



Minerales silicoaluminosos: situación actual, tipos de yacimientos y posibilidades de explotación en Galicia

Aluminum silicate minerals: actual state, types of deposits and possibilities of exploitation in Galicia

TOYOS, J. M.

La denominación «Minerales Silicoaluminosos» agrupa a una serie de silicatos de aluminio entre los que se encuentra la mullita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), sustancia muy escasa en la naturaleza que posee excelentes propiedades refractarias.

La mullita se puede obtener mediante la calcinación de otros minerales silicoaluminosos. Los tres polimorfos del Al_2SiO_5 , andalucita, cianita y sillimita, son los más frecuentemente utilizados para la elaboración de refractarios del tipo mullita. Se hace aquí una síntesis de los principales aspectos en relación con estos tres minerales: propiedades, aplicaciones industriales y situación de la producción a nivel mundial y nacional. También se indican y clasifican los distintos tipos de yacimientos de estas sustancias.

Por último, se citan una serie de áreas de interés potencial para la explotación de andalucita, cianita y sillimanita en Galicia, definidas a raíz de los trabajos preliminares desarrollados por el I. T. G. E. dentro del «Programa de Investigación de Minerales Silicoaluminosos en Galicia».

Palabras clave: Andalucita, Cianita, Sillimanita, Galicia, Mineralizaciones.

The «Aluminum Silicate Minerals» denomination refers to a group of industrial minerals of which the most interesting is mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), extremely rare in nature, that has excellent refractory properties.

Mullite may be produced by calcination of other aluminum silicates. Andalusite, kyanite and sillimanite are the most commonly used as raw materials for mullite production.

The main aspects that concerns these three minerals are summarized here: properties, industrial applications and situation of international and national productions. The different types of deposits are also indicated and classified.

Finally, several areas of potential mining interest for andalusite, kyanite and sillimanite in Galicia are shown, which have been delimited after the preliminary work carried out by the I. T. G. E. on the «Aluminum Silicate Minerals Research Program in Galicia».

Key words: Andalusite, Kyanite, Sillimanite, Galicia, Mineralizations.

INTRODUCCION

Con el nombre genérico de «Minerales Silicoaluminosos» se designa a un grupo de silicatos de aluminio constituido por los tres polimorfos del Al_2SiO_5 *andalucita*, *cianita* y *sillimanita*, la *mullita* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), el *topacio* ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$) y la *dumortierita* ($(\text{Al}, \text{Fe})_7\text{O}_3 \cdot \text{BO}_3 \cdot 3\text{SiO}_4$) (IGME, 1975e, POTTER, M. J., 1984, CLARKE, G. M. *et al.*, 1985, ROSKILL, 1987).

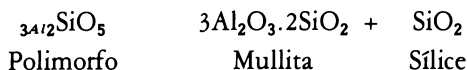
De este grupo de sustancias, la que mayor interés posee es, sin duda, la mullita, por su amplia utilización en productos refractarios. Sin embargo, este mineral es muy escaso en la naturaleza y no se conoce actualmente ningún yacimiento del mismo que pueda ser explotado rentablemente.

Aunque existen diversos procesos para sintetizar la mullita, el método más sencillo y menos costoso de obtenerla es mediante la calcinación de los otros minerales del grupo anteriormente citados. La andalucita, la cianita o distena y la sillimanita son los más frecuentemente utilizados con este fin y se les suele denominar también «Minerales del grupo de la sillimanita» (MUCHART, H. y KOEGEL, H., 1976, CARROLL, J. y MATTHEWS, G. W., 1983, CLARKE, G. M. *et al.*, *op. cit.*).

Aquí se hará referencia exclusivamente a estos tres nesosilicatos aluminicos que responden a una misma composición química: Al_2SiO_5 .

PROPIEDADES Y APLICACIONES

La propiedad más interesante de estos minerales es, como ya se ha indicado, la capacidad de ser transformados en mullita mediante calcinación, produciéndose la reacción:



La transformación en mullita se inicia a distinta temperatura para cada especie y comporta también diferentes cambios de volumen, tal como se aprecia en la Tabla I.

