

# EDADES DEL BASAMENTO PRE-VARISCO EN IBERIA: HERENCIA ICARTIENSE, GRENVILLE Y CADOMIENSE EN ROCAS DEL COMPLEJO OLLO DE SAPO (NW DE ESPAÑA). ESTUDIO GEOCRONOLÓGICO MEDIANTE ABLACIÓN LÁSER ICP-MS.

*[Pre-variscan basement ages in Iberia: Icartian, Grenville and Cadomian inheritance in the Ollo de Sapo complex (NW Spain). Laser Ablation ICP-MS geochronology.]*

J. FERNÁNDEZ-SUÁREZ (\*)

G. GUTIÉRREZ-ALONSO (\*\*)

G. A. JENNER (\*)

M. TUBRETT (\*)

(\*) Department of Earth Sciences, Memorial University of Newfoundland, St. John's. NF A1B 3X5 Canada.

(\*\*) Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 33700 Salamanca, España.  
(E-mail: [gabi@gugu.usal.es](mailto:gabi@gugu.usal.es))

(FECHA DE RECEPCIÓN: 1998-12-02) (FECHA DE ADMISIÓN: 1998-12-18).  
BIBLID [0211-8327 (1998) 34; 103-121].

**RESUMEN:** Se han datado circones extraídos de rocas pertenecientes al complejo ígneo-vulcanosedimentario Ollo de Sapo mediante la técnica de Ablación Laser ICP-MS. Los resultados U-Pb en cristales individuales de circón indican la existencia de, al menos, tres eventos pre-Paleozoicos de formación de corteza en el NW de Iberia. Las edades más antiguas (ca 1,9-2 Ga) corresponden al evento Icartiense, que se ha identificado en otras áreas de la cadena Varisca de Europa occidental. El segundo evento (ca 1,1 Ga) pone de manifiesto por primera vez la existencia de un basamento de edad Grenville-Sunsas en Iberia. El tercer evento, datado a ca 550-625 Ma, confirma la

existencia generalizada de un basamento Cadomiense-Avaloniense en Iberia. Estos datos proporcionan nuevas ideas para las reconstrucciones paleogeográficas y la modelización petrogenética de rocas ígneas Neoproterozoicas y Paleozoicas en Iberia y áreas adyacentes del Varisco europeo. La presencia de un basamento Grenville contribuye a una mejor interpretación de las firmas isotópicas de Nd en granitoides Cadomienses y Variscos de tipo I, y sugiere una situación de Iberia próxima a los terrenos de Avalonia y Carolina en tiempos Cadomienses-Avalonienses.

**Palabras clave:** Icartiense, Grenville, Cadomiense, Varisco, corteza, Iberia, geocronología, Olla de Sapo.

**ABSTRACT:** Zircons from an Ordovician volcano-sedimentary-igneous complex in NW Iberia were dated using the Laser Ablation-ICP-MS technique. U-Pb results indicate the existence of at least three pre-Paleozoic events of crustal growth in NW Iberia. The oldest event (ca 1,9-2 Ga) corresponds to the Icartian-Eburnean event which is also recognised in other areas of the European Variscides. The second event (dated at ca 1,1 Ga) reveals the existence of a Grenville-Sunsas age basement in Iberia. The third event, dated at ca 550-625 Ma confirms the widespread presence of a Cadomian-Avalonian basement in Iberia. These data provide new ideas for paleogeographic reconstructions and petrogenetic modeling of Neoproterozoic and Paleozoic igneous rocks in Iberia and neighbouring areas of the European Variscides. The presence of a Grenville age lower crustal component sheds new light on the interpretation Nd isotopic signatures of I-type Cadomian and Variscan granitoids, and suggests a position of Iberia close to the Avalonia and Carolina terranes during Cadomian-Avalonian times.

**Key words:** Icartian, Grenville, Cadomian, Variscan, Crust, Iberia, geochronology.

## INTRODUCCIÓN

La evolución pre-Cadomiense de Iberia es mal conocida debido a la ausencia de afloramientos de basamento en el cinturón Varisco peninsular. El NW de Iberia formó parte del conjunto de terrenos Neoproterozoicos circun-Atlánticos que constituyeron el cinturón orogénico Cadomiense-Avaloniense (ver NANCE & MURPHY, 1996; FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, 1998). En estos terrenos existen abundantes evidencias indirectas de la existencia de un basamento pre-Neoproterozoico (principalmente edades de interceptación superior de fracciones discordantes de circon y edades modelo de Nd) (e.g. LIEW & HOFFMAN, 1988; NÄGLER *et al.*, 1995; NANCE & MURPHY, 1996; KEPPIE *et al.*, 1998; y referencias en estos trabajos). Sin embargo, las evidencias directas de la existencia de tal basamento son mucho más escasas (ver compilación de datos en NANCE & MURPHY, 1996). En Iberia existen escasas evidencias de la existencia de un basamento Arcaico (ca 2,7 Ga) y Paleoproterozoico (ca 1,9 Ga) de afinidad Gondwánica (GUERROT *et al.*, 1989; GEBAUER, 1993). Por otra parte, la composición isotópica del Nd en sedimentos de edades comprendidas entre el Neoproterozoico y el Carbonífero, y la de los granitoides Cadomienses y Variscos indican la existencia de al menos un componente cortical pre-Neoproterozoico en Iberia (e.g. BEETSMA, 1995; NÄGLER *et al.*, 1995; MORENO-VENTAS *et al.*, 1995; GALÁN *et al.*, 1995; VILLASECA *et al.*, 1998; FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, 1998).

