

*Las glauconitas de la plataforma continental gallega:  
Indicadores geoquímicos del grado de evolución*

*The glaucony from the Galician continental shelf  
(N.W. of Spain):  
Geochemical markers of the maturity degree*

S. FERNÁNDEZ-BASTERO<sup>1</sup>, A. VELO<sup>1</sup>, T. GARCÍA<sup>1</sup>, L. GAGO-DUPORT<sup>1</sup>,  
A. SANTOS<sup>2</sup>, S. GARCÍA-GIL<sup>1</sup> Y F. VILAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Xeociencias Mariñas e O.T. Universidade de Vigo. Apdo. 874. 36200. Vigo.

<sup>2</sup> Dpto. Geología. C.A.S.E.M. Universidad de Cádiz. Apdo. 40. Pto. Real.Cádiz.

## RESUMEN

La interpretación estratigráfica de unidades que contienen glauconita requiere de una adecuada caracterización del grado de evolución, definido a partir del concepto de *madurez* (Amorosi, 1995). Su utilización es útil para determinar la duración de periodos asociados a bajas tasas de sedimentación o para caracterizar condiciones paleoceanográficas y paleoambientales en la interfase sedimento-agua del mar. En este tipo de estudios se asume implícitamente que la glauconita actúa como un sistema abierto, susceptible de continuos cambios en la estequiometría, como resultado del intercambio de cationes con el agua del mar que, a su vez, inducen reajustes estructurales.

La determinación del grado de evolución de glauconitas está asociada habitualmente a la presencia de determinados marcadores, algunos de tipo cualitativo como es el color o bien asociados a la variación de alguna de sus propiedades físicas, como es la susceptibilidad magnética o composicionales y estructurales, como son la determinación del contenido en K<sup>+</sup> o la distancia entre las reflexiones 001, 020 en diagramas de difracción de rayos X. Sin embargo, una caracterización adecuada del proceso evolutivo en glauconita que pueda ser aplicada de forma general debe ser capaz de establecer una relación precisa entre los cambios químicos con el medio durante el proceso de creci-

miento y la tendencia hacia una mayor estabilidad termodinámica, conectada con modificaciones estructurales, desde una etapa inicial de formación, casi amorfa, hasta alcanzar los últimos términos de la solución sólida, más ordenados.

En este sentido, este trabajo se ha planteado con una doble finalidad: en una primera etapa se ha determinado la variabilidad composicional en glauconitas de la plataforma continental gallega y en segundo lugar, estos valores han sido comparados con la variabilidad estructural al objeto de establecer patrones de comportamiento durante las diferentes etapas del proceso evolutivo.

El desarrollo de este estudio está basado en el análisis cuantitativo de los diagramas de difracción de rayos X de 50 muestras de sedimento superficial, mediante el método de Rietveld. Con este fin, se ha desarrollado una aplicación particular de este procedimiento de análisis, basada en el ajuste simultáneo de los factores de ocupación para las distintas sustituciones en lugares tetraédricos y octaédricos, así como en las intercapas de la estructura. De este modo, las modificaciones en la estequiometría, inducidas por los procesos de intercambio catiónico entre la superficie mineral y el agua del mar se pueden relacionar con cambios estructurales asociados a las diferentes etapas del proceso evolutivo.

Como resultado de este análisis, ha sido posible la elaboración de mapas de contenido geoquímico que reflejan la distribución espacial, tanto para la variabilidad composicional como para la cristalinidad en las glauconitas asociadas a sedimentos superficiales de la plataforma continental gallega.

**Palabras clave:** Glauconita, madurez, método Rietveld, factores de ocupación, índice de cristalinidad.

## ABSTRACT

The stratigraphic interpretation of the glaucony-bearing units usually depends of an adequate characterisation of the *glaucony maturity* (Amorossi, 1995). This concept is useful to estimate both, the duration of no-sedimentation periods and the paleoenvironmental changes at the seawater-sediment interface. In these studies is assumed that glaucony minerals works as an open system leading to continuous chemical and structural rearrangements in contact with seawater.

The evolutionary stages of glauconitic minerals are usually connected with the presence of particular markers such as the  $K^+$  contents, distance between the 001, 020 reflections from XRD patterns, magnetic susceptibility, etc. Nevertheless, a coherent description of the evolutionary process must be able to relate the chemical changes taking place during the growth process, to the structural modifications from a nearly amorphous initial stage, to the more ordered end-members of the solid solution.

The aim of this work is two fold: firstly, the chemical variability in the glauconite formule was determined and, secondly, both, the structural and compo-

sitional characteristics samples, were compared in order to characterise different steps and pathways connected with the evolutionary process.

This study was made by means of XRD powder patterns analysis of the glauconite samples following the Rietveld method. A particular analysis based in the accurate determination of the best occupancy values for cations involved in tetrahedral, octahedral and interlayer sites was performed. This procedure allow-us to fit the whole experimental diffraction profile to a structural model. Consequently, the stoichiometric modifications in the glauconitic minerals induced by ionic-diffusion processes between the mineral interface and the sea-floor can be easily connected with the resulting structural rearrangements taking place during the evolutionary process. As a result, specific geochemical mapping, relating the space distribution for glaucony maturity to the chemical variability, have been performed for the galician continental shelf.