TABLA I

Características de la transformación en mullita de los tres polimorfos del Al_2SiO_5 (según CARROLL, J. y MATTHEWS, G.W., 1983).

	T de mullitización	Cambio de volumen
Andalucita:	1.380 °C	+ 5%
Cianita:	1.350 °C	+18%
Sillimanita:	1.550 °C	+ 7%

Otra propiedad que se puede citar es la relativa dureza de estos minerales (5,5-7,5), que permite utilizarlos como abrasivos de calidad media.

Se estima que entre el 90 % y el 95 % de la producción de andalucita, cianita y sillimanita se emplea en la fabricación de refractarios de alto contenido en alúmina (o de tipo mullita), utilizados en industrias metalúrgicas, del vidrio, del cemento, cerámicas y petroquímicas (CLARKE *et al.*, *op. cit.*, ROSKILL, *op. cit.*).

El 5 % restante se utiliza fundamentalmente para productos cerámicos, existiendo otros usos minoritarios como el de los abrasivos, como fuente para la obtención de aluminio y como gemas.

SITUACION ACTUAL DEL SUBSECTOR

Los principales países productores de estas sustancias son, por este orden, Sudáfrica, EE. UU., Francia e India, estimándose para la U. R. S. S. una producción intermedia entre la de India o Francia y la de EE. UU. En la Fig. 1 se presentan los datos de producción global y de cada uno de los países citados, entre 1975 y 1985.

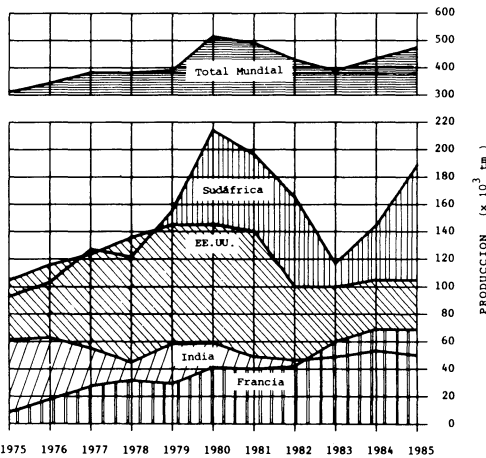


Fig. 1. Producción de andalucita, cianita y sillimanita. Datos globales y de los principales países productores. No aparece representada la U.R.S.S., para la que se estima una producción intermedia entre la de India y EE.UU. (Datos según CLARKE, G. M. *et al.*, 1985 y ROSKILL, 1987).

La producción española es actualmente inferior al 1 % del total mundial y procede en su totalidad de las explotaciones de cianita en el área de O Pino-Touro, al S de la provincia de A Coruña (IGME, 1988, CAMPILLO, G. *et al.*, 1981). La evolución de dicha producción en los últimos años y su comparación con las cantidades importadas y exportadas se muestran en los gráficos de la Fig. 2.

Como puede observarse, la producción ha ido descendiendo en los últimos años, recuperándose sólo ligeramente en 1986. Las importaciones, sin embargo, mantienen una tendencia creciente que se ha acentuado precisamente en dicho año.

En cuanto a los precios de estos productos en el mercado internacional, puede decirse que presentan una notable estabilidad, manteniéndose prácticamente invariables desde 1981. En la Tabla II se recogen algunos de ellos.

GENESIS Y TIPOLOGIA DE YACIMIEN- TOS

Andalucita, cianita y sillimanita son minerales originados típicamente por procesos metamórficos en rocas con cierto contenido en SiO₂ y Al₂O₃ (lutitas y grauwacas principalmente), aunque también pueden ser encontrados en pegmatitas y asociados a venas de segregación de cuarzo (DEER, W. A. *et al.*, 1962).

La presencia de uno u otro polimorfo en una roca metamórfica de composición adecuada depende de las condiciones P-T a las que haya estado sometida. De este modo, tenemos que, tal como puede deducirse del diagrama de la Fig. 3, la andalucita aparece en áreas con metamorfismo de grado bajo, medio y alto y presión baja a intermedia (aureolas de metamorfismo de contacto y zonas de metamorfismo regional), mientras que la cianita aparece más frecuentemente en áreas de metamorfismo regional de grado bajo a medio y presión intermedia a alta. La sillimanita es un mineral característico de zonas con metamorfismo de grado medio-presión intermedia y de grado alto.

