

# Caracterización geoquímica y distribución de la mineralización de Cr y EGP en los macizos ultramáficos de Cabo Ortegal (NO España)

T. Moreno<sup>1</sup>, R. Lunar<sup>2</sup>, H.M. Prichard<sup>1</sup> y W. Gibbons<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Earth Sciences Department, Cardiff University, Cardiff CF1 3YE, Wales, UK. [morenot@cardiff.ac.uk](mailto:morenot@cardiff.ac.uk).

<sup>2</sup> Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

## ABSTRACT

*Chromitites with up to 13,375 ppb of total PGE occur in layered dunites in the ultramafic massifs of Cabo Ortegal (NW Spain). These ultramafics comprise mantle harzburgites (with dunite pods) overlain by a (crustal) layered complex formed by a lower dunite, a pyroxenite, and an upper dunite. Spinel-rich areas and chromitite in dunite pods are present in the basal harzburgites. Chromitite layers occur only rarely in the pyroxenite, more commonly in the lower dunite (increasing towards the top), and most commonly in the upper dunite. The thickest chromitite layers (50 cm thick) occur at the top of the upper dunite where the highest concentrations of PGE are also reached. The repetition of dunite above and below the pyroxenite in the layered intrusion, with both dunite units showing upward increasing abundances of chromite, Pt and Pd, suggests magma replenishment during a multiple intrusion history. The presence of Al-rich spinels in both harzburgites and pyroxenites, together with other suggestions of high pressure conditions such as high values of Fe and Cr in chromites, an abundance of garnet in some pyroxenite layers, and association with high pressure granulites and eclogites, indicate a mantle-crustal interface in an arc environment.*

**Key words:** platinum-group elements, chromite, Cabo Ortegal, arc.

## INTRODUCCIÓN

El complejo de Cabo Ortegal es uno de los cinco complejos ultramáficos del noroeste de la Península Ibérica (Cabo Ortegal, Ordenes, Malpica-Tuy, Bragança y Morais) que cabalgaron de oeste a este sobre rocas Paleozoicas peninsulares, quedando preservados en sinfomes durante la orogenia Hercínica. De ellos Cabo Ortegal tiene especial interés debido a sus afloramientos de granulitas de alta presión y eclogitas y la presencia de mineralizaciones de cromo y elementos del grupo del platino (EGP) en sus rocas ultramáficas.

Las rocas metamórficas del complejo de Cabo Ortegal pueden dividirse en tres unidades (Gil Ibarra *et al.*, 1990): una unidad basal ofiolítica (anfíbolitas), una unidad gneásica y una unidad superior (eclogitas, granulitas y rocas ultramáficas). Estas rocas ultramáficas afloran en tres macizos (Fig. 1), Limo, Herbeira y Uzal emplazados sobre granulitas que a su vez cabalgan sobre eclogitas. Mientras que Limo y Uzal están formados mayormente por harzburgitas con niveles ocasionales de piroxenitas, Herbeira presenta una falla casi vertical NNE-SSO (Fig. 1) que divide el macizo en un área oriental de harzburgitas y un área

occidental más compleja con un complejo estratificado de dunitas y piroxenitas sobre las harzburgitas (no preservado en Limo y Uzal). Los buzamientos de dunitas y piroxenitas son moderados hacia el SE, pero en la proximidad de la falla forman un sinforme NE-SO. En conjunto, las rocas ultramáficas de Cabo Ortegal comprenden: a) una harzburgita basal (mantélica) con una potencia mínima de 450 m y muy serpentinizada (60-70%), especialmente en su contacto ultramilonítico con las granulitas; y b) un complejo ígneo estratificado (cortical) que únicamente aflora en los acantilados en la parte occidental de Herbeira y que está formado por una unidad de dunita de 375 m de potencia (Dunita Inferior, DI), una unidad de piroxenita (<350 m) y una unidad de dunita (Dunita Superior, DS, <225 m).

