación, dado que a los posibles reajustes composicionales como resultado de las retromorfosis posteriores al equilibrio durante el climax metamórfico, hay que añadir en este caso los probables efectos de la composición del sistema sobre las composiciones de los granates estudiados. Para las piroxenitas tipo-II, intercaladas en los 'banded

gneisses', se han obtenido temperaturas del orden de 610 °C; estos valores pueden reflejar un completo reajuste de las composiciones durante la retromorfosis, y/o, teniendo en cuenta que en estas rocas los granates se forman en las partes periféricas de los bouidins, cerca del contacto con el gneis encajante, que la formación de los granates tiene lugar durante un período de recristalización a T relativamente baja. En cuanto a las piroxenitas tipo-I se obtienen resultados sumamente variables, desde unos 690 °C para Ga-7821 hasta casi 830 °C para CO-8728 (a la presión indicada más arriba). Con los datos de que se dispone no es posible establecer con certeza el valor de las condiciones P-T para el climax metamórfico en estas rocas; la existencia de valores por encima de 800 sugiere que los granates de las piroxenitas debieron formarse por destrucción de la espinela durante el episodio granulítico/eclogítico de alta T, sin embargo es necesario disponer de más datos para precisar este punto y determinar con mayor exactitud las condiciones de dicho episodio en las rocas ultramáficas.

#### Gneises de la aureola de contacto de las rocas ultramáficas

En contacto con las rocas ultramáficas (websteritas y harzburgitas) del macizo de Uzal aparecen algunas rocas semipelíticas (bastante parecidas a los 'gneises de Chimparra' próximos) afectadas por un metamorfismo térmico aparentemente estático. La textura de estas rocas es la de una corneana de alta temperatura, con indicios de fusión parcial en algunos puntos y formación de una asociación con granate, clinopiroxeno, flogopita y hornblenda parda, además de cuarzo y plagioclasa; también existe alto de termolita formando agregados radiales de cristales de pequeño tamaño.

Los piroxenos de estas rocas son salitas con elevados contenidos en Al, así como cantidades apreciables de Na (en torno a un

15 mol % de jadeita) y no presentan zonación aparente. Los granates poseen composiciones parecidas a las de los granates de algunas granulitas o a los de las intercalaciones gneísicas en éstas (eg. Alm<sub>44.3</sub>Espes<sub>1.3</sub>Pir<sub>25.1</sub>Gros<sub>29.3</sub> para el centro de GA-7818II), presentando una ligera zonación con aumento del contenido en Fe y disminución de los contenidos en Mg y Ca de centro a borde. Las condiciones de P y T calculadas en base a la composición de los piroxenos y de los máximos contenidos en Mg de los granates, son de ca. 805 °C y 13.8 kbar. Estas condiciones son comparables en cuanto a las temperaturas a las obtenidas para las granulitas, sin embargo como ya se ha señalado, se trata de rocas con un tipo de yacimiento y textura bastante peculiares, que cabe interpretar como un fragmento de aureola metamórfica producida por el emplazamiento de algún material a temperaturas muy elevadas, probablemente las mismas rocas ultramáficas con las que aparecen en contacto; esto no excluye que los minerales de estos materiales no hayan sufrido un reajuste composicional durante el metamorfismo granulítico/eclogítico de alta T, si asumimos que también las rocas ultramáficas han sufrido dicho metamorfismo. Por el momento no es posible establecer si las temperaturas de equilibrio elevadas obtenidas son resultado esencialmente de dicho reajuste o bien de la recristalización estática producida por el metamorfismo de contacto; de ser este último factor el que predominase, no cabe duda que el emplazamiento primitivo de las rocas ultramáficas tuvo que hacerse a una temperatura bastante más alta que los 800 °C; un argumento que apoyaría esta hipótesis sería el encontrar en dichas rocas ultramáficas evidencias de equilibrios a T más elevadas que los 830 °C determinados anteriormente para el par granate-clinopiroxeno de algunas piroxenitas con granate, sin embargo, por el momento no se dispone de datos suficientes que permitan confirmar este punto.