Teniendo en cuenta que la naturaleza, edad y distribución del basamento antiguo son elementos clave en los estudios de modelización petrogenética de rocas ígneas, procedencia de sedimentos y reconstrucciones paleogeográficas, se ha iniciado un estudio geocronológico por Ablación Láser ICP-MS de circones reciclados en sedimentos y rocas ígneas de edades Neoproterozoico-Paleozoico inferior en el NW de Iberia. Los primeros resultados de esta investigación de presentan en este trabajo.

## MARCO GEOLÓGICO

Las muestras estudiadas fueron tomadas en los afloramientos costeros del núcleo del antiforame del Olla de Sapo, una estructura que presenta un afloramiento casi continuo de varios cientos de km en el autóctono del cinturón Varisco Ibérico (PÉREZ ESTAÚN *et al.*, 1991), a lo largo del llamado arco Ibero-Armoricano (Figura 1).

La estructura general del Olla de Sapo es un antiforame amplio afectado por varias zonas de cizalla normales e inversas (MARTINEZ-CATALÁN *et al.*, 1977;

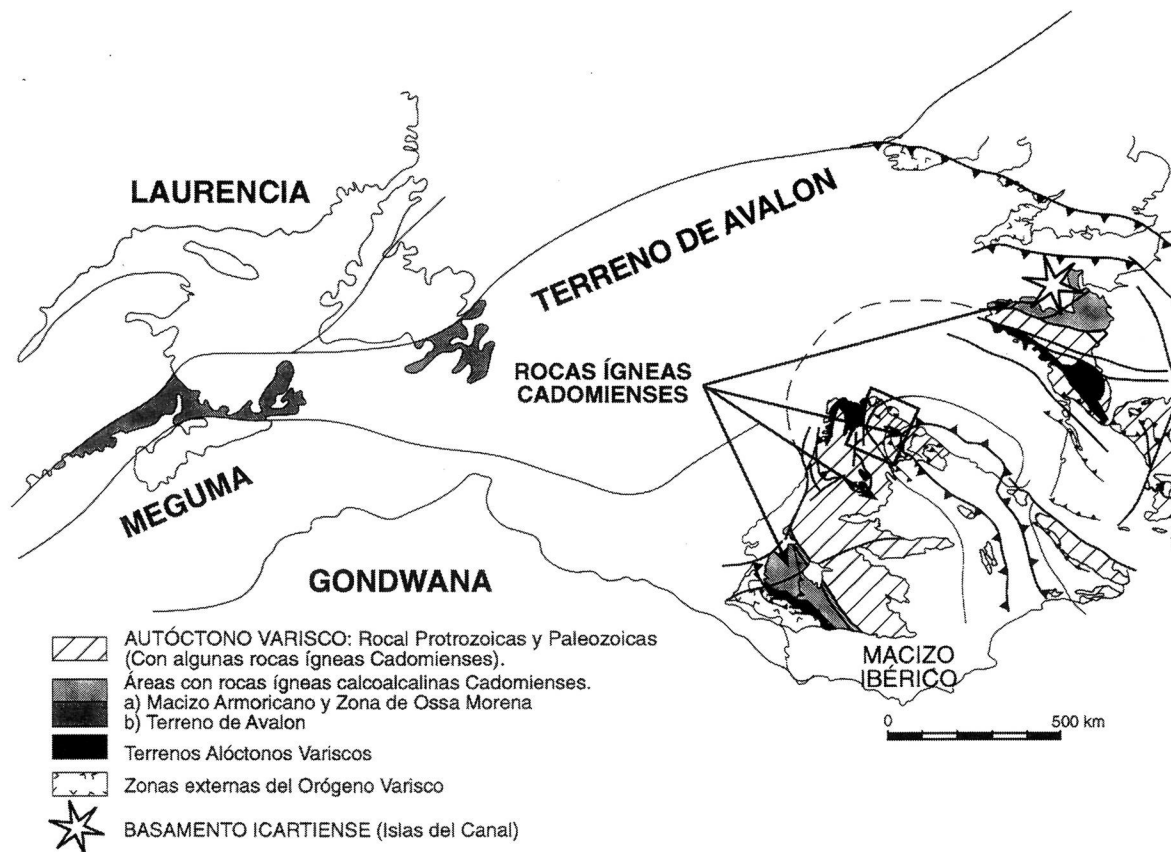


Figura 1. Reconstrucción de la Pangea en torno a Iberia mostrando el arco Ibero-Armoricano y la situación de los terrenos de Avalonia y Meguma (modificado de MARTÍNEZ-CATALÁN *et al.*, 1997), así como la localización de afloramientos de basamento Cadomiense e Icartiense en Europa occidental.