## MINERALIZACIÓN DE CROMITA

**Harzburgitas:** la presencia de espinelas diseminadas (< 5mm) alineadas paralelamente a la foliación principal de la harzburgita es muy frecuente en los tres macizos. Sus contenidos en Al son más elevados en Uzal, seguidos de Limo y Herbeira. La ausencia de otros minerales ricos en Al favorece la utilización del contenido en Al en espinelas

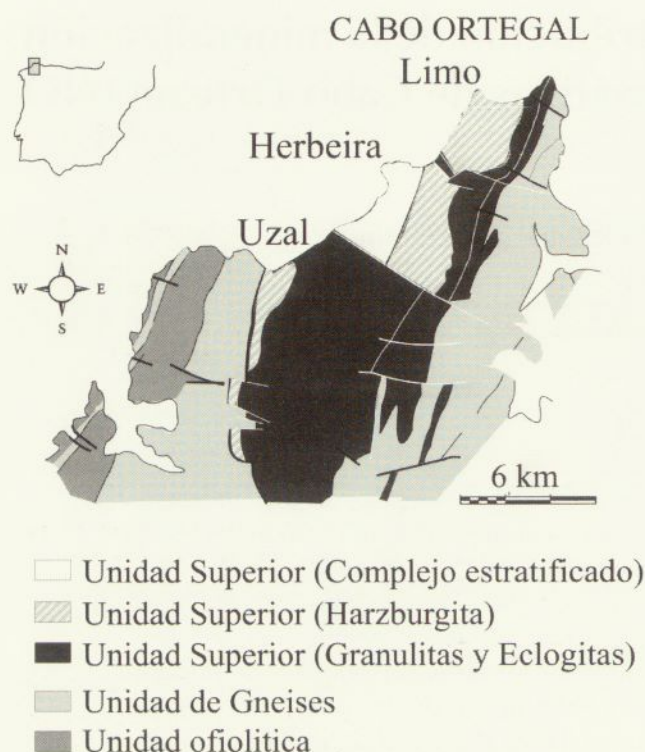


FIGURA 1: Mapa geológico de la parte norte del complejo de Cabo Ortegale (basado en las unidades descritas por Gil Ibarguchi *et al.*, 1990) mostrando la distribución de rocas ultramáficas en sus tres macizos: Limo, Herbeira y Uzal.

como indicador de su localización relativa en el manto, sugiriendo que las muestras de Limo son las de mayor profundidad de toda la secuencia. Las harzburgitas de Herbeira contienen también cromitas (>75% cromita) en forma de pods de hasta 30 cms de tamaño. Estos pods aparecen en la playa de Herbeira incluidos a su vez en pods de dunita.

**Complejo estratificado:** la DI presenta solo escasos niveles de cromitas ricas en Al trazables hasta 20 cm, con su nivel más importante (5 cm de potencia) en su parte superior, cerca del contacto con piroxenitas. Solamente se ha encontrado un nivel rico en espinelas en la unidad de piroxenita, localizado en la parte inferior de la unidad, cerca de piroxenitas ricas en granate. Las muestras de piroxenitas están muy alteradas y la mayoría de las espinelas son magnetitas o espinelas muy ricas en Fe. Estas magnetitas son las únicas espinelas en la secuencia que presentan una zonación, con un centro enriquecido en  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  y un borde rico en Al y Mg (similar a la descrita por Girardeau y Gil Ibarguchi, 1991). Esta zonación es debida posiblemente a reacciones entre espinelas y clinopiroxenos adyacentes (Kepezhinskas *et al.*, 1993), aunque no se pueden descartar otras causas. Por último la DS contiene la mayor proporción de cromitas de toda la secuencia, con cromitas como minerales aislados, finos niveles o como bandas masivas (50 cm de potencia).