**Key words:** Glauconite, Glaucony, Glaucony maturity, Rietveld method, occupancy factors, cristallinity index.

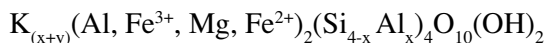
## INTRODUCCIÓN

La Glauconita ha sido considerada clásicamente, como uno de los indicadores más precisos de bajas tasas de sedimentación en ambientes marinos y su presencia está habitualmente asociada a niveles condensados dentro de los ciclos de variación del nivel del mar (Haq, 1991). Es comúnmente aceptado que su formación tiene lugar en la zona de halmirólisis, en la interfase sedimento-agua del mar, y ocurre asociada a microambientes que proveen condiciones reductoras. Sin embargo, su origen no está perfectamente caracterizado y es actualmente objeto de controversia. En concreto, dos aspectos son inciertos: en primer lugar, el mecanismo de formación y el tipo de reacciones involucradas en el proceso. Las primeras hipótesis acerca del origen de las glauconitas sugieren la existencia de un mecanismo de reemplazamiento al estado sólido sobre filosilicatos preexistentes con características estructurales similares a las de la glauconita, como es el caso de la biotita (Birdsall, 1951; Bendor, 1965). Este proceso tendría lugar por medio de difusión catiónica a través de la interfase (Burst, 1958) y sería por tanto muy lento, lo cual es congruente con el hecho de que la glauconita aparezca frecuentemente asociada a discontinuidades en el registro estratigráfico. Sin embargo, a pesar de las similitudes estructurales entre el mineral huésped y la glauconita, el desarrollo de este proceso implicaría una reestructuración, prácticamente total de la fase preexistente, lo cual viene limitado por fuertes restricciones energéticas. Las teorías recientes (Odin, 1988) por el contrario, asumen que la glauconita es el resultado de un proceso de neoformación mediante precipitación directa, restringida a microambientes, y siguiendo un mecanismo de nucleación y crecimiento a partir de cationes disueltos en el agua del mar.

Junto a este aspecto relativo a su origen, el segundo tema de discusión, está asociado a la evolución en el tiempo y concierne en concreto, a los parámetros

que regulan el proceso de reorganización posterior a su formación y que involucran cambios químicos y estructurales. Es precisamente el hecho de que como fase mineral ofrezca una gran variabilidad composicional, lo que ha dado lugar a la elaboración de diferentes modelos geoquímicos que, basados en el concepto genérico de *madurez* (Amorosi, 1995; Amorosi, 2000) persiguen interpretar la evolución físico-química del medio, en periodos de tiempo referidos a secuencias condensadas, donde la glauconita está habitualmente presente.

Desde un punto de vista mineralógico, la glauconita es una fase paramagnética que puede ser definida como miembro de una solución sólida con fórmula general:



y estructura de filosilicato dioctaédrico, donde  $x$  varía entre 0.2, 0.6 e,  $y$  (la suma de cationes octaédricos divalentes), entre 0.4 y 0.6.

La existencia de intercambios iónicos con el agua del mar  $y$ , por tanto, el fenómeno de la maduración en glauconitas se basa en su condición de fase mineral alejada del equilibrio que funciona como un sistema abierto, de tal forma que diferentes combinaciones de los parámetros no-estequiométricos  $x$ ,  $y$  que definen la ocupación química de los distintos cationes, permiten generar, como respuesta a las condiciones del medio, configuraciones estructurales diversas, cuya estabilidad puede ser caracterizada mediante un índice de cristalinidad.

Partiendo de este hecho, se han desarrollado diversas técnicas para la caracterización del grado de evolución en glauconitas y que, como objetivo básico, persiguen una interpretación paleoceanográfica, correlacionable con el proceso de maduración. Sin embargo, una de las principales limitaciones de estos modelos, es que están basados en el análisis de marcadores particulares como son: el contenido en K (Odin y Matter, 1981), el espaciado de los picos 001, 020 en diagramas de difracción de rayos X (Kim y Lee, 2000), color, etc. que considerados aisladamente, no permiten una descripción completa del proceso evolutivo, puesto que no incluye la interacción entre todos los parámetros involucrados en una evolución desde un estado inicial (desordenado) a una glauconita completamente evolucionada (cristalina).

La finalidad de este trabajo ha sido desarrollar un modelo de análisis geoquímico que permita caracterizar de forma global la variabilidad estructural (tipo de desorden y cristalinidad) inducida por distintas estequiometrías. De esta forma se pretende conocer la interacción y las posibles pautas de variación, entre los diferentes parámetros involucrados en el proceso de maduración.

El modelo desarrollado que presentamos en este trabajo se basa esencialmente en la determinación de los factores de ocupación química en la estructura de la glauconita a partir del análisis de los espectros de difracción de rayos X, partiendo de la estructura de la biotita como modelo inicial e induciendo variaciones en las posiciones atómicas y la estequiometría.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras empleadas para su estudio geoquímico y estructural corresponden a glauconitas procedentes de la plataforma continental occidental gallega y fueron recogidas mediante dragas de tipo Shipek. Las posiciones de las muestras analizadas se han representado en los mapas correspondientes a la distribución del grado de evolución en glauconitas.

Desde un punto de vista granulométrico los estudios realizados previamente por Odin (1988) en el mismo área de estudio, muestran que no existe relación entre el tamaño de grano y la moda de las glauconitas respecto a los componentes detríticos, remarcando este hecho su naturaleza autigénica. Los granos de glauconita fueron separados del resto de los componentes mediante un separador magnético. El análisis morfológico y la variación composicional promedio de granos seleccionados entre las diferentes muestras se realizó mediante S.E.M. y E.D.X.