También es posible la sustitución de un polimorfo por otro al variar las condiciones de P-T, y la aparición de varias especies juntas por existir condiciones próximas al equilibrio o por la permanencia de alguna de ellas en estado metaestable (WINKLER, H. G. F., 1978).

Puede hacerse una clasificación de los distintos yacimientos de andalucita, cianita y sillimanita que se conocen actualmente agrupándolos en los siguientes tipos:

I. Metamórficos

Son yacimientos de origen primario que pueden localizarse tanto en áreas con metamorfismo regional como en aureolas de metamorfismo de contacto.

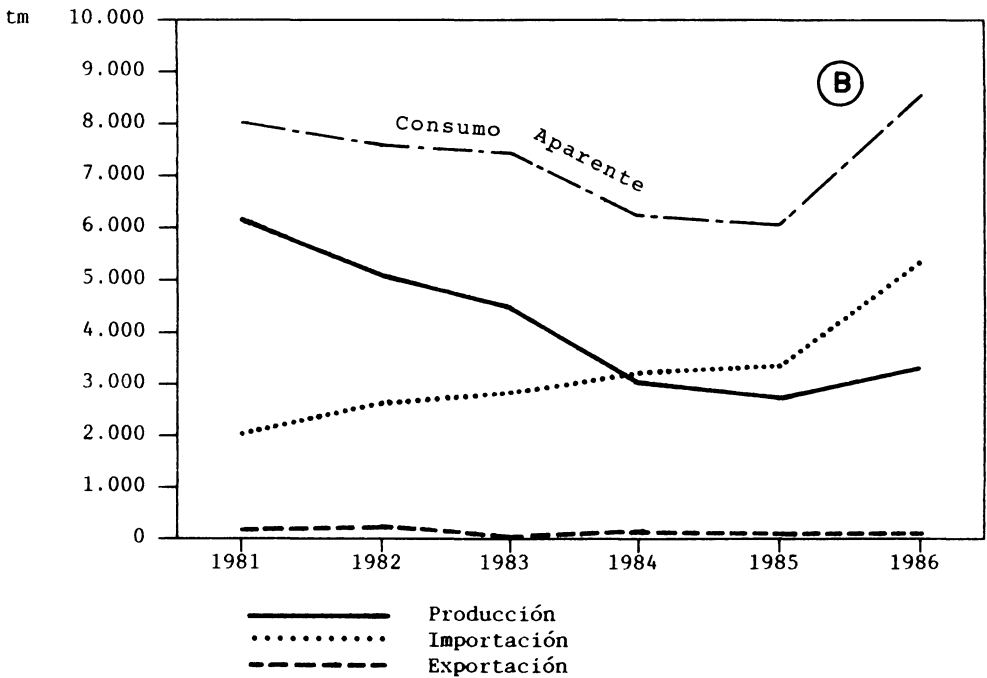
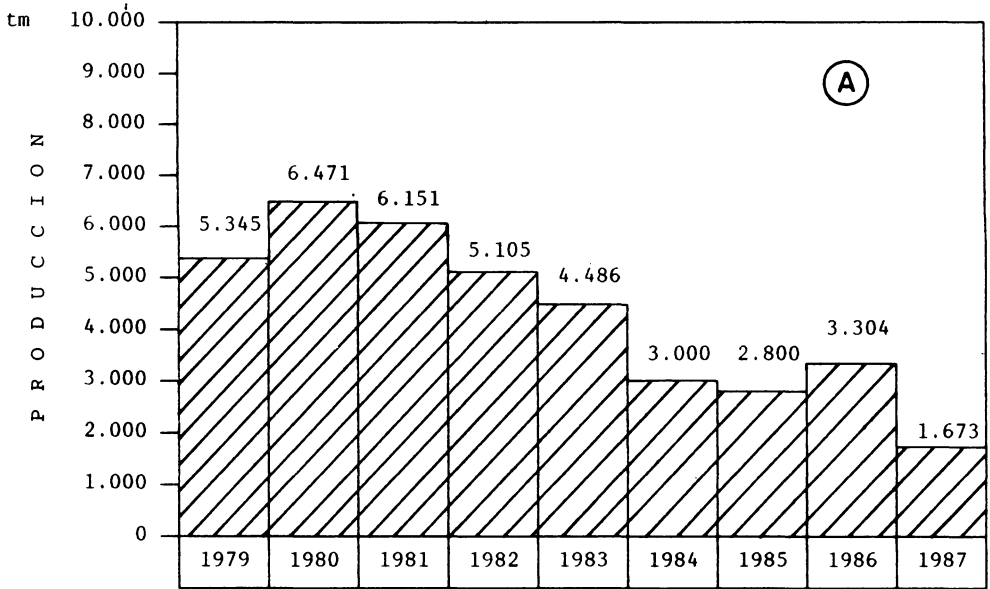