La composición química de las cromitas de Herbeira no presenta ningún trend a lo largo de la secuencia ultramáfica,

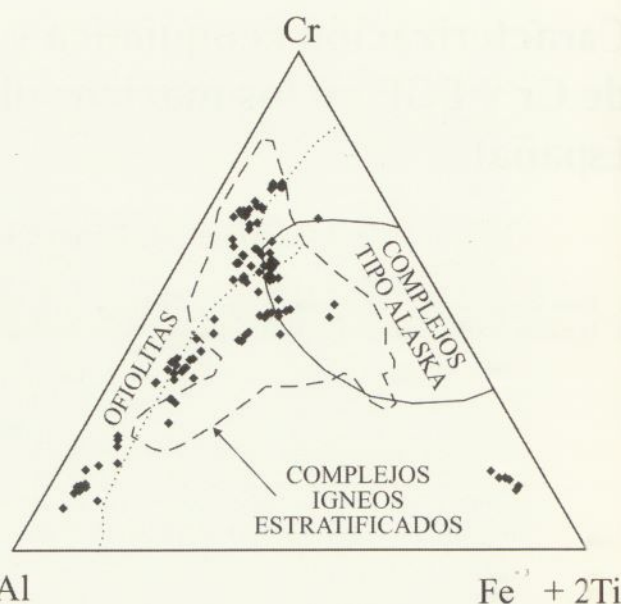


FIGURA 2: Distribución de la composición química de las espinelas en las rocas ultramáficas de Cabo Ortegale en un diagrama Cr-Al- $Fe^{3+}$ -Ti. Las espinelas de Cabo Ortegale no coinciden con ninguno de los campos descritos para su posible ambiente de formación.

esta característica es observada también en la composición de los olivinos (Girardeau *et al.*, 1990) por lo que ambas unidades de dunita parecen no formar parte de una misma secuencia ultramáfica. Parámetros como el contenido en Mg, Cr, ( $Cr\# = Cr/(Cr+Al)$ ), Al, Fe y Ti son frecuentemente utilizados (Irvine, 1977; Dick y Bullen, 1984; Stowe, 1994) para establecer el ambiente de formación de mineralizaciones de cromita: complejos ígneos estratificados (como Bushveld, Sudáfrica), ofiolitas (como Shetland, Reino Unido) o complejos tipo-Alaska (como Tulameen, Estados Unidos). En el caso de las cromitas de Cabo Ortegale su composición química no parece correlacionarse claramente con ninguno de los ambientes tectónicos citados (Fig. 2), siguiendo un trend similar al de ofiolitas pero con un mayor contenido en Ti y en  $Fe^{3+}$ , y mostrando un campo mucho más amplio. La abundancia de espinelas ricas en Al, los altos contenidos en Fe y Cr, y la asociación en Herbeira de piroxenitas granatíferas con granulitas de alta presión y eclogitas parece indicar un ambiente de formación relacionado con la interfase manto-corteza en un arco.

## MINERALIZACIÓN DE EGP

Todos los EGP (Os, Ir, Ru, Rh, Pt y Pd) están presentes en las rocas ultramáficas de Cabo Ortegale formando numerosos minerales del grupo del platino (Moreno *et al.*, 1999). La concentración de EGP en la secuencia ultramáfica varía dependiendo de la litología y de su posición estratigráfica. Mientras que las harzburgitas presentan concentraciones muy bajas (12-132 ppb) la DS contiene el valor más elevado, 13.375 ppb. Dicho comportamiento puede observarse

