

Serie / NOVA TERRA

**BLUESCHIST-FACIES ROCKS FROM THE
MALPICA-TUI COMPLEX (NW IBERIAN MASSIF)**

Alicia López Carmona

**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE GEOLOGÍA “ISIDRO PARGA PONDAL”
A Coruña, 2015**

ISSN: 1131-3503
ISBN: 978-84-9749-621-6
Depósito Legal: C 674-2015
Imprime: Tórculo Comunicación Gráfica, S.A.
A Coruña, 2015

Ilustración de cubierta: Campos de estabilidad y trayectoria presión-temperatura (P-T) de la pseudosección P-T calculada en el sistema químico NCKFMASHTO para los esquistos azules retrogradados de la Unidad de Ceán (Complejo de Malpica-Tui, NW del Macizo Ibérico).

Maquetación: Alicia López-Carmona

Portada: fotografía de Alicia López-Carmona

Revisión ortográfica y tipográfica: Ana Martelli Emancipato

FICHA DE CATALOGACIÓN

LÓPEZ CARMONA, Alicia

Blueschist-facies rocks from the Malpica-Tui Complex (NW Iberian Massif)

299 pp;-figs. 81; tablas 25; 24 cm; (Serie Nova Terra; 47)

Tesis Doctoral de la Universidad Complutense de Madrid y de la Université de Rennes- Bibliografía: p. 251-299- Incluye índice. (Editor científico: Juan Ramón Vidal Romaní)

ISBN: 978-84-9749-621-6 D.L: C 674-2015

ISSN: 1131-3503

1 - Arco Ibero-Armorica; 2 - NW de Iberia; 3 - Complejo Malpica-Tui; 4 - Unidad de Ceán; 5 - Esquistos pelíticos de Ceán; 6 -Metabasitas de Cambre; 7 - sistema químico MnNCKFMASHTO; 8 - Subducción finidevónica-inicio del Carbonífero; 9 - Gondwana; 10.- Laurusia.; 11.- Colisión Varisca.

2.- I. Vidal Romaní, Juan Ramón; II. Instituto Universitario de Geología, Universidade da Coruña, ed. III. Laboratorio Xeolóxico de Laxe, ed. IV. Universidad Complutense de Madrid- Université de Rennes, ed. V. Serie; (Nova Terra 47); VI. Tít.

Esta publicación se ha realizado con papel procedente de una fuente gestionada responsablemente



ABSTRACT/RESUMEN/RÉSUMÉ	i-v
1. INTRODUCTION	1
1.1. Scope of this PhD thesis	3
1.2. Objectives and methodology.....	6
1.3. Outline and research approach	8
1.4. Insights into blueschists.....	11
1.4.1. The concept of blueschist and blueschist facies: an overview.....	11
1.4.2. Blueschists and subduction zones.....	14
1.4.2.1. Preservation and uplift.....	15
1.4.2.2. Distribution of blueschists in orogenic belts	21
1.5. Numerical modelling of phase equilibria	25
1.5.1. From inverse to forward modelling: a short review	25
1.5.2. Pseudosection approach.....	27
1.5.3. Guessing Fe_2O_3 and H_2O	33
2. THE MALPICA-TUI COMPLEX	37
2.1. Geological background	39
2.1.2. The Allochthonous Complexes throughout the Ibero-Armorican Arc.....	42
2.1.2 Metamorphism in the Lower Allochthon and the upper part of the Middle Allochthon	44
2.2. Geology of the Malpica-Tui Complex	53
2.2.1. The Middle Allochthon: the Pazos Synform.....	56
2.2.1.1. The Ceán pelitic schists	57
2.2.2.2. The Cambre metabasic rocks	62
2.3. Blueschists in the Middle Allochthon of the Ibero-Armorican Arc.....	65
2.3.1. Metamorphic gap: greenschist-facies overprint or a preservation problem?	66
3. P-T CONDITIONS	73
3.1. CEÁN PELITIC SCHISTS	75
Petrologic modelling of chloritoid-glaucophane schists from the NW Iberian Massif LÓPEZ-CARMONA, A., ABATI, J. & RECHE, J. (2010) GONDWANA RESEARCH 17(2), 377-391	75