Fig. 2. A) Producción española de Cianita durante los últimos 9 años.
 B) Evolución comparativa de la producción, importación y exportación de minerales silico-aluminosos en España entre 1981 y 1986.
 (Según datos de la Estadística Minera de España y la Estadística del Comercio Exterior de España).

TABLA II

Precios de la andalucita, cianita y sillimanita (según datos de Industrial Minerals, Septiembre/1988). Los precios en pesetas son aproximados.

SUSTANCIA	ORIGEN	CARACTERISTICAS	PRECIO	
Andalucita	Transvaal	57% Al ₂ O ₃	90-100 £/t 18.000-20.000 ₧/t	CIF princip. puertos europeos
"	"	60% Al ₂ O ₃	130 £/t 26.000 ₧/t	
Sillimanita	Sudáfrica	70% Al ₂ O ₃	190 £/t 38.000 ₧/t	
Cianita	EE.UU.	59-62% Al ₂ O ₃ En bruto o calcin.	90-155 £/t 18.000-31.000 ₧/t	FOB en plantas
"	"	En bruto	70-137 \$/t 8.000-16.000 ₧/t	
"	"	Calcinada	123-172 \$/t 14.000-20.000 ₧/t	

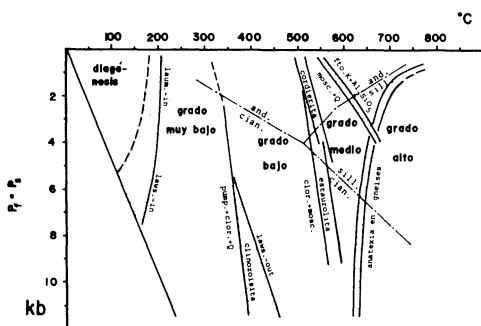


Fig. 3. Grados metamórficos (WINKLER, H. G. F., 1978) y diagrama de fases para el Al₂SiO₅ (ROBIE, R. A. y HEMINGWAY, B. S., 1984).

De acuerdo con su morfología, pueden ser:

- a) Dispersos o diseminados.
- b) En cuerpos o agregados masivos.
- c) Asociados a venas o filones de cuarzo.

II. Sedimentarios

Son depósitos secundarios originados por concentración mecánica (placeres) a partir de áreas fuente donde aparecen estos minerales. Puede tratarse de varios tipos de depósitos:

- a) En coluviones.
- b) En aluviones.
- c) En arenas de playa.

III. Residuales

Se trata también de depósitos secundarios en los que la concentración de estos minerales se ha producido como consecuencia de procesos de meteorización y erosión de los otros constituyentes de la roca menos resistentes.

INDICIOS EN GALICIA

Dado el amplio desarrollo de las áreas metamórficas y la gran variedad de litologías presentes en el sector del Macizo Ibérico que corresponde a Galicia, cabe esperar *a priori* la existencia de yacimientos de andalucita, cianita o sillimanita con posibilidad de ser explotados.

La cianita se extrae intermitentemente en el área de O Pino-Touro (A Coruña) que, como se ha mencionado, constituye la única zona de explotación de este tipo de sustancias en España.

Se conocen también algunas explotaciones antiguas de andalucita en Goián (Pontevedra) y Moreiras (Ourense).

Actualmente se están realizando investigaciones por varias empresas en permisos mineros situados en las zonas de Valadouro (Lugo) y Verín (Ourense), en las que apare-

cen sillimanita y andalucita respectivamente.