### Metabasitas de la 'Formación Candelaria'

La mayor parte de los materiales de esta 'formación' son rocas básicas muy anfibolitizadas formadas a partir de gabros, diabasas y diversos tipos de basaltos. Las asociaciones con granate y clinopiroxeno pueden aparecer de dos maneras: I) como resultado de la formación de texturas coroníticas con desarrollo de granate entre piroxeno y plagioclasa en muestras de aspecto gabroico: II) formando texturas granoblásticas más o menos orientadas en materiales bandeados, de origen basáltico probable, los cuales en ocasiones presentan concentraciones de epidota que sugieren procesos de contaminación o alteración hidrotermal (¿y metamorfismo de fondo oceánico?) previos a la recristalización posterior durante el metamorfismo regional. A la vista de esta posibilidad solamente se ha estudiado el primer tipo de asociaciones (muestra CO-8678).

Los piroxenos que desarrollan coronas de granate suelen estar frecuentemente anfibolitizados, por lo que es difícil saber hasta qué punto la composición analizada corresponde a la del equilibrio-clinopiroxeno-plagioclasa; los valores obtenidos indican composiciones de salitas magnesianas, casi diópsidos, con contenidos netamente inferiores en Al y Na a los de los piroxenos de las granulitas básicas. Los granates sin embargo poseen composiciones bastante comparables a los de algunas granulitas, en particular a los que poseen contenidos elevados en Ca; solamente presentan una zonación apreciable para el Fe que aumenta su contenido de centro a borde y para el Ca que lo hace en sentido contrario (e. g. Alm<sub>41.9</sub>Espes<sub>1.4</sub>Pir<sub>27.2</sub>Gros<sub>29.5</sub>Alm<sub>47</sub>Espes<sub>1.6</sub>Pir<sub>26.6</sub>Gros<sub>24.7</sub> para centro y borde respectivamente). Las temperaturas calculadas, ca. 695 °C, son comparables a las obtenidas para granulitas y eclogitas tipo-II, sin embargo las presiones, debido a los bajos contenidos en molécula de Jadeita de los piroxenos, son netamente inferiores, ca. 9.1 kbar. Las texturas y aso-

ciaciones observadas habían inducido a autores anteriores a considerar que esta 'formación' había sufrido un episodio de metamorfismo catazonal (granulítico) anterior a la retromorfosis anfibolítica. Con los datos termobarométricos obtenidos no es posible confirmar la existencia de dicho episodio, aunque también es posible, teniendo en cuenta lo que se ha mencionado sobre los piroxenos de estas rocas, que estos datos reflejen en realidad las condiciones de la retromorfosis anfibolítica.

### 'Carbonatitas'

Dentro de las granulitas básicas de la 'formación Bacariza' y cerca del contacto con las peridotitas, se han encontrado brechas con matriz carbonatada conteniendo fragmentos de granulitas básicas poco o nada retromorfoseadas. Es a este tipo de materiales a los que hemos denominado 'carbonatitas'. En ocasiones se forma escapolita a partir de plagioclasa, esfena a partir de rutilo y anfíbol a partir de piroxeno, así como una aureola reaccional de epidota entre la parte carbonatada y la roca básica; sin embargo, en la mayoría de los casos puede observarse el granate y el clinopiroxeno en contacto aparentemente estable con el carbonato (calcita algo magnésiana) por lo que no puede asegurarse que la retromorfosis esté relacionada con la formación de la brecha.

Los piroxenos de estas rocas poseen composiciones muy similares a las de los piroxenos de las granulitas básicas de la 'formación Bacariza', esto es, salitas ricas en Al y Na (hasta 25 mol % de jadeita), aunque se distinguen de aquellos por poseer contenidos más elevados en moléculas de Tschermack (cantidades significativamente más altas de  $Al^{IV}$  y  $Fe^{3+}$ ). Los granates presentan una débil zonación con aumento del contenido en Ca desde el centro hacia los bordes, distinguiéndose de los granates de las granulitas por poseer contenidos mucho más

altos en Ca y más bajos en Mg (e. g.  $Alm_{43.9}Espes_{1.5}Pir_{11.9}Gros_{42.8}$  para el borde de CO-8325). Las condiciones obtenidas para el equilibrio granate-clinopiroxeno (valores medios de  $Fe^{2+}$  de los piroxenos y Mg-máximo de los granates) son de ca. 830 °C-15.75 kbar, es decir, muy similares a las halladas para el mismo equilibrio en las granulitas básicas de la 'formación Bacariza'.