En los experimentos de difracción de rayos X se empleó un difractómetro *Siemens* con radiación  $K\alpha$  de Cu a 40 kV y 40 mA. El estudio cuantitativo fue realizado a partir del ajuste de los patrones de DRX, mediante el método de Rietveld (Mumme *et al.*, 1996) y está basado esencialmente en dos aspectos. En primer lugar, en el hecho de que las diferencias entre los factores de difusión atómica de los átomos involucrados hace que las intensidades de los diagramas de difracción sean sensibles a la variación relativa del contenido en cationes asociado a los diferentes lugares de la estructura. De este modo, el ajuste de las intensidades se realizó refinando las posiciones de los átomos y los factores de ocupación química. Pero además, el grado de desorden estructural para una determinada estequiometría, puede ser calculado a partir del ensanchamiento de las reflexiones, resultante de la pérdida de cristalinidad. El ajuste simultáneo de estos parámetros nos ha permitido reproducir los diagramas de difracción experimentales y ofrece una vía para establecer relaciones entre una configuración química particular y el grado de desorden, que son los dos aspectos que básicamente definen un particular estadio de maduración en las glauconitas. La única incertidumbre asociada a este procedimiento se basa en la imposibilidad de diferenciar el contenido en Si/Al en tetraedros, debido a la similitud de sus factores de difusión atómica. Por ello, mediante DRX se analizó la variabilidad de la suma (Si+Al) respecto al Fe tetraédrico, mientras que el aumento progresivo de la relación Si/Al con el grado de madurez, fue seguido cualitativamente a partir del desplazamiento de la banda de absorción IR para el enlace Si-O, desde el valor de 995  $\text{cm}^{-1}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

### VARIABILIDAD MORFOLÓGICA

En el análisis morfológico se pueden distinguir diversos tipos de granos, generalmente de color verde oscuro y formas esféricas u ovoidales con presencia,

en algún caso, de fracturas en la superficie. Otros presentan formas que responden al molde interno de fósiles, o bien a restos de esqueletos de ciertos organismos (bivalvos, foraminíferos, etc.).

En el análisis realizado mediante S.E.M. básicamente se distinguen dos tipos morfológicos, (Fig. 1 a, b). En la primera se observa una estructura en forma de roseta, con distribución homogénea de láminas u hojas y disposición escalonada lámina a lámina, en ella la porosidad es baja. La segunda, al contrario, muestra una morfología más desordenada, con contactos borde a borde entre láminas y presenta mayor porosidad.

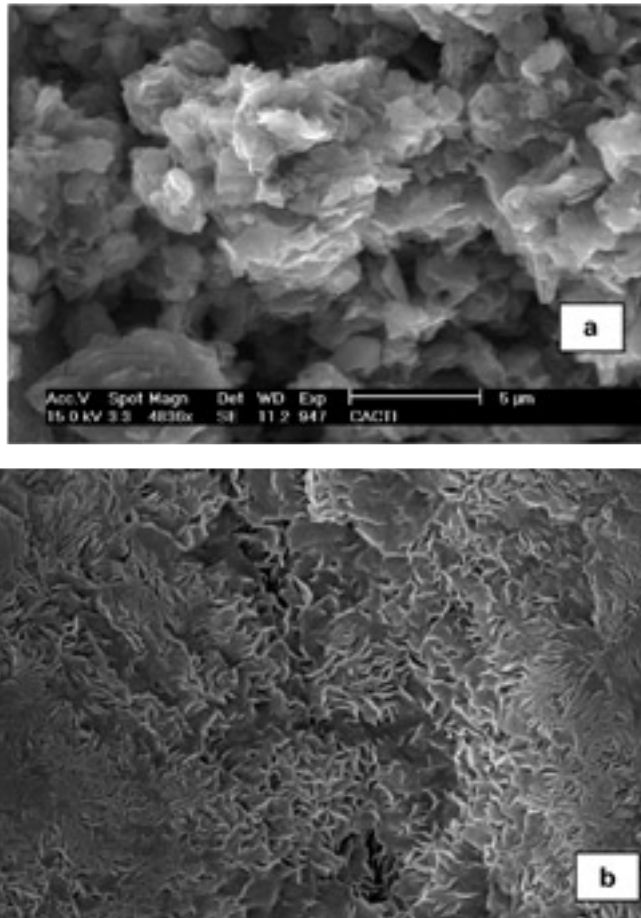


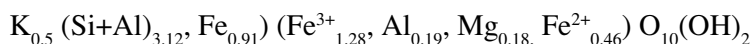
FIG. 1.—Micrografías de MEB, mostrando variaciones texturales en glauconitas de la plataforma gallega como resultado del grado de maduración. (a) Poco evolucionada.(b) muy evolucionada.

FIG. 1.—SEM micrographs showing the textural modifications in glauconites as results of different maturation degrees. (a) Slightly evolved. (b) Highly evolved.

## VARIABILIDAD COMPOSICIONAL

El estudio de los factores de ocupación atómica desarrollado mediante el método de Rietveld, a partir de los datos experimentales de DRX, ha posibilitado la obtención, de forma individualizada del contenido en cationes (con sus respectivos estados de valencia) para todos los átomos involucrados en la fórmula de la glauconita. Esto es, tanto los asociados a las intercapas ( $K^+$ ) como a las capas octaédricas ( $(Fe^{3+}, Al^{3+}), (Mg^{2+}, Fe^{2+})$ ) y tetraédricas ( $(Si^{4+}, Al^{3+}), Fe^{3+}$ ).