El programa de Investigación de Minerales Silicoaluminosos en Galicia, que el I. T. G. E. está llevando a cabo, ha comenzado con el reconocimiento previo de todos aquellos indicios mineros de andalucita, cianita y sillimanita que aparecen citados en la bibliografía (IGME, 1975a, 1975b, 1975c, 1975d, 1977, 1981, 1982) o que son conocidos por la existencia de concesiones mineras o permisos de investigación.

Como resultado de esta etapa preliminar de la investigación, se ha llegado a definir una serie de áreas de interés potencial que aparecen señaladas en el mapa de la Fig. 4. En la Fig. 5 se indica la tipología de las mineralizaciones que aparecen en dichas áreas, de acuerdo con la clasificación anteriormente propuesta.

Aceptado, 12-V-89

Recibido, 3-IV-89

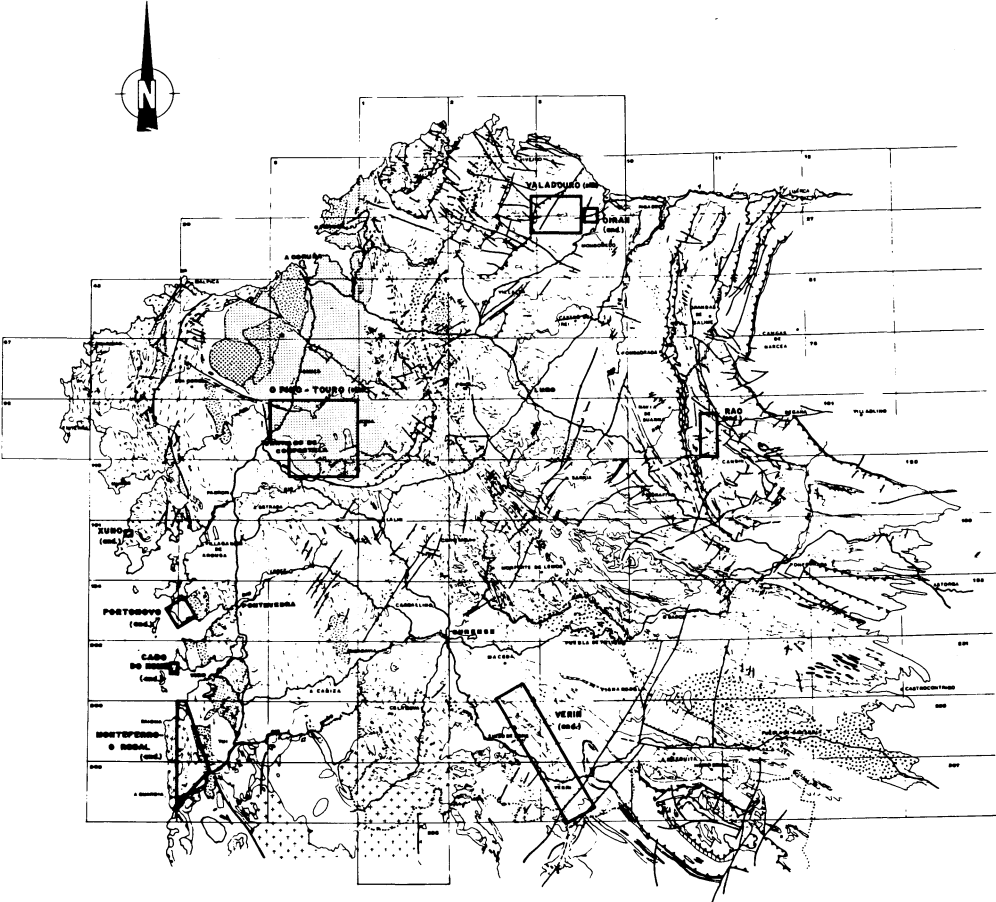


Fig. 4. Mapa de situación de las áreas de interés potencial de andalucita, cianita y sillimanita en Galicia.