### CONCLUSIONES

Dejando aparte los casos en que pudo haber existido un importante reajuste composicional durante los procesos de retromorfosis (granulitas con distena, intercalaciones gneísicas en las granulitas, intercalaciones ultramáficas en los 'banded gneisses' y metabasitas de la 'formación Candelaria'), así como las rocas que se pudieron formar por metamorfismo de contacto, de los resultados obtenidos puede deducirse que en la 'unidad catazonal superior' del Complejo del Cabo Ortegal existen dos grupos de rocas en las cuales la asociación granate-clinopiroxeno se formó en diferentes condiciones de temperatura: en torno a los 800 °C, las eclogitas de la banda Punta Aguillones-Monte Castrillón-Felgosas (eclogitas tipo-I, las granulitas de la 'formación Bacariza' (granulitas tipo-I), las piroxenitas con granate de los macizos de rocas ultramáficas y las 'carbonatitas'; en torno a los 700 °C las eclogitas y granulitas intercaladas en las formaciones gneísicas (eclogitas y granulitas tipo-II). Las condiciones de presión para el equilibrio granate-clinopiroxeno no presentan grandes variaciones dentro de cada grupo ni de un grupo en comparación con el otro, pudiendo fijarse la presión para la formación de aquella asociación en unos  $15 \pm 1,5$  kbar, o incluso algo más alta en algún caso (eclogitas tipo-I).

Si asumimos que los gneises que contienen las intercalaciones eclogíticas y granulíticas son isofaciales con estas rocas, esto significa que la 'unidad catazonal superior' es-

taría formada a grandes rasgos por dos grandes conjuntos litológicos: uno constituido esencialmente por rocas máficas y ultramáficas (eclogitas-granulitas-ultramafitas), y otro por metasedimentos con intercalaciones de rocas ortoderivadas ácidas y básicas (las formaciones gneísicas de 'Chimparra' y 'banded' y quizás también los 'gneises de Cariño', junto con las correspondientes intercalaciones de origen no sedimentario). La 'formación Candelaria', constituida esencialmente por metabasitas (metagabros/diabasas/basaltos y plagiogranitos) no es seguro por el momento a que grupo debe atribuirse.

Teniendo en cuenta los mencionados datos termobarométricos, los dos grupos de rocas representarían por tanto, en principio, gradientes de metamorfismo algo distintos: un gradiente de P algo más elevada el segundo grupo. No obstante, en ausencia de datos radiométricos precisos es difícil establecer con seguridad el significado de estas diferencias: podría tratarse de dos conjuntos de materiales sometidos a metamorfismos diferentes en el espacio y en el tiempo, o bien de dos gradientes metamórficos simultáneos. El hecho de que aparentemente ambos conjuntos litológicos presenten el mismo tipo de estructuras, así como la existencia de yuxtaposiciones tectónicas en ambos grupos, evidenciada por la presencia de frecuentes contactos mecánicos (en ocasiones bandas de cizalla importantes) entre las diferentes litologías, podría indicar que los mencionados conjuntos de materiales han sufrido una historia común de metamorfismo de alta presión en condiciones de temperatura variables, siendo los procesos de tectónica tangencial posteriores al episodio

principal de 'metamorfismo catazonal' los responsables de la coexistencia de ambos conjuntos litológicos en la 'unidad catazonal superior' del Complejo. De hecho, la existencia de asociaciones secundarias en las eclogitas (clinopiroxeno diopsídico simplectítico) para las que se obtienen condiciones de T análogas a las registradas por las asociaciones primarias (con onfacita) y presiones considerablemente más bajas puede traducir el carácter eminentemente tectónico de los procesos iniciales de descompresión sufridos por estos materiales.

Alternativamente, si consideramos que las rocas básicas con paragénesis eclogíticas o granulíticas que aparecen intercaladas en las formaciones gneísicas, poseen características texturales y mineralógicas (diferentes condiciones P-T) que las diferencian considerablemente de las del otro grupo y las hacen más comparables a las descritas por ARENAS (1985) en la 'unidad catazonal inferior' (eclogitas de la Unidad de Moeche), o incluso a las eclogitas de la Banda de Malpica-Tuy (GIL IBARGUCHI y ORTEGA, 1985), podría pensarse que en el Complejo del Cabo Ortegá, al igual que sucede en el caso del Complejo de Ordenes (Unidad de Santiago), también aparecen representados los materiales de la 'unidad basal' de la megaestructura alóctona, aunque, evidentemente esta hipótesis debería ser verificada con un mayor número de datos, sobre todo radiométricos, y por el momento debe manejarse únicamente como una hipótesis de trabajo.