Blueschist facies metapelites from the Malpica-Tui Unit (NW Iberian Massif): phase equilibria modelling and H ₂ O and Fe ₂ O ₃ influence in high-pressure assemblages	
LÓPEZ-CARMONA, A., PITRA, P. & ABATI, J. (2013) JOURNAL OF METAMORPHIC GEOLOGY 31(3), 263–280	96
3.2. CAMBRE METABASIC ROCKS	124
Retrogressed lawsonite blueschists from the NW Iberian Massif: P–T–t constraints from thermodynamic modelling and ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar geochronology	
LÓPEZ-CARMONA, A., ABATI, J., PITRA, P. & LEE, J.K.W. (2014) CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY 167(3), 1–20	124
3.3. LIBERTY CREEK BLUESCHIST-FACIES ROCKS	169
P–T and structural constraints of lawsonite and epidote blueschists from Liberty Creek and Seldovia: Tectonic implications for early stages of subduction along the southern Alaska convergent margin	
LÓPEZ-CARMONA, A., KUSKY, T.M., SANTOSH, M. & ABATI, J. (2011) LITHOS, 121(1), 100–116	169
4. CORRELATION OF THE NAPPE STACK IN THE IBERO–ARMORICAN ARC ACROSS THE BAY OF BISCAY: A JOINT FRENCH-SPANISH PROJECT	
BALLÈVRE, M., MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., LÓPEZ-CARMONA, A. et al., (2014). In: Schulmann, K., et al. (eds) THE VARISCAN OROGENY: EXTENT, TIMESCALE AND THE FORMATION OF THE EUROPEAN CRUST. 407 pp	
Geological Society, London, Special Publications, 405, 77–113	201
5. CONCLUSIONS	241
5.1. Inverse and forward modelling of the blueschist-facies rocks from the MTC	241
5.2. Metamorphic evolution of the Ceán Unit	244
5.3. Advances in geochronology	245
5.4. Correlations across the Ibero-Armorican Arc	245
5.5. Conclusions	246
6. REFERENCES	251

ABSTRACT

Blueschist-facies terranes in the Ibero-Armorican Arc are restricted to scarce and relatively small areas. One of these examples is the Ceán Unit that constitutes the westernmost exposure of the Middle Allochthon in the NW Iberian Massif, and in the Variscan belt of Western Europe. The Ceán Unit is interpreted as a volcano-sedimentary sequence that probably represents part of the cover of a transitional to oceanic crust, associated with the outermost sections of the north Gondwana margin during its subduction below Laurussia. Thus, constraints on the P-T paths of rocks from this terrain are essential to understand the characteristics and mechanisms of the subduction of this margin. The Ceán Unit forms the upper tectonic sheet of the Malpica-Tui Complex and comprises variable proportions of glaucophane-chloritoid-bearing metapelites (Ceán pelitic schists) and mafic rocks with abundant well-preserved pseudomorphs after euhedral lawsonite (Cambre metabasic rocks). The main objective of this research consists in a detailed study of the metamorphic evolution of these lithologies using pseudosection approach.

Petrological analysis involving P-T-X pseudosections in the MnNCKFMASHTO chemical system in both metapelitic and metabasic rocks shows that the Ceán Unit recorded a three-stage metamorphic evolution involving (i) early subduction-related MP/LT metamorphism (M_1) roughly constrained at 350–380 °C and 12–14 kbar, which is only preserved in the basal part of the sequence. (ii) Subduction-related blueschist/LT-eclogite-facies prograde metamorphism (M_2) characterized by a H_2O -undersaturated prograde P-T path peaking at 19–22 kbar, corresponding to a maximum burial of ca. 65–70 km. (iii) Exhumation-related metamorphism (M_3 /post- M_3) occurred in two stages (1) a nearly isothermal decompression from ca. 70 to ca. 30 km, characteristic of slow and long-lasting accretionary-wedge subduction type and (2) a phase of fast cooling once the rocks have reached an upper crustal level.