TIPOS DE YACIMIENTOS		PRINCIPALES YACIMIENTOS	AREAS DE INTERES POTENCIAL EN GALICIA
I. METAMORFICOS	a).- Diseminados	Transvaal (Sudáfrica)-And. Glomel (Bretaña, Francia)-And. Virginia (EE.UU.)-Cian. Namaqualand (Sudáfrica)-Sill.	Valadouro (Sill.), Oirán (And.), Ráo (And.), Portonovo (And.), Cabo do Home (And.), Monteferro-O Rosal (And.) y Verín (And.)
	b).- En cuerpos o agregados masivos	Bhandara (India)-Cian. Virginia (EE.UU.)-Cian.	Monteferro-O Rosal (And.)
	c).- Asociados a venas o filones de cuarzo		O Pino-Touro (Cian.), Xuno (And.), Cabo do Home (And.) Monteferro-O Rosal (And.)
II. SEDIMENTARIOS	a).- En coluviones		O Pino-Touro (Cian.) y Xuno (And.)
	b).- En aluviones	Transvaal (Sudáfrica)-And.	O Pino-Touro (Cian.)
	c).- En arenas de playa	Eneabba-Jurien (Australia)-Cian. Kerala, Tamil Nadu y Orissa (India)-Sill.	
III. RESIDUALES		Khasi Hills (Assam, India)-Sill.	O Pino-Touro (Cian.)

Fig. 5. Tipos de yacimientos de andalucita, cianita y sillimanita, y ejemplos de los mismos en las principales áreas de explotación y en Galicia.

BIBLIOGRAFIA

- CAMPILLO, G., GUITIAN RIVERA, F. y VARELA, A. (1981). La Cianita de O Pino (Santiago). Caracterización, purificación y aplicaciones. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 2, 143-155.
- CARROLL, J. y MATTHEWS, G. W. (1983). Sillimanite minerals as raw materials for refractories. *Industrial Minerals, Refractories Supplement* 1983, 47-53.
- CLARKE, G. M., DICKSON, E. M. y GRIFFITHS, J. B., Eds. (1985). Sillimanite minerals - Europe places demands on Andalusite. *Industrial Minerals*, Enero 1985, 41-63.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. y ZUSSMAN, J. (1962). Rock forming minerals. Vol. 1: Ortho-and Ring Silicates. *Longman Group Ltd.*, Londres.
- ESPENSHADE, G. H. y POTTER, D. B. (1960). Kyanite, Sillimanite, and Andalusite Deposits of the Southeastern States. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 336.
- HOLDAWAY, M. J. (1971). Stability of Andalusite and the aluminum silicate phase diagram. *Amer. Jour. Sci.*, 271, 97-131.
- IGME (1975a). Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Santiago de Compostela (7) del Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- IGME (1975 b). Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Lugo (8) del Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- IGME (1975 c). Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Pontevedra-La Guardia (16-26) del Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- IGME (1975 d). Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Orense (17) del Mapa Metalogénico de España a escala 1:200.000. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- IGME (1975 e). Monografías de Rocas Industriales. Rocas Silicoaluminosas. *Colección Informe. Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- IGME (1977). Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste. Fondo Documental del ITGE.
- IGME (1981). Concentración de Sillimanitas de Valle de Oro (Lugo). *Fondo documental del ITGE*.
- IGME (1982). Mapa Minero-Metalogénico de Galicia a escala 1:400.000. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- IGME (1988). Panorama Minero 1986. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid.
- MUCHART, H. y KOEGEL, H. (1976). 'Kerphalite' - Europe's own source of high-alumina andalusite for refractories. *2nd 'Industrial Minerals' International Congress*, Munich 1976, 121-132.
- POTTER, M. J. (1984). Kyanite and related materials. In: *Minerals Yearbook*, 1984 - I, 559-562.
- ROBIE, R. A. y HEMINGWAY, B. S. (1984). Entropies of kyanite, andalusite, and sillimanite: additional constraints on the pressure and temperature of the Al_2SiO_5 triple point. *Amer. Miner.*, 69, 298-306.
- ROSKILL (1987). The economics of kyanite group minerals 1987. *Roskill Information Services Ltd.*, Londres. 5.ª Edic.
- WINKLER, H. G. F. (1978). Petrogénesis de rocas metamórficas. *H. Blume Ediciones*, Madrid.