*Recibido, 20-II-88*  
*Admitido, 1-IV-88*

## BIBLIOGRAFIA

- ARENAS, R. (1985). Evolución y geoquímica de la unidad alóctona inferior del complejo metamórfico básico-ultrabásico de Cabo Ortegal (Unidad de Moeche) y del Silúrico paraautóctono, Cadena Hercínica Ibérica (NW de España). *Thesis, Univ. Complutense, Madrid, Pub. Fund. Pedro Barrié de la Maza*, II, <sup>a</sup> Serie n.º IV, 543 págs. A Coruña 1988.
- ARENAS, R., PEINADO, M. (1984). Petrología de las granulitas de alta presión y de las eclogitas tipo B del Macizo de Cabo Ortegal, NW España. *I Congr. Español de Geología*, II, 27-48.
- ARENAS, R., GIL IBARGUCHI, J., GONZALEZ LODEIRO, F., KLEIN, E., MARTINEZ CATALAN, J., ORTEGA GIRONES, E., DE PABLO MACIA, J., PEINADO, M. (1986). Tectonostratigraphic units in the complexes with mafic and related rocks of the NW of the Iberian massif. *Hercynica*, II, 2, 87-110.
- BASTIDA, F., MARCOS, A., MARQUINEZ, J., MARTINEZ CATALAN, J., PEREZ ESTAUN, A., PULGAR, J. (1984). Mapa geológico de España 1:200.000, Hoja n.º 1 (La Coruña). *I.G.M.E. Madrid*.
- CAWTHORN, RG., COLLERSON, KD. (1974). The recalculation of pyroxene end-member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analyses. *Am. Miner.* 59, 1203-1208.
- COLEMAN, RG., LEE, DE., BEATTY, LB., BRANNOCK, WW. (1965). Eclogites and eclogites: their differences and similarities. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76, 483-508.
- ELLIS, D. J., GREEN, DH. (1979). An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. *Contrib. Mineral. Petrol.* 71, 13-22.
- ENGELS, JP. (1972). The catazonal poly-metamorphic rocks of Cabo Ortegal (NW Spain), a structural and petrofabric study. *Leidse Geol. Meded.*, 48, 83-133.
- GIL IBARGUCHI, J., ORTEGA GIRONES, E. (1985). Petrology, structure and geotectonic implications of glaucophane-bearing eclogites and related rocks from the Malpica-Tuy Unit, Galicia, Northwest Spain. *Chem. Geol.* 50, 145-162.
- HAM, H. M., VIETEN, K. (1971). Zur berechnung des kristalchemischen formel und des Fe<sup>3+</sup> gehielkkinopyroxenen aus elektronenstrahl-mikroanalyses. *N. Jabr. Min. Mb.* 7, 310-314.
- HOLLAND, TJB. (1980). The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600-1200 °C. *Am. Miner.*, 65, 129-134.
- HOLLAND, TJB. (1983). The experimental determination of activities in disordered and short-range ordered jadeitic pyroxenes. *Contrib. Mineral. Petrol.* 82, 214-220.
- KUIJPER, RP., VOGEL, DE., DEN TEX, E. (1985). Eclogite-plagiopyrigarnite relationships in the Catazonal Complexes of Northwest Spain. *Chem. Geol.*, 50, 163-171.
- MAASKANT, P. (1970). Chemical petrology of polymetamorphicultramafic rocks from Galicia, NW Spain. *Leidse Geol. Meded.*, 45, 237-325.
- O'HARA, MJ. RICHARDSON, SW., WILSON, G. (1971). Garnet peridotite stability and occurrence in crust and mantle. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 32, 48-67.
- PAPIKE, JJ., CAMERON, KL., BALDWIN, K. (1974). Amphiboles and pyroxenes: characterization of 'other' than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. *Geol. Soc. Am. abst. prog.*, 67, 1053-1054.
- POWELL, R., (1985). Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet-clinopyroxene geothermometer revisited. *Jour. Metam. Geol.*, 3, 231-243.
- RYBURN, RJ., RAHEIM, A., GREEN, DH. (1975). Determination of the P, T paths of natural eclogites during metamorphism-record of subduction. *Lithos*, 9, 161-164.
- VOGEL, DE. (1967). Petrology of an eclogite and pyrigarnite bearing polymetamorphic rock complex at Cabo Ortegal, NW Spain. *Leid. Geol. Meded.*, Leiden, 40, 121-213.
- WHITE, AJR. (1964). Clinopyroxenes from eclogites and basic granulites. *Am. Miner.*, 49, 883-888.
- WOOD, BE. (in lit.). Phase relationships of mafic compositions in the granulite and eclogite facies. *Contrib. Mineral. Petrol.*