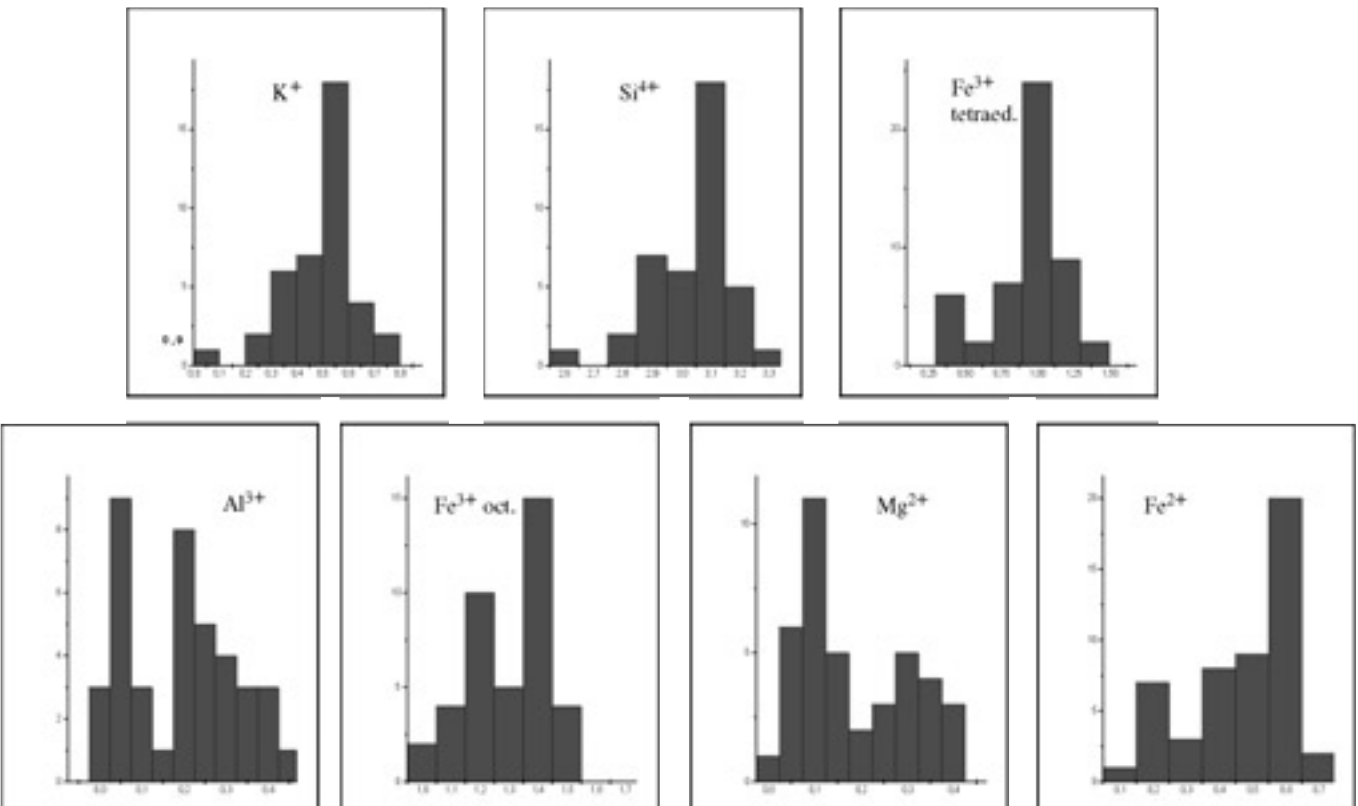
De este modo, se ha determinado la estequiometría para cada una de las 50 muestras de sedimento total, empleadas en este estudio. En la figura 2 se muestran, en forma de histogramas, los resultados de este análisis para cada uno de los cationes involucrados en la fórmula ( $n^{\circ}$  de muestras vs.  $n^{\circ}$  de átomos/fórmula). Como se observa, el contenido en  $K^+$ , considerado habitualmente como la variable determinante del proceso de maduración, presenta una mayor frecuencia, bien definida, en torno a 0.5 átomos/fórmula. Este valor corresponde, en la clasificación de Odin (1988), para glauconitas en un estado de maduración intermedio, respecto al término extremo de la serie, la Celadonita, con un contenido de 0.9 at./fórmula. Junto con este elemento, también presentan frecuencias bien definidas los átomos contenidos en posiciones tetraédricas (Si+Al) y  $Fe^{3+}$ . Sin embargo, los átomos involucrados en octaedros muestran una mayor dispersión de frecuencias. En el caso de los cationes trivalentes esto se traduce en una tendencia prácticamente bimodal para el  $Al^{3+}$ , con valores máximos en 0.01 y 0.2 at./fórmula. El  $Fe^{3+}$  presenta dos frecuencias significativas, para contenidos intermedios y altos, en la mayoría de las muestras. Esta tendencia hacia valores de elevado contenido en Fe se manifiesta también para el  $Fe^{2+}$ , que sigue una pauta opuesta al  $Mg^{2+}$ . El resultado de los cincuenta análisis realizados indica que, en términos globales, el conjunto de las glauconitas de la plataforma puede ser aproximado mediante la siguiente fórmula promedio:



De manera que, porcentualmente, la mayoría de las glauconitas de la plataforma pueden asociarse a unos valores intermedios de  $K^+$  y a un alto contenido en Fe, pero con desviaciones significativas, indicando una dispersión importante en el grado de evolución entre las diferentes muestras.

## CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE EVOLUCIÓN: VARIABILIDAD COMPOSICIONAL Y CRISTALINIDAD

Las variaciones en la estequiometría consideradas aisladamente, no pueden ser utilizadas para caracterizar el grado de madurez, ya que este concepto está esencialmente relacionado con la estabilidad termodinámica de la fórmula, conectada a su vez con el grado de desorden estructural.





Una caracterización del grado de desorden para cada muestra se ha realizado a partir del método de Scherrer, mediante comparación del parámetro que caracteriza el ensanchamiento en los picos de difracción con respecto a la anchura correspondiente a una sustancia perfectamente cristalina. Este valor es una medida directa del tamaño de los dominios de difracción coherente y se ha empleado para establecer un índice de cristalinidad (IC), normalizando el valor del tamaño obtenido para cada muestra,  $T_i$ , al valor máximo del conjunto  $T_{max}$  ( $IC = T_i / T_{max}$ ).