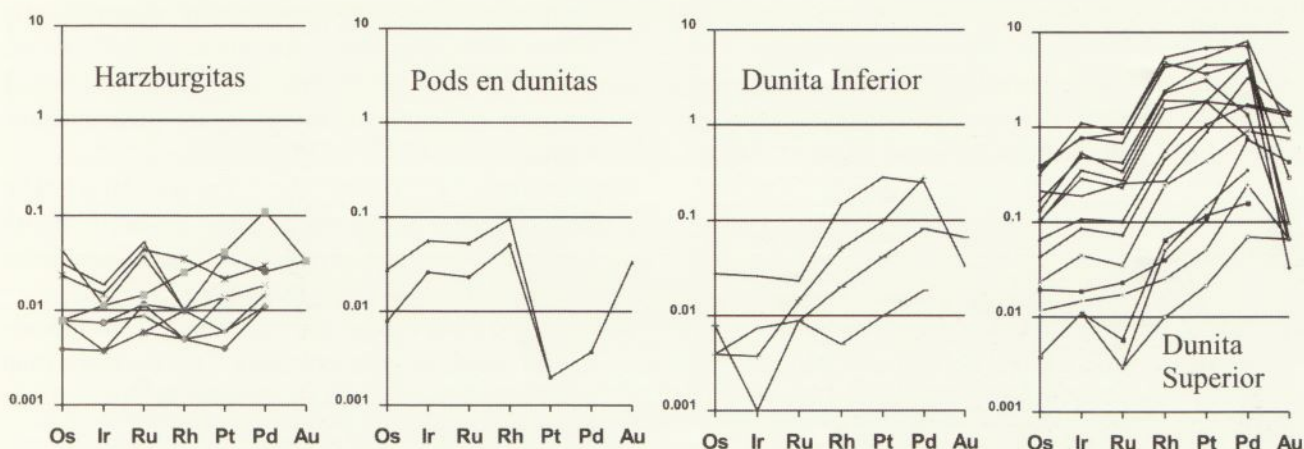


FIGURA 3: Diagramas de condrita normalizados para el contenido en EGP en diferentes unidades de la secuencia ultramáfica de Cabo Ortegual. Las harzburgitas muestran diagramas planos no fraccionados, mientras que el resto de unidades tienen fuertes pendientes: negativas en el caso de pods de cromititas en dunita (en harzburgitas), y positivas en las unidades duniticas del complejo estratificado.

también individualmente en cada unidad, así la DI y la DS presentan sus máximos valores analizados en su parte más superior (498 y 13.375 ppb respectivamente).

Los diagramas de condrita normalizada de EGP en las rocas ultramáficas de Cabo Ortegual (Fig. 3) muestran valores muy bajos y curvas planas para las harzburgitas debido a que no han sufrido procesos de fraccionación, sin embargo el resto de las litologías muestran curvas con pendientes diferentes. Los pods de cromitita incluidos en dunitas en estas mismas harzburgitas tienen una fuerte pendiente negativa (altos valores de Os-Ir-Ru), mientras que las rocas del complejo estratificado muestran fuertes pendientes positivas (enriquecidas en Pt y Pd), con una mayor pendiente en cada unidad (DI y DS) para las muestras procedentes de sus partes más superiores. Este incremento en la pendiente es resultado del proceso de fraccionación de los EGP a lo largo de la secuencia ultramáfica, siendo Os-Ir y Ru los primeros elementos en cristalizar debido a su más elevada temperatura de fusión y su afinidad con cromitas, mientras que Pt y Pd cristalizan más tardíamente y muestran una mayor afinidad con sulfuros. Los análisis de EGP en Cabo Ortegual son interpretados como el resultado de la distribución de EGP en una harzburgita mantélica, y una intrusión estratificada de dunita-piroxenita-dunita que representaría la base petrológica de la corteza. Los pods de dunita descritos en Herbeira corresponderían a sistemas o conductos de alimentación de la intrusión estratificada, que han propiciado la concentración de cromita.

La interesante repetición de dunita en la secuencia de Herbeira, con ambas dunitas (DI y DS) mostrando incremento en el contenido de cromita y Pt-Pd en la parte superior, parece indicar la presencia de una nueva inyección de magma. La teoría sobre intrusiones de múltiples magmas ha sido citada para explicar las altas concentraciones de EGP en Bushveld y Stillwater (Irvine *et al.*, 1983; Campbell *et al.*, 1983; Severson *et al.*, 1998). En Herbeira la presen-

cia de un segundo magma sería responsable del paso de piroxenita a DS. Este nuevo magma produciría concentraciones de cromita y EGP completamente diferentes a las mostradas por el primer magma (DI y piroxenita), explicando los valores tan elevados que la DS presenta en comparación con las otras dos unidades.