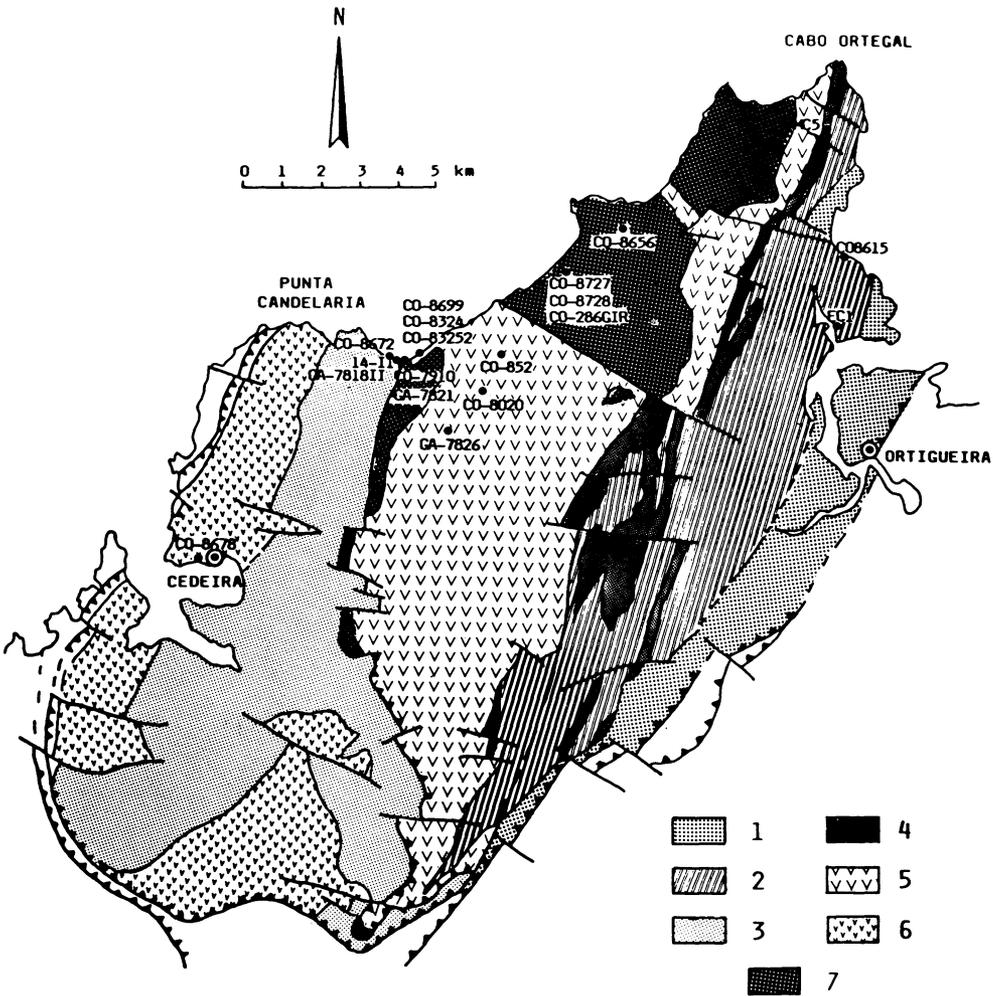


Fig. 1. Situación de las muestras con granate-clinopiroxeno estudiadas en la 'unidad catazonal superior' del Complejo del Cabo Ortegal (cartografía según BASTIDA *et al.*, 1984, simplificada). 1) 'gneisses de Cariño', 2) 'banded gneisses', 3) 'gneisses de Chimparra', 4) eclogitas tipo-I, 5) granulitas tipo-I ('formación Bacariza'), 6) metabasites de las 'formaciones Agudo y Candelaria', 7) rocas ultramáficas.