BASTIDA *et al.*, 1984, 1993; ALLER & BASTIDA, 1996; DÍAZ GARCÍA, 1997). Las rocas muestreadas corresponden al complejo ígneo-volcanosedimentario Olló de Sapo (OS), que está mayoritariamente formado por augenites de grano grueso y rocas volcanosedimentarias de grano medio-fino caracterizadas por la presencia de cuarzos volcánicos azulados.

Las edades U-Pb existentes hasta la fecha indican una edad Ordovícico inferior para la formación de las rocas volcánicas y plutónicas del complejo OS (GEBAUER *et al.*, 1993; VALVERDE & DUNNING, 1997). El origen del complejo OS es objeto de debate en la actualidad y se han propuesto diferentes hipótesis sobre su génesis (CAPDEVILA, 1969; ORTEGA *et al.*, 1996, VALVERDE & DUNNING, 1997; FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, 1998) incluyendo por ejemplo un origen ligado a un proceso subductivo o un origen ligado a la extensión litosférica relacionada con la separación (“undocking”) de Avalonia.

Las dos muestras analizadas (situación en Figura 2) representan las dos litologías descritas anteriormente, que representan los principales tipos de roca que forman el complejo OS. La muestra JG-2 es un augenite de grano grueso y la muestra JG-3 es una grauvaca volcanosedimentaria de grano medio-fino. Estas muestras fueron seleccionadas en base a su alta probabilidad de contener tanto circones reciclados como circones cristalizados durante el evento magmático que dio lugar a las rocas del Olló de Sapo.

## MUESTRAS Y MÉTODOS

La ablación láser asociada a un espectrómetro de masas tipo ICP (LA-ICP-MS) constituye una técnica alternativa y relativamente barata para realizar dataciones puntuales U-Pb en cristales individuales de circón (y monacita) (PERKINS *et al.*, 1992; HIRATA & NESBITT, 1995; JACKSON *et al.*, 1997) y se está convirtiendo en una poderosa herramienta en estudios geocronológicos de rocas ígneas y sedimentos pre-Paleozoicos (e.g. MACHADO & GAUTHIER, 1996; FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, 1998). Esta técnica es particularmente apropiada cuando el estudio geocronológico está enfocado a la identificación de eventos de acreción cortical o edades de áreas fuente de sedimentos, estudios en los que una alta precisión no es crucial.

Las técnicas de separación mineral, preparación de muestras, equipamiento analítico, condiciones de análisis y tratamiento de datos se describen con detalle en otros trabajos (JACKSON *et al.*, 1997; FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, 1998; GUTIÉRREZ-ALONSO & FERNÁNDEZ-SUÁREZ, 1998).