**CONCLUSIONES**

Los macizos ultramáficos de Cabo Ortegual (Limo, Herbeira y Uzal) están formados por una harzburgita basal mantélica y un complejo estratificado (sobre ésta) con tres unidades, DI, Piroxenita y DS. Mientras que la harzburgita forma prácticamente la totalidad de Limo y Uzal, así como la parte oriental de Herbeira, el complejo estratificado está solo presente en la parte occidental de Herbeira debido a que ha sido preservado por la acción de una falla casi vertical NNE-SSO. Los tres macizos presentan concentraciones de espinela, pero sólo la parte occidental de Herbeira contiene mineralizaciones de cromita, siendo más abundantes y de mayor potencia en la parte superior de la DS. Este mismo área presenta las mayores concentraciones de EGP (13.375 ppb). La distribución de EGP presenta un incremento de Pt y Pd en ambas unidades de dunita a medida que se asciende topográficamente, indicando procesos de fraccionación de estos elementos respecto Os-Ir-Ru. La secuencia ultramáfica descrita puede ser el resultado de la inyección de dos pulsos de magma. Un primer magma formaría la DI y pyroxenita, y un segundo magma mucho más rico en cromita y EGP, produciría la DS. La composición química de las cromitas y espinelas de Cabo Ortegual muestra altos contenidos en Al, Cr y Fe<sup>3+</sup>, indicando junto con la presencia de rocas de alta presión (granulitas y eclogitas) que estas rocas ultramáficas representan la interfase manto-corteza de un arco que fue cabalgado sobre Gondwana durante la colisión de ésta con Laurentia en la orogenia hercínica.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado mediante el proyecto AMB94-0110 de la CICYT y una beca doctoral del Ministerio de Educación y Ciencia en el Reino Unido (T. Moreno).

## REFERENCIAS

- Dick, H.J. y Bullen, T. (1984): Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86: 54-76.
- Gil Ibarguchi, J.I., Mendia, M., Girardeau, J. y Peucat, J.J. (1990): Petrology of eclogites and clinopyroxene-garnet metabasites from the Cabo Ortegal Complex (northwestern Spain). *Lithos*, 25: 133-162.
- Girardeau, J., Gil Ibarguchi, J.I. y Ben Jamaa, N. (1990): Les peridotites et pyroxenites du complexe catazonal du Cabo Ortegal. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 15: 227-256.
- Girardeau, J. y Gil Ibarguchi, J.I. (1991): Pyroxenite-rich peridotites of the Cabo Ortegal complex (Northwestern Spain): Evidence for large-scale upper-mantle heterogeneity. *Jour. Petrol. Lherzolites Issue*: 135-154.
- Irvine, T (1977): Origin of chromite layers in the Muskox intrusion and other intrusions: a new interpretation. *Geology*, 5: 273-277.
- Kepezhinskas, P., Taylor, R. y Tanaka, H. (1993): Geochemistry of plutonic spinels from the North Kamchatka Arc: comparisons with spinels from other tectonic settings. *Mineral. Mag.*, 57: 575-589.
- Moreno, T. (1999): Platinum-group elements and chromite mineralisation in ultramafic rocks: a case study from the Cabo Ortegal Complex, Northwest Spain. Tesis. Cardiff University, 224 p.
- Moreno, T., Prichard, H., Lunar, R., Monterrubio, S. y Fisher, P. (1999): The effects of secondary alteration on Platinum-Group Minerals in chromitites: A case study from the Herbeira ultramafic massif in Cabo Ortegal, NW, Spain. *Eur. J. Mineral.*, 11: 363-378.
- Stowe, C.W. (1994): Compositions and tectonic settings of chromite deposits through time. *Econ. Geol.*, 89: 528-546.