**TABLA I**  
**Análisis de clinopiroxenos, fórmula estructural y suma de óxidos**

Si	Ti	Al	Fe <sup>3+</sup>	Cr	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Mg	Ni	Ca	Na	K	S.Ox	Muestra
1.947	0.393	0.044	--	0.072	0.002		0.564	--	0.635	0.399	--	100.41	MC-5-IC
1.932	0.004	0.399	0.030	0.002	0.124	0.002	0.543	--	0.659	0.304	--	100.35	MC-5-IB
1.959	0.006	0.249	--	0.001	0.157	0.002	0.671	--	0.791	0.143	0.002	99.90	MC-5-II
1.987	0.003	0.445	--	--	0.078	0.001	0.519	--	0.555	0.401	--	99.15	EC-1
1.952	0.007	0.375	0.043	0.005	0.071	0.001	0.592	0.001	0.613	0.341	--	99.98	CO-8673
1.918	0.013	0.260	0.069	--	0.246	0.002	0.540	0.001	0.757	0.191	0.001	100.48	CO-8699
1.936	0.014	0.292	0.040	--	0.290	0.004	0.499	--	0.691	0.233	--	101.31	GA-7826C
1.921	0.009	0.190	0.084	--	0.235	0.004	0.600	--	0.823	0.133	0.001	99.14	GA-7826B
1.898	0.011	0.266	0.017	--	0.101	--	0.725	--	0.879	0.102	--	100.64	CO-8020
1.942	0.009	0.281	0.080	0.002	0.216	0.003	0.515	0.002	0.685	0.264	--	99.58	CO-8638C
1.890	0.010	0.175	0.192	0.001	0.093	0.022	0.620	--	0.830	0.156	0.011	101.09	CO-8638-II
1.910	0.001	0.406	0.076	0.002	0.157	0.016	0.492	0.003	0.632	0.304	0.001	100.67	CO-8672
1.975	0.004	0.124	--	--	0.184	0.001	0.753	--	0.883	0.072	--	99.02	CO-852
1.890	0.005	0.154	0.059	0.003	0.045	0.005	0.872	--	0.960	0.006	--	100.08	CO-7910
1.931	0.008	0.126	0.013	0.004	0.095	0.003	0.852	--	0.945	0.021	0.001	99.53	CO-286GIR
1.917	0.004	0.127	0.034	--	0.067	0.002	0.872	--	0.972	0.004	--	100.12	CO-8656
1.920	0.002	0.168	--	--	0.063	--	0.869	0.001	0.964	0.011	0.001	98.63	CO-8728
1923	0.003	0.169	0.018	--	0.071	0.003	0.845	0.001	0.930	0.038	--	99.00	CO-8727
2.002	0.002	0.053	--	0.002	0.176	0.006	0.777	--	0.938	0.027	--	99.38	CO-8615
1.932	0.001	0.278	--	0.001	0.162	0.002	0.667	0.001	0.814	0.141	--	99.71	14-II
1.940	0.008	0.276	--	0.002	0.161	0.003	0.657	--	0.792	0.148	0.001	100.19	GA-7818II
1.961	0.006	0.098	0.010	0.004	0.173	--	0.812	--	0.892	0.045	--	100.41	CO-8678
1.855	0.016	0.376	0.124	--	0.197	0.002	0.454	--	0.732	0.243	--	100.03	CO-8324
1.846	0.011	0.311	0.181	--	0.167	0.007	0.504	0.001	0.765	0.206	--	100.40	CO-83252

MC-5-IC: piroxeno primario de eclogitas tipo-I, centro; MC-5-IB: piroxeno primario de eclogitas tipo-I, borde; MC-5-II: piroxeno secundario de eclogitas tipo-I; EC-1, CO-8673: piroxenos primarios de eclogitas tipo-II; CO-8699, GA-7826, CO-8020: granulitas básicas tipo-I; CO-8638; CO-8672: granulitas básicas tipo-II; CO-852: intercalaciones gneásicas en las granulitas; Co-7910, CO-286GIR, CO-8656, CO-7828: piroxenitas con granate tipo-I; CO-8727: intercalaciones de 'metagabro' en las piroxenitas con granate tipo-I; CO-8615: piroxenitas con granate tipo-II; 14-II, GA-7818II: rocas de la aureola de contacto de las peridotitas; CO-8678: metabasitas de la 'formación Candelaria'; CO-8324, CO-83252: 'carbonatitas'.