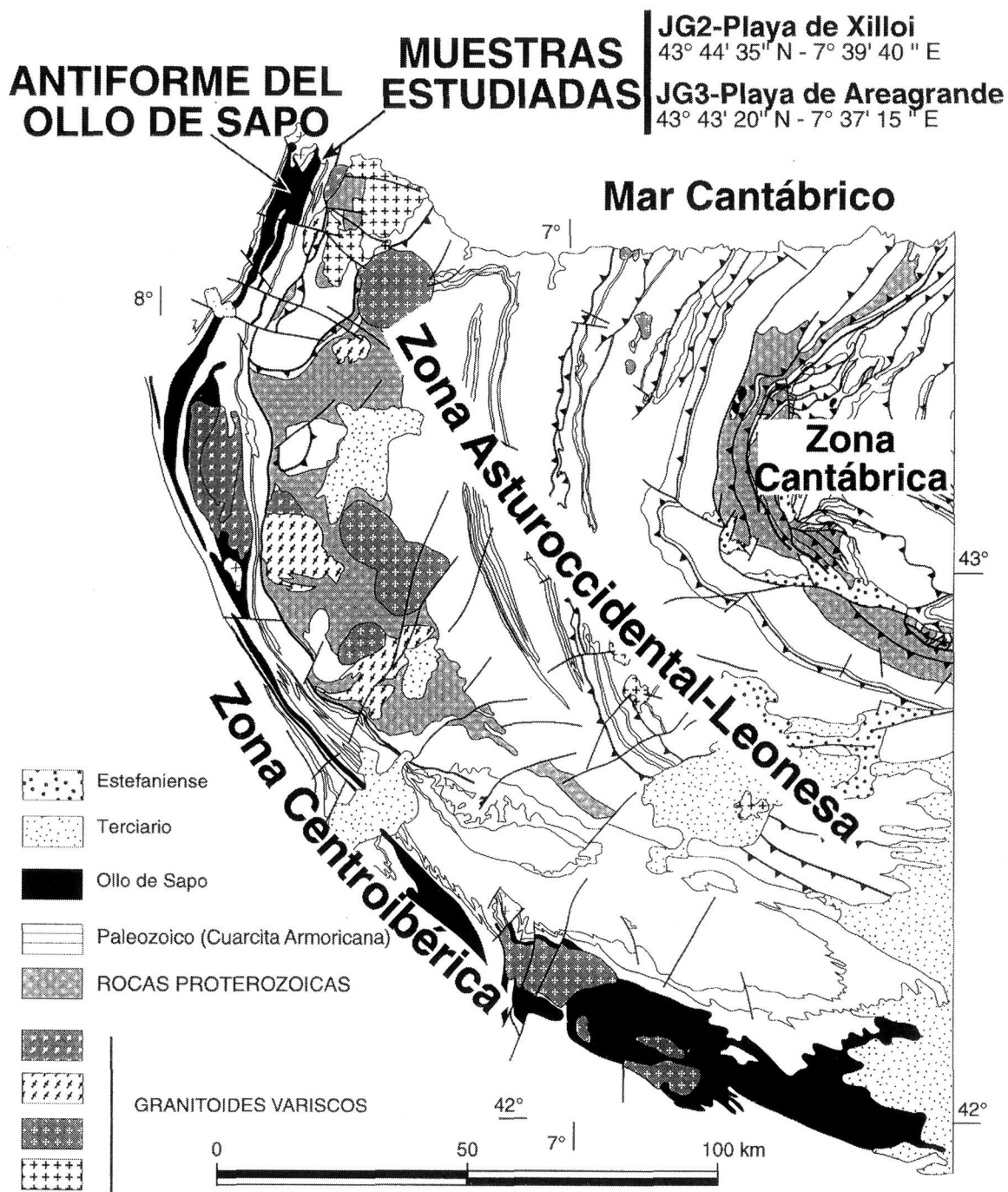


Figura 2.- Mapa geológico de parte del macizo Varisco Ibérico (zonas Cantábrica, Asturoccidental Leonesa y Centro-Ibérica) mostrando las principales unidades, estructuras y granitoides. Asimismo se indica la localización de las dos muestras estudiadas en este trabajo.

## RESULTADOS

Los resultados de los análisis U-Pb en granos individuales de circón se muestran en la Tabla 1 y en los diagramas de concordia de la Figuras 3, 4, 5, 6 y 7. Estos datos muestran la existencia de cuatro poblaciones de edad, todas ellas representadas en las dos muestras estudiadas: ca 425-460 Ma, ca 550-625 Ma, ca 1080-1175 Ma, y ca 1900-2000 Ma.

El grupo de edades más jóvenes (Figura 3) con un rango de edades U-Pb comprendido entre ca 425 Ma y ca 460 Ma representa la edad del componente magmático de las rocas Olo de Sapo en las muestras analizadas. Este rango de edad es ligeramente más joven que las edades obtenidas en otras dataciones de rocas de este complejo en áreas situadas más al S y SE en el Antiforme del Olo de Sapo (ca 465-480 Ma, LANCELOT *et al.*, 1985; GEBAUER, 1993; VALVERDE & DUNNING, 1997). La edad más joven obtenida en este estudio podría ser atribuida tanto a variabilidad geológica como al efecto de pérdida de plomo subconcordante en los circones analizados (cf FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, 1998). En cualquier caso, el rango de edades se solapa dentro de los errores analíticos con las edades más jóvenes anteriormente obtenidas para rocas ígneas del complejo Olo de Sapo (465±10, LANCELOT *et al.*, 1985).

La Figura 4 muestra la existencia de tres poblaciones de circones reciclados en las muestras analizadas. La población más joven de estas tres, con un rango de edades comprendido entre ca 550 Ma y ca 625 Ma (Figura 5) se considera que representa el reciclado de corteza Avaloniense-Cadomiense. La presencia de un basamento de dicha edad está consistentemente documentado en Iberia (LANCELOT *et al.*, 1985; FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, 1998), que formó parte del conjunto de terrenos circun-Atlánticos que constituyeron el cinturón orogénico Avaloniense-Cadomiense (e.g. MURPHY & NANCE, 1991; NANCE & MURPHY, 1994, 1996; GIBBONS & HORÁK, 1996; STRACHAN *et al.*, 1996; KEPPIE *et al.* 1998; KEPPIE & DOSTAL, 1998).