La comparación entre este parámetro y la estequiometría particular de cada muestra permite conocer las pautas de variación química, es decir, los criterios de selección para la incorporación de cationes, desde el agua del mar a la glauconita, a lo largo del proceso de evolución y referirlo a un determinado grado de madurez.

Esta situación se muestra en la figura 3.a, donde se representa el índice de cristalinidad frente al contenido en K. Se observa como, para el rango de valores pequeños del índice de cristalinidad, asociados a un alto grado de desorden estructural, el contenido en K aumenta rápidamente sin que ello suponga un gran aumento de la cristalinidad. Sin embargo, a partir de un valor crítico (del orden de 0.6 át./fórmula), la pauta de variación en  $K^+$  se hace asintótica respecto a IC, de forma que, solamente se incorporan pequeñas cantidades de  $K^+$ , lo que se traduce en un aumento significativo del orden en la estructura. El valor crítico del  $K^+$  para el que se da esta situación, corresponde al de las glauconitas «evolucionadas», en la clasificación de Odin y Matter (1981), y marca el punto en que el tamaño de los dominios microcristalinos se hace suficientemente grande como para dificultar el intercambio de cationes con el agua del mar a través de la interfase del cristal. Su significado geoquímico puede ser por tanto asociado, de forma genérica, al momento en que la glauconita comienza a dejar de funcionar como un sistema abierto.

El tamaño de los microcristales, para el que este cambio de comportamiento tiene lugar, es de aproximadamente 15 nm siendo del mismo orden de magnitud que los valores determinados por Ireland *et al.* (1983), mediante HREM, para los dominios monocristalinos de glauconita al inicio de la diagénesis.

Sin embargo, aunque relacionado con el aumento de  $K^+$  en la estructura, en tanto que es la variable inductora del proceso de ordenación, el grado de madurez viene determinado de forma cooperativa por todos los cationes involucrados en la fórmula. Este hecho se deduce claramente de los resultados mostrados en las figuras 3.b, 3.c, y 3.d. Así, no solo el incremento en K, sino también el aumento simultáneo de Si, (a partir del  $Fe^{3+}$  en tetraedros), se traduce un aumento progresivo de la cristalinidad (Fig. 3.b).

---

FIG. 2.—Histogramas refiriendo la variabilidad composicional para cada uno de los cationes interlaminares, tetraédricos y octaédricos, involucrados en las muestras de glauconita de la plataforma analizadas.  
FIG. 2.—Histograms relating the compositional distributions for tetrahedral, octahedral and interlayer cations involved in the samples analysed.

El comportamiento de los cationes trivalentes (Fig. 3.c), y divalentes (Fig. 3.d) involucrados en las posiciones octaédricas muestra, con el aumento de la cristalinidad, una tendencia progresiva al enriquecimiento en  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , como consecuencia de la disminución en Fe tri y divalente. Sin embargo, a diferencia de lo observado para el  $\text{K}^+$  y  $\text{Si}^{4+}$ , existe una zona, hasta el valor de anteriormente definido como crítico ( $\text{IC} \cong 0.15$ ), en la que los cationes octaédricos presentan un comportamiento errático, redistribuyendo sus contenidos en ( $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) ( $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) de forma aparentemente aleatoria, mientras que, a partir de este valor, la estequiometría asociada a las capas octaédricas tiende a ser prácticamente constante con unas pautas bien definidas.