Análisis de granates, fórmula estructural y suma de óxidos

Si	Al <sup>IV</sup>	Al <sup>VI</sup>	Ti	Cr	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Mg	Ca	S.Ox.	Muestra
2.987	0.013	2.026	0.007	--	--	1.220	0.026	0.943	0.766	101.82	MC-5C
2.977	0.023	1.997	0.007	--	--	1.244	0.023	1.112	0.623	101.56	MC5-B
2.976	0.024	2.009	0.005	0.002	--	1.199	0.034	1.074	0.732	100.97	EC-1C
2.897	0.103	1.980	0.005	0.001	--	1.237	0.030	1.149	0.634	100.67	EC-1B
2.995	0.005	2.010	0.002	0.002	--	1.009	0.023	1.583	0.365	101.77	CO-8673C
2.996	0.004	2.010	--	0.001	--	1.199	0.018	1.578	0.363	101.06	CO-8673B
3.006	--	1.988	0.004	--	0.009	1.706	0.064	0.577	0.640	99.80	GA-7826C
3.000	--	1.983	0.006	--	0.011	1.677	0.060	0.574	0.689	99.84	GA-7826B
2.878	0.122	1.881	--	--	0.118	1.018	0.029	1.413	0.602	101.85	CO-8020C
2.957	0.043	2.006	0.004	--	--	1.070	0.036	1.275	0.622	100.89	CO-8020B
2.966	0.034	2.009	0.022	--	--	1.778	0.055	0.712	0.413	100.34	CO-8638C
2.982	0.018	2.011	0.002	0.001	--	1.789	0.053	0.705	0.440	100.93	CO-8638B
2.976	0.024	1.995	0.002	--	0.003	1.473	0.054	0.734	0.751	100.06	CO-852C
2.989	0.011	2.019	0.005	--	--	1.444	0.043	0.709	0.772	100.60	CO-852-B
2.980	0.020	1.999	0.001	0.007	--	0.814	0.055	1.326	0.803	101.64	CO-7910C
2.979	0.021	1.989	--	0.012	--	0.878	0.069	1.213	0.849	101.79	CO-7910B
3.003	--	2.010	0.001	0.002	--	0.862	0.035	1.297	0.781	101.87	CO-8656C
3.013	--	2.002	0.003	0.003	--	0.878	0.041	1.260	0.780	101.48	CO-8656B
3.009	--	1.974	0.004	0.005	0.021	0.594	0.018	1.397	0.961	100.18	CO-8728C
3.019	--	1.941	0.003	0.035	0.020	0.585	0.008	1.347	1.042	99.81	CO-8728B
3.001	--	1.967	0.004	0.010	0.019	0.780	0.041	1.585	0.589	101.43	CO-8727C
3.008	--	1.973	0.006	0.011	0.010	0.779	0.050	1.537	0.616	100.10	CO-8727B
3.027	--	1.951	0.012	0.003	0.033	1.566	0.069	0.862	0.435	99.99	CO-8615C
3.003	--	2.004	0.008	0.001	--	1.582	0.069	0.777	0.543	99.96	CO-8615B
3.003	--	2.005	0.006	0.004	--	1.314	0.040	0.746	0.869	101.90	GA-7818IIC
3.006	--	2.028	0.002	--	--	1.333	0.046	0.765	0.798	101.80	GA-7818IIB
2.968	0.032	2.044	0.002	0.001	--	1.323	0.031	0.859	0.759	100.12	CO-8678C
2.995	0.005	1.997	0.003	--	--	1.410	0.049	0.799	0.743	100.96	CO-8678B
3.034	--	2.108	0.006	0.014	--	1.478	0.054	0.395	1.215	100.24	CO-8325C
2.953	0.047	1.963	0.011	0.026	--	1.341	0.046	0.363	1.307	100.60	CO-8325B

C y B: centro y borde respectivamente de los granates; MC-5-I: eclogitas tipo-I; EC-1, CO-8673: eclogitas tipo-II; GA-7826, CO-8020: granulitas básicas tipo-I; CO-8638: granulitas básicas tipo-II; CO-852: intercalaciones gneísticas en las granulitas; CO-7910, CO-8656, CO-8728: piroxenitas con granate tipo-I; Co-8727: intercalación de 'metagabro' en las piroxenitas con granate tipo-I; CO-8615: piroxenitas con granate tipo-II; GA-7818II: rocas de la aureola de contacto de las peridotitas; CO-8678: metabasitas de la 'formación Candelária'; CO-8325: 'carbonatitas'.