El segundo grupo, del que se han obtenido tres edades concordantes se muestra en las Figuras 4 y 6. Estas edades evidencian el reciclaje de un componente cortical de edad Meso-Proterozoica (ca 1,1-1,2 Ga). Los dos circones de la muestra JG-2 tienen edades concordantes que se solapan a ca 1080-1105 Ma y el circón de la muestra JG-3 proporcionó una edad concordante de ca 1170±10 Ma. La presencia de este componente cortical no había sido previamente puesta en evidencia en el NW de Iberia. Aunque el número de análisis es por el momento insuficiente para establecer el intervalo de edades de dicho evento de acreción cortical, es una evidencia incontrovertible de la existencia de un basamento de edad Grenville-Sunsas (e.g. NANCE & MURPHY, 1996; KEPPIE *et al.* 1998 y referencias en estos trabajos) en Iberia. Edades similares (ca 0,9-1,2 Ga) han sido obtenidas en la zona Moldanúbica del macizo de Bohemia y en el Macizo Central francés (GEBAUER *et al.*, 1989). Es destacable que hasta la fecha no se han encontrado evidencias de la existencia de este basamento en el Macizo Armoricano o en la zona Saxoturingia del macizo de Bohemia.

El tercer grupo de edades de circones reciclados (Figs. 4 y 7) está representado por dos edades concordantes y parcialmente solapadas de circones pertenecientes a

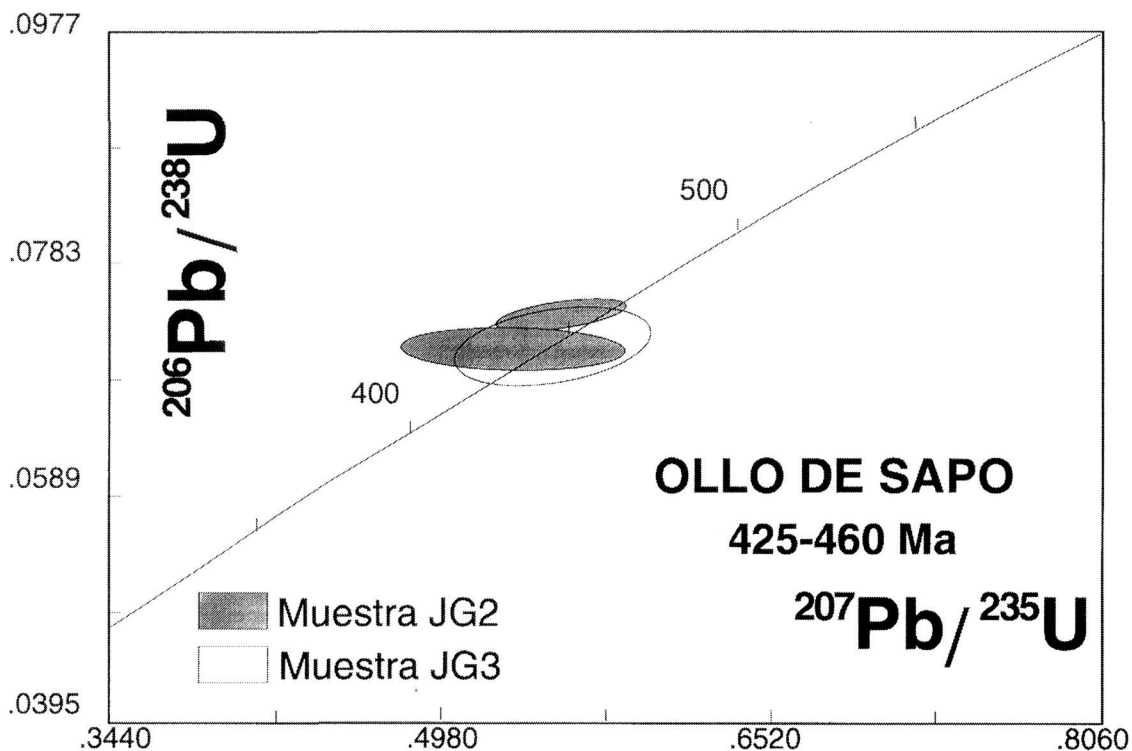


Figura 3.- Diagrama de concordia U-Pb correspondiente a la edad obtenida para el Ollo de Sapo en el sector estudiado. Las elipses sombreadas corresponden a circones de la muestra JG-2, las elipses blancas corresponden a circones de la muestra JG-3.