The results obtained from numerical modelling calculations on the effects of H_2O and Fe_2O_3 in the metamorphic evolution of blueschist-facies rocks yielded first-order constraints for geodynamic models that may have a general application in the investigation of rocks with similar composition. (i) This research proposes that subduction zone metamorphism may occur in H_2O -undersaturated conditions induced by the crystallization of a significant modal amount of lawsonite. Then, the transition from lawsonite blueschist-facies to amphibolite-greenschist facies may involve significant hydration, principally as a result of lawsonite breakdown. (ii) The proportion of ferric iron has a strong influence on phase equilibrium. The analysed values of Fe_2O_3 may not reflect the oxidation state during the main metamorphic evolution and are probably easily modified by superficial alteration even in apparently fresh samples. Then, the use of P-T-X(H_2O/Fe_2O_3) pseudosections together a thorough petrographic investigation, and an extensive knowledge on the mineral chemistry and the textural relationships is then

necessary to estimate the extent of fluid-saturation during subduction zone metamorphism and the real oxidation state of the rocks to correctly evaluate the P-T conditions.

The age of the peak blueschist-facies metamorphism has been constrained at ca. 363 ± 2 Ma by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating of phengitic muscovite from the pelitic schists. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite from the quartzo-feldspathic mylonites of the Bembibre-Ceán detachment, at the base of the Ceán Unit, yields an age of ca. 337 ± 3 Ma, interpreted as the age that marks the beginning of the post-nappe extensional tectonics that led to the gravitational collapse of the orogen. Differences between the HP/LT event, and the beginning of the post-nappe tectonics, suggest an exhumation rate of 2–2.5 mm/year for the Malpica-Tui Complex. These ages support the equivalence of the Ceán Unit and its counterpart in the Armorican Massif, the Upper Unit of Ile de Groix, and suggest that both terranes share a blueschist-facies event constrained at ca. 360–370 Ma, that may represent the Late Devonian-Early Carboniferous subduction of the northern margin of Gondwana beneath Laurussia, at the onset of the Variscan collision.

RESUMEN

Los afloramientos de terrenos en facies de esquistos azules en el Arco Ibero-Armoricano son escasos y se limitan a áreas relativamente pequeñas. Uno de estos ejemplos es la Unidad de Ceán, que constituye el afloramiento más occidental del Alóctono Medio en el NO del Macizo Ibérico, y en el cinturón de Varisco Europeo. La Unidad de Ceán se interpreta como una secuencia volcanosedimentaria que probablemente representa parte de la cobertera de una corteza transicional a oceánica, asociada a las secciones más externas del margen norte de Gondwana durante su subducción bajo Laurussia. Por tanto, deducir las trayectorias P-T de las litologías de la unidad de Ceán resulta esencial para comprender los mecanismos y las características de la subducción de este margen. La Unidad de Ceán constituye la lámina tectónica superior del Complejo Malpica-Tui y está formada por proporciones variables de metapelitas con glaucofana y cloritoide (esquistos de Ceán) y metabasitas con abundantes pseudomorfos de lawsonita bien preservados (metabasitas de Cambre). El principal objetivo de esta investigación consiste en un estudio detallado de la evolución metamórfica de estas litologías mediante el cálculo de pseudosecciones.

El análisis petrológico y termobarométrico utilizando pseudosecciones P-T-X en el sistema químico MnNCKFMASHTO en ambas litologías ha permitido deducir tres etapas en la evolución metamórfica de la Unidad de Céan: (i) un evento de MP/BT (M_1) asociado al comienzo de la subducción que únicamente ha quedado registrado en la parte basal de la secuencia, cuyas condiciones P-T aproximadas se han establecido en 350–380°C y 12–14 kbar. (ii) El metamorfismo progrado asociado a la subducción en facies de esquistos azules/eclogitas de

ii

BT (M_2) se caracteriza por una evolución subsaturada en H_2O . Las condiciones del pico bórico se han establecido en 19–22 kbar, correspondientes a un enterramiento máximo de ca. 65–70 km. (iii) El metamorfismo asociado a la exhumación de la unidad (M_3 /post- M_3) se desarrolló en dos etapas: (1) una etapa de descompresión casi isotérmica desde ca. 70 a ca. 30 km de profundidad, característica de una subducción lenta y prolongada, y (2) una fase de enfriamiento rápido una vez las rocas han alcanzado los niveles corticales superiores.