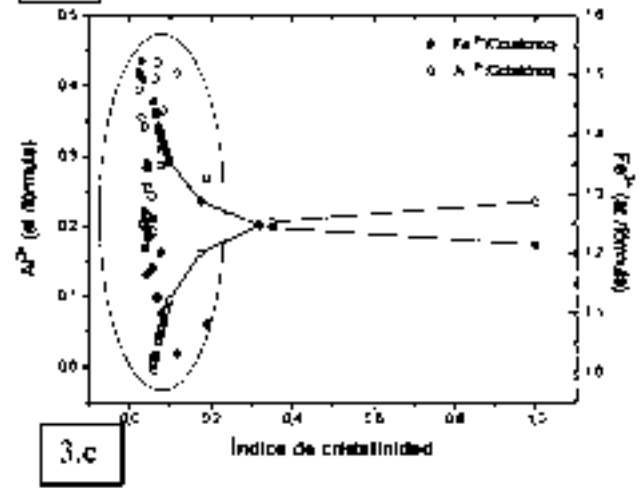
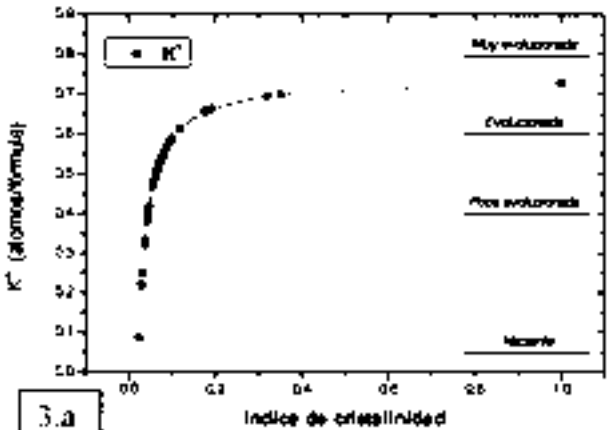
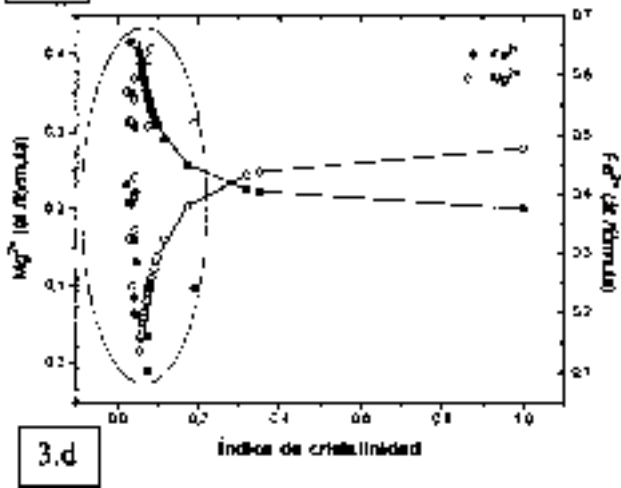
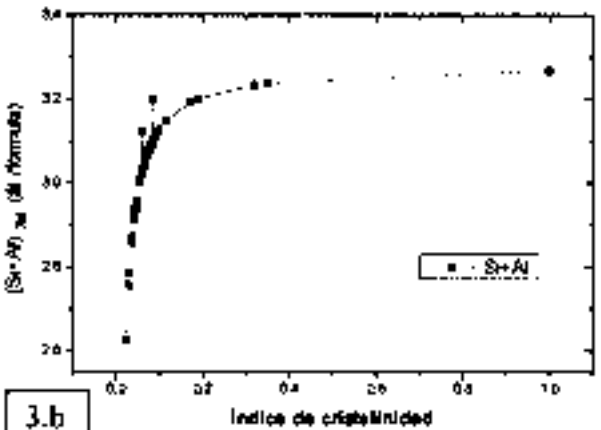
Este hecho se confirma en la figura 4, donde se han representado los contenidos en todos los cationes, para cada una de las muestras, respecto a su contenido en  $\text{K}^+$ . En ella se observa un aumento prácticamente lineal del contenido en  $\text{Si}^{4+}$ , incluso para valores bajos de  $\text{K}^+$ . Sin embargo, los cationes octaédricos siguen un comportamiento diferente, con una gran dispersión en la región I y unas pautas bien definidas, que tienden a ser lineales, con pendientes opuestas implicando una pérdida progresiva de Fe octaédrico en la región II.

De acuerdo con estos datos, el proceso de maduración de la glauconita implica dos etapas, delimitadas por un valor crítico del grado de cristalinidad. En la primera de ellas, el nivel de desorden está asociado a la dispersión composicional entre pares de cationes que ocupan las posiciones octaédricas, pudiendo ser correlacionado, en sentido amplio con una esmectita. En la segunda etapa, el aumento en K y Si, predetermina la posibilidad de ocupación de los lugares octaédricos, de tal forma que la evolución composicional a partir de ese momento sigue pautas bien definidas, aproximándose hacia la estequiometría de la Celadonita, como término extremo, bien cristalizado de la solución sólida.

Finalmente, como consecuencia del anterior análisis, se ha determinado la variabilidad espacial de glauconitas de la plataforma gallega en función de parámetros representativos de su grado de evolución. En la figura 5.a, se muestra la distribución del grado de cristalinidad y en la figura 5.b, se representan los valores del contenido en  $\text{K}^+$ . Se puede observar una distribución similar para los dos parámetros. En ambos casos, la línea de valores máximos, correspondientes a las glauconitas más evolucionadas siguen, en términos generales, las inflexiones de la curva batimétrica de -100 m, que corresponde, aproximadamente, con la zona de mayor abundancia en glauconitas según la cartografía de la distribución porcentual de glauconitas en la plataforma gallega, realizada previamente por Odin (1988), mediante contaje de granos magnéticos, situándose en valores de profundidad ligeramente mayores y decreciendo progresivamente el grado de madurez hacia los 200 m de profundidad.

FIG. 3.—Comportamiento de los diferentes cationes en función del grado de cristalinidad.

FIG. 3.—Abundance behaviour for the whole set of cations for increasing values of the crystallinity index.



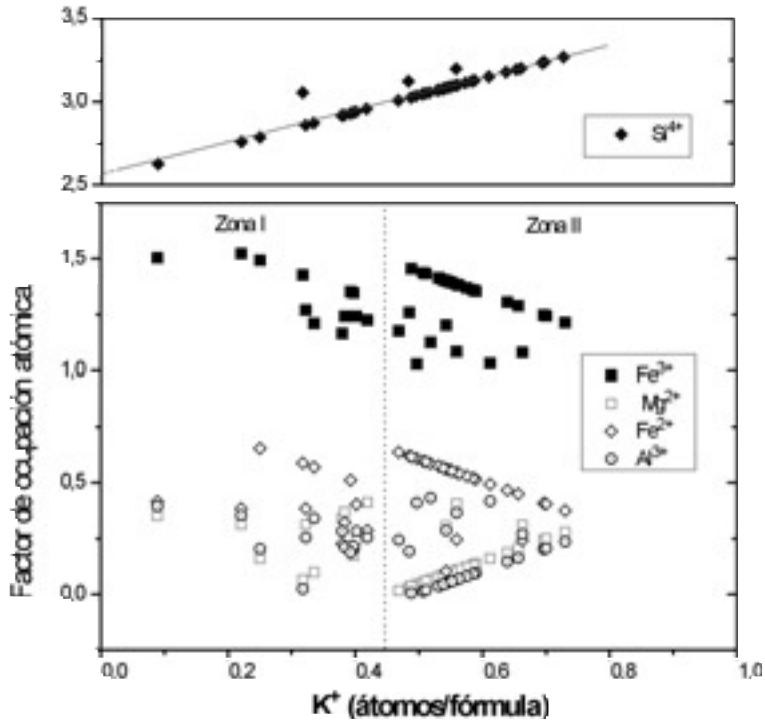


FIG. 4.—Representación de la dispersión composicional para valores crecientes del contenido en potasio interlaminaar.