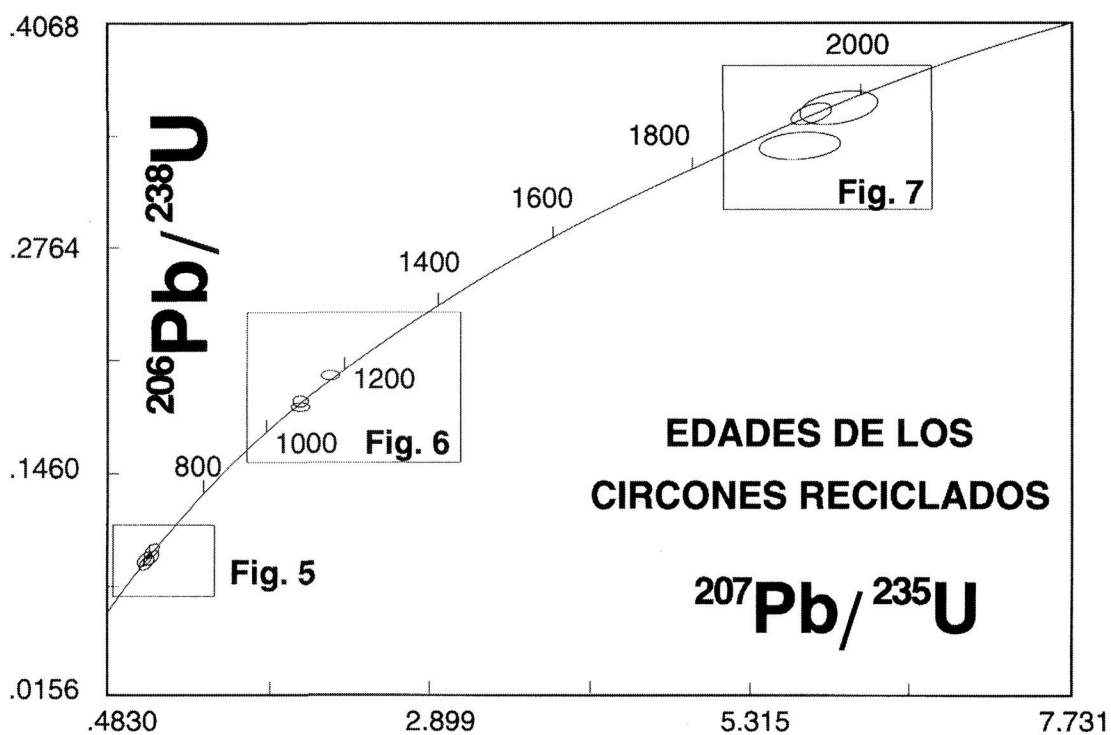


Figura 4.- Diagrama de concordia U-Pb correspondiente a las edades obtenidas para los circones reciclados que existen en el Ollo de Sapo en el sector estudiado. Se señalan los sectores del diagrama de concordia que se muestran en las figuras 5, 6 y 7.