Los resultados obtenidos de la modelización petrológica en relación a los efectos del H_2O y del Fe_2O_3 en la evolución metamórfica de las rocas en facies de esquistos azules permiten establecer estimaciones de primer orden en los modelos geodinámicos que podrían tener una aplicación general en la investigación de rocas con una composición "similar". (i) Esta investigación propone que en presencia de una proporción modal significativa de lawsonita el metamorfismo progrado en zonas de subducción puede tener lugar en condiciones de subsaturación en H_2O . Posteriormente, la transición entre la facies de esquistos azules con lawsonita y la facies de esquistos verdes podría implicar una importante liberación de H_2O durante la retrogradación, que procedería de la desestabilización de dicho mineral. (ii) La proporción de hierro férrico considerada en la modelización petrológica influye notablemente en el equilibrio de fases mineralógicas. El porcentaje estimado de Fe_2O_3 mediante el análisis de roca total podría no reflejar el estado de oxidación real de la roca durante la evolución metamórfica principal. Este estudio refleja que la proporción analizada podría ser el reflejo de la sensibilidad de dicho componente a variaciones ambientales tales como la alteración superficial de la roca, incluso en muestras aparentemente frescas. Por tanto, el cálculo de pseudosecciones $P-T-X(H_2O/Fe_2O_3)$, combinado con un estudio petrográfico exhaustivo, además de un amplio conocimiento de la química mineral y las relaciones texturales, resulta necesario para establecer si existieron condiciones de subsaturación en H_2O (u otro/s fluidos) durante la etapa prograda de la evolución metamórfica de la roca, así como para determinar una aproximación razonable a su estado de oxidación real, lo que posibilitará establecer de forma precisa la evolución de las condiciones $P-T$.

La edad del pico metamórfico en facies de esquistos azules se ha estimado en ca. 363 ± 2 Ma mediante $^{40}Ar/^{39}Ar$ en fengitas de los esquistos pelíticos. El mismo método aplicado en moscovitas de las milonitas cuarzo-feldespáticas que representan el despegue de Bembibre-Ceán, en la base de la Unidad de Ceán, proporcionó una edad de ca. 337 ± 3 Ma, interpretada como la edad que marca el comienzo de la tectónica extensional, tras el apilamiento de las láminas alóctonas, y que condujo al colapso gravitacional del orógeno. Las diferencias entre el evento de AP/BT y el comienzo de la tectónica extensional, sugieren que el Complejo de Malpica-Tui se exhumó a una velocidad de 2–2.5 mm/año. Los datos obtenidos apoyan la equivalencia establecida entre la Unidad de Ceán y el terreno homólogo en el Macizo Armórico, la Unidad Superior de la Isla de Groix. Ambos terrenos experimentaron una evolución en facies de

esquistos azules datada en ca. 360–370 Ma, que se interpreta como la subducción durante finales del Devónico-comienzos del Carbonífero del margen norte de Gondwana bajo Laurussia, al comienzo de la colisión Varisca.

RÉSUMÉ

Les terrains en faciès des schistes bleus dans l'Arc Ibéro-Armoricain sont rares et limités à de petits domaines. Un de ces exemples est l'unité de Ceán qui constitue l'affleurement le plus occidental de l'Allochtone moyen dans le NO du Massif Ibérique et dans la chaîne varisque de l'Europe occidentale. L'unité de Ceán est interprétée comme une séquence volcano-sédimentaire qui représente probablement la couverture d'une croûte transitionnelle ou océanique, associée aux parties les plus externes de la marge nord du Gondwana lors de sa subduction sous la Laurussia. Les informations sur l'évolution P-T de roches de ce terrain sont donc essentielles pour comprendre les caractéristiques et les mécanismes de la subduction de cette marge. L'unité de Ceán forme la partie supérieure du Complexe de Malpica-Tui (MTC) et comprend des proportions variables de métapélites à glaucophane-chloritoïde (les schistes pélitiques de Ceán) et de roches mafiques avec d'abondants pseudomorphes de lawsonite automorphe bien préservés (les roches métabasiques de Cambre). L'objectif principal de cette recherche est une étude détaillée de l'évolution métamorphique de ces lithologies à l'aide de diagrammes de phases (pseudosections) calculés.