FIG. 4.—Compositional scattering as a function of the potassium contents at the interlayer sites.

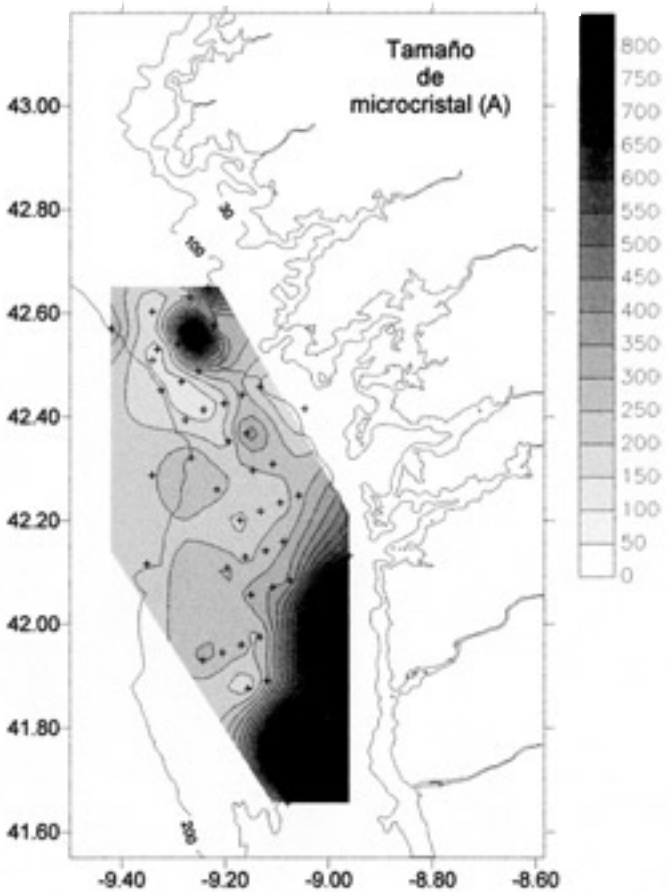
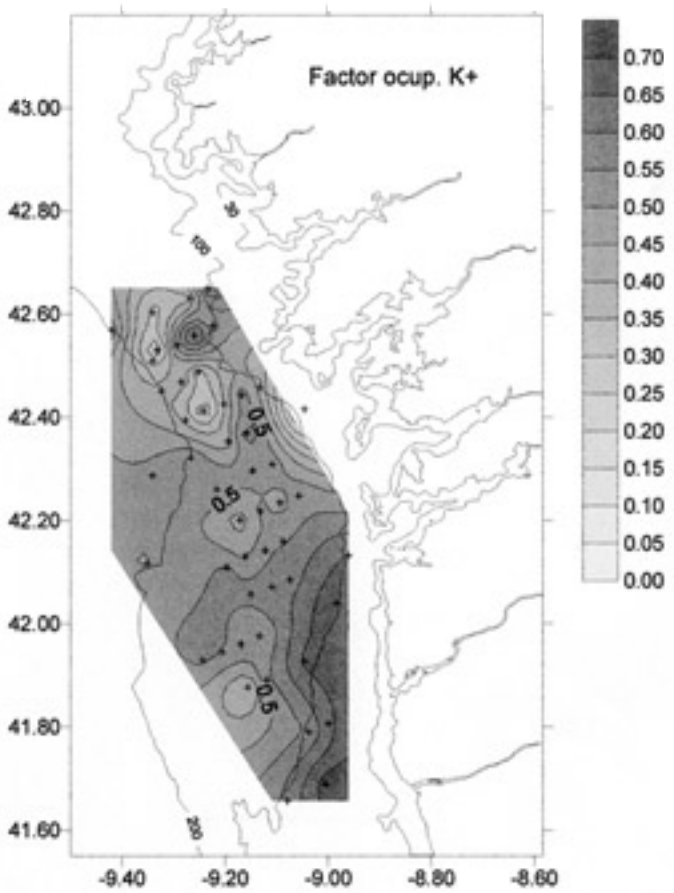
## CONCLUSIONES

El estudio realizado mediante el refinamiento de los factores de ocupación atómica en la glauconita conjuntamente con la variación de la cristalinidad, a partir de los datos de DRX mediante el método de Rietveld, ofrece una vía para caracterizar de forma precisa los diferentes estadios en el proceso de maduración de las glauconitas, permitiéndonos conocer la distribución espacial de este parámetro a lo largo de la plataforma gallega.

El análisis de los datos precedentes, sugiere que el esquema evolutivo seguido por las glauconitas puede ser caracterizado, en primer lugar, por una

FIG. 5.—Variabilidad espacial de (a) la cristalinidad y (b) el contenido en potasio como parámetros representativos del grado de maduración en las glauconitas de la plataforma gallega.

FIG. 5.—Space distribution of (a) The crystallinity and (b) The potassium contents, as relevant geochemical markers to characterize the different maturity stages for glauconites at the the galician continental shelf.



tendencia hacia una mayor cristalinidad, de tal forma que la variable independiente en el proceso es el grado de orden en la estructura. Los mecanismos conductores, desde las etapas iniciales, serían el aumento simultáneo de  $K^+$  y  $Si^{4+}$  y la pérdida progresiva de  $Fe^{3+}$  en tetraedros. La selectividad en el contenido catiónico de los octaedros vendría inducida en una segunda etapa, cuando la incorporación de potasio y silicio limita las dimensiones de la celda cristalina, restringiendo por tanto el número de sustituciones. A partir de este punto, la evolución composicional en los octaedros seguiría, de forma prácticamente lineal, el aumento del contenido en potasio con una tendencia a la pérdida progresiva de Fe bi y trivalente.