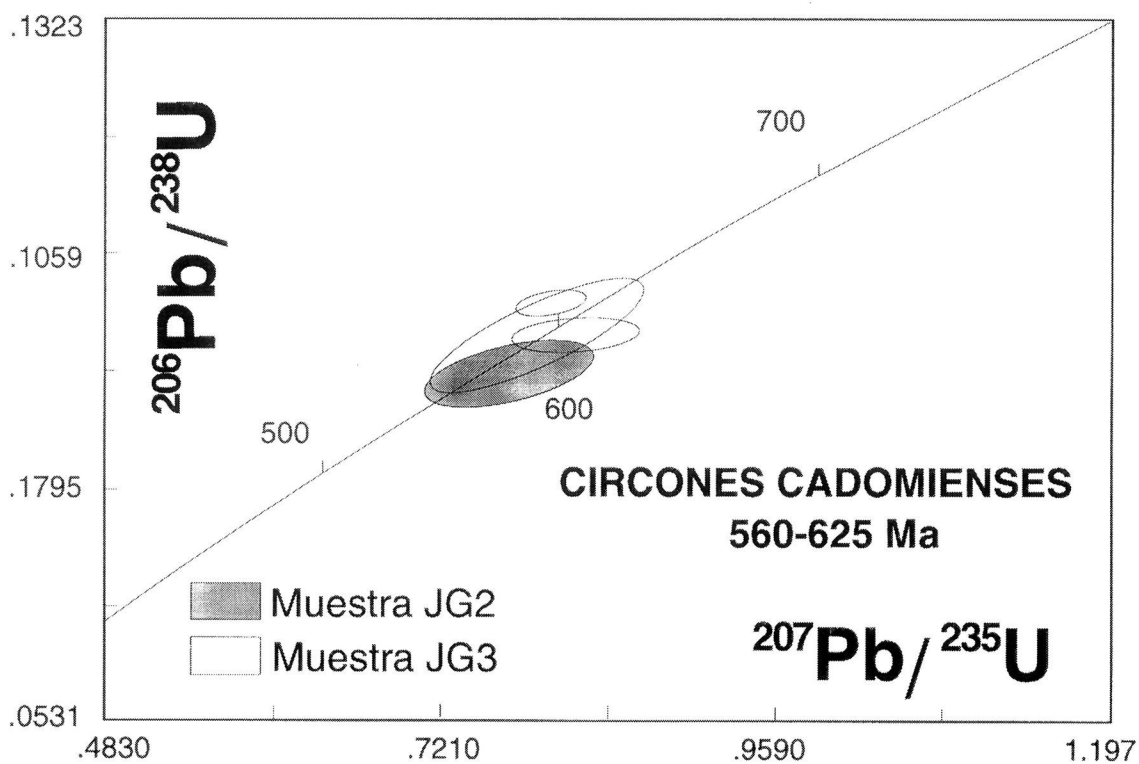


Figura 5.- Diagrama de concordia U-Pb correspondiente a los circones de edad Cadomiense. Las elipses sombreadas corresponden a circones de la muestra JG-2, las elipses blancas corresponden a circones de la muestra JG-3.

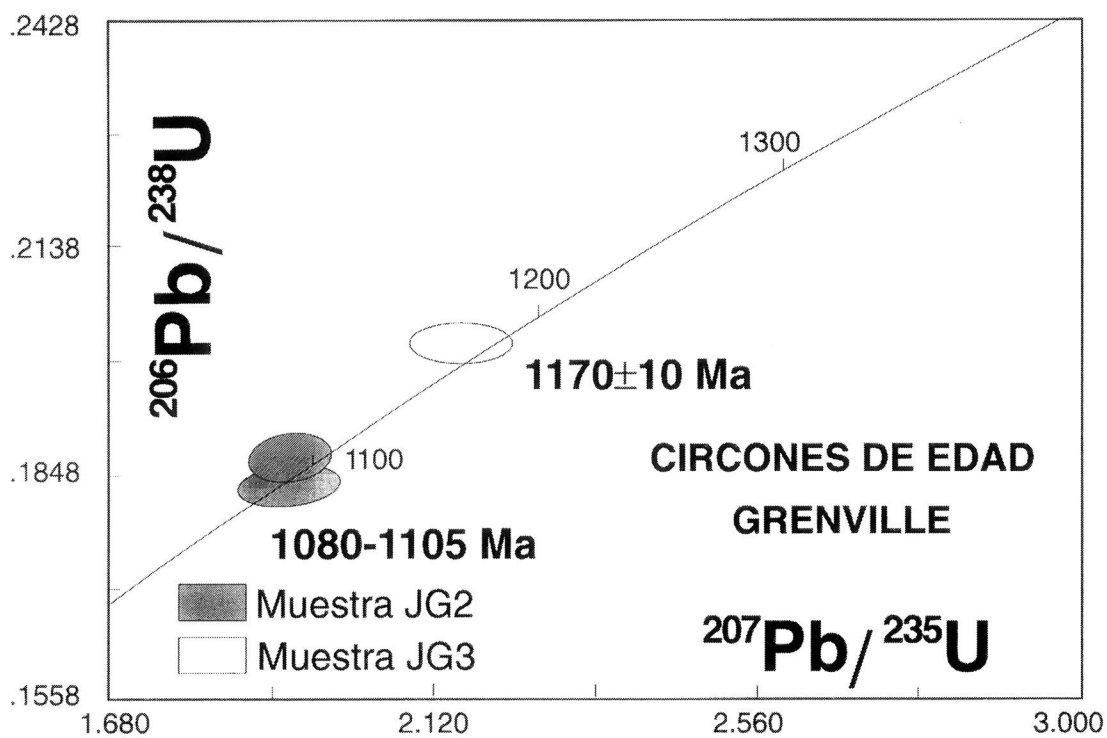


Figura 6.- Diagrama de concordia U-Pb correspondiente a los circones de edad Grenville. Las elipses sombreadas corresponden a circones de la muestra JG-2, las elipses blancas corresponden a circones de la muestra JG-3.