L'analyse pétrologique à l'aide des pseudosections P-T-X dans le système chimique MnNCKFMASHTO appliquée à la fois aux roches métapélitiques et métabasiques montre que l'unité de Ceán a enregistré une évolution métamorphique en trois étapes. (i) Un métamorphisme précoce (M_1), lié à la subduction, contraint approximativement à 350–380°C et 12–14 kbar, est uniquement préservé dans la partie basale de la séquence. (ii) Un métamorphisme prograde dans le faciès des schistes bleus/éclogites de BT (M_2), lié à la subduction, est caractérisé par une évolution P-T prograde sous-saturée en H_2O et atteint son pic à 19–22 kbar. Cela correspond à un enfouissement d'environ 65–70 km. (iii) Un métamorphisme lié à l'exhumation (M_3 , post- M_3) s'est développé en deux phases (1) une décompression sub-isotherme de 70 à 30 km, caractéristique des zones de subduction lentes, à fonctionnement prolongé et (2) une phase de refroidissement rapide lorsque les roches ont atteint les niveaux crustaux supérieurs.

Les résultats obtenus à partir de la modélisation numérique des effets du H_2O et Fe_2O_3 dans l'évolution des roches du faciès des schistes bleus ont donné des contraintes de premier ordre pour les modèles géodynamiques qui peuvent avoir une application générale. (i) Cette étude propose que le métamorphisme des zones de subduction peut se développer dans des conditions de sous-saturation en H_2O , liées à la cristallisation de la lawsonite. La transition

entre le faciès schistes bleus à lawsonite et le faciès des amphibolites / schistes verts produit une hydratation significative qui est principalement le résultat de la déstabilisation de la lawsonite. (ii) La proportion du fer ferrique a une forte influence sur les équilibres de phases. Les valeurs analysées du Fe_2O_3 ne reflètent pas nécessairement l'état d'oxydation pendant les principales étapes de l'évolution métamorphique et sont probablement facilement modifiées par l'altération superficielle, même dans les échantillons frais en apparence. L'utilisation des pseudosections $P/T-X(\text{H}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3)$ avec une analyse pétrographique détaillée (incluant une bonne connaissance de la composition chimique des minéraux et de leurs relations texturales) est alors nécessaire pour estimer le degré de saturation en fluide et l'état réel d'oxydation afin d'évaluer correctement les conditions $P-T$ pendant le métamorphisme de subduction.

L'âge du pic du métamorphisme dans le faciès des schistes bleus a été contraint à environ 363 ± 2 Ma par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur muscovite phengitique des schistes pélitiques. Les datations sur les muscovites des mylonites quartzo-feldspathiques du détachement de Bembibre-Ceán, à la base de l'unité de Ceán a donné un âge d'environ 337 ± 3 Ma. Cet âge est interprété comme le début de la tectonique en extension qui mène au collapse gravitationnel de l'orogène. Les différences entre l'événement HP/BT et le début de la tectonique post-nappes suggèrent une vitesse d'exhumation de 2–2,5 mm/an pour le complexe de Malpica-Tui. Ces âges supportent l'équivalence de l'unité de Ceán avec l'unité supérieure de l'île de Groix dans le Massif Armoricain et suggèrent que les deux terrains partagent le même événement en faciès des schistes bleus vers 360–370 Ma qui peut représenter la subduction tardi-dévonienne-carbonifère précoce de la marge nord du Gondwana sous le Laurussia, au début de la tectonique varisque.