De forma indirecta, el estudio realizado arroja luz sobre el mecanismo de formación de la glauconita, sugiriendo que en el momento inicial, se trata de un silicato desordenado formado por microdominios cristalinos con un alto contenido en Fe, tanto en los octaedros como en los tetraedros. Este hecho es coincidente con las características estequiométricas y estructurales de los minerales glauconíticos recién formados, bien obtenidos mediante síntesis en laboratorio (Harder, 1980; Fernández-Bastero *et al.*, 1998), o bien asociados a medios sedimentarios actuales (Nelsen *et al.*, 1994; Santos *et al.*, 2000).

Finalmente, las características cuantitativas del estudio realizado abren la posibilidad de calcular la cinética de incorporación selectiva de los diferentes cationes asociados a un particular estadio de madurez, y por tanto, de estimar la duración temporal necesaria para alcanzar un determinado grado evolutivo. Este hecho junto con el conocimiento de la distribución espacial de los diferentes estadios de madurez y de la distribución porcentual de glauconitas puede ser una herramienta de gran utilidad y el punto de partida, para posteriores estudios en donde el análisis de los grados de evolución de las glauconitas de la plataforma gallega, podrá ser aplicado a la interpretación del registro estratigráfico, en términos de la estratigrafía secuencial.

## AGRADECIMIENTOS

Este es el trabajo n.º 223 del grupo EX1 de la Universidad de Vigo, contribución a los proyectos: BTE2000-0877 y REN2000-1102 MAR de la CICYT y PGIDT00MAR30103PR GIDT00MAR30103 PR de la Xunta de Galicia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AMOROSI, A. (1995): Glaucony and sequence stratigraphy: a conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. *Journal of Sedimentary Research*, B65 (4): 419–425.
- AMOROSI, A., CENTINEO, M.C. (2000): Anatomy of a condensed section: the Lower Cenomanian glaucony-rich deposits of Cap Blanc-Nez (Boulonnais, Northern France). *Marine Authigenesis: From Global to Microbial*, SEPM Special Publication, 66: 405-413.

- BENTOR, Y.K., KASTNER, M. (1965): Notes on the mineralogy and origin of glauconite. *Journal Sedimentary Petrology*, 35: 155-166.
- BIRDSALL, M. (1951): Recherches sur les conditions de formations des aluminosilicates ferreux d'origine secondaire. *C. R. Acad. Sci.*, 233: 1371-1372.
- BURST, J.F. (1958) 'Glauconite' pellets: their mineral nature and applications to stratigraphic interpretations. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 42 (2): 310-327.
- FERNÁNDEZ-BASTERO, S., GAGO-DUPORT, L., PAZOS, O., ALEJO, I., RUBIO, B., REY, D., GARCÍA-GIL, S., VILAS, F., SANTOS, A. (1998): Chemical and structural markers of the glaucony maturity. results from synthesis experiments and XRD Rietveld analysis. *Libro de resúmenes del 15th International Sedimentological Congress*, Alicante: 328-330.
- HAQ, B.U. (1980): Sequence stratigraphy, sea-level change, and significance for the deep sea. In: D.I.M. Macdonald (ed.) *Sedimentation, Tectonics and Eustasy: Sea-level changes at Active Margins*. International Association of Sedimentologists Special Publication, 12: 3-39.
- HARDER, H. (1980): Syntheses of glauconite at surface temperatures. *Clays and Clay Minerals*, 28, 3: 217-222.
- IRELAND, B.J., CURTIS C.D., WHITEMAN, J.A. (1983): Compositional variation within some glauconites and illites and implications for their stability and origins. *Sedimentology*, 30: 769-786.
- KIM, Y., LEE Y. II (2000): Ironstones and green marine clays in the Dongjeom Formation (Early Ordovician) of Korea. *Sedimentary Geology*, 130: 65-80.
- MUMME, W.G., TSAMBOURAKIS, G., MADSEN, I.C., HILL, R.J. (1996): Improved petrological modal analyses from X-ray powder diffraction data by use of the Rietveld method. Part II. Selected sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 66(1): 132-138.
- NELSEN, T., BLACKELDER, P., MCKEE, B., ROMER, N., METZ, S. (1994): Time based correlation of biogenic, lithogenic and authigenic sediment components with anthropogenic inputs in the Gulf of Mexico. *Estuaries* 17 (4): 873-885.
- ODIN, G.S., MATTER, A. (1981): De Glauconiarum Origine. *Sedimentology*, 28: 611-641.
- ODIN, G.S. (1988): *Green Marine Clays*. Developments in Sedimentology. 445 p., Elsevier, Amsterdam.
- ODOM, E. (1984): Glauconite and Celadonite minerals. In: W. Bailey (ed.) *Reviews in Mineralogy*, Micas, 13: 545-572. Mineralogical Society of America, Washington.
- SANTOS, A., LIGERO, R.A., CASAS-RUIZ, M., PIÑERO, M., VELO, A., GARCÍA, T., FERNÁNDEZ-BASTERO, S., MENDEZ, G., GAGO-DUPORT, L., GARCIA-GIL, S., VILAS, F. (2000): Syndepositional glauconite formation in shallow recent sediments of the San Pedro tidal channel and inner Bay of Cádiz (S of Spain). *Libro de resúmenes del 3er Simposio sobre el Margen Continental Ibérico Atlántico*, Faro: 249-250.