ambas muestras: ca  $1950 \pm 10$  Ma (muestra JG-2) y  $1965 \pm 40$  Ma (muestra JG-3). Un tercer circón de la muestra JG-3, aunque no concordante, proporcionó una edad  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  de ca 2,0 Ga, que se solapa con la edad U-Pb del circón concordante de la misma muestra. Estas edades confirman la existencia de un componente cortical Paleo-Proterozoico (ca 1,9-2 Ga) en el basamento de Iberia, como fue indicado por GEBAUER (1993) basándose en la intercepción superior de la discordia interna en un circón del complejo Olló de Sapo analizado por SHRIMP. Esta edad se corresponde con el evento Icartiense-Ebúrneo de formación de corteza, que se registra en varios terrenos (e.g. KEPPIE *et al.*, 1998 y referencias en este trabajo). En Europa occidental, el evento Icartiense está representado por los ortoneises graníticos de Icart ( $2061 \pm 2$  Ma), aflorantes en las Islas del Canal (macizo Armoricano de Cadomia) (SAMSON & D'LEMONS, 1998 y referencias en este trabajo). Edades ligeramente más jóvenes (1,8-1,9 Ga) se han obtenido en cantos de granulitas muestreados en la plataforma de la costa Cantábrica de España (GUERROT *et al.*, 1989). GEBAUER *et al.* (1989) encontraron edades semejantes (1,85 Ga) en circones detríticos de metasedimentos de alto grado de la Montaña Negra (Macizo Central francés).

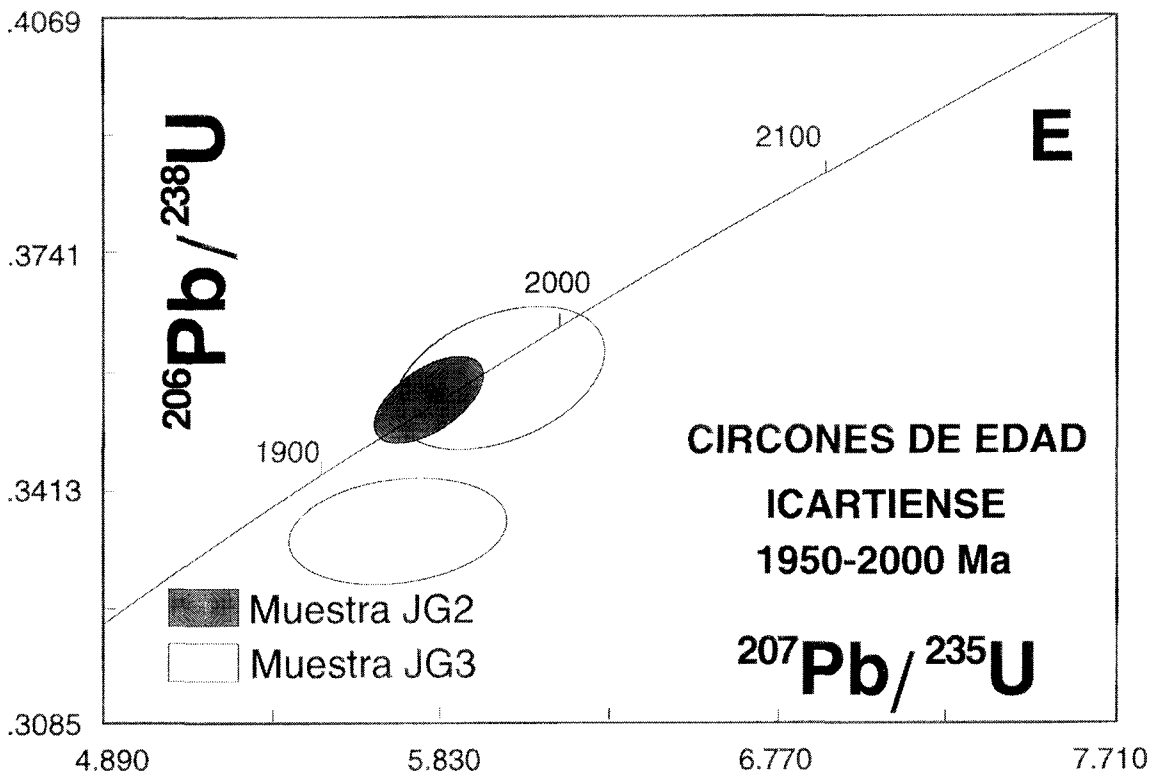


Figura 7.- Diagrama de concordia U-Pb correspondiente a los circones de edad Icartiense. Las elipses sombreadas corresponden a zircones de la muestra JG-2, las elipses blancas corresponden a circones de la muestra JG-3.

## DISCUSIÓN

Los datos presentados en los apartados anteriores arrojan nueva luz sobre diferentes aspectos de la evolución geológica de Iberia y áreas adyacentes del orógeno Varisco de Europa

Las edades de circones reciclados en las rocas del complejo Ordovícico Olló de Sapo ponen de manifiesto la existencia de al menos tres eventos pre-Paleozoicos de formación de corteza en el NW de Iberia. Estos datos confirman la existencia de un importante basamento de edad Avaloniense-Cadomiense en Iberia (cf SCHÄFER *et al.*, 1993; FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, 1998). Los datos aquí presentados confirman la existencia de un basamento Paleoproterozoico de edad Icartiense en Iberia, y están de acuerdo con datos previos obtenidos por dataciones U-Pb (TIMS) en fracciones multigrano de circón y datos en circones individuales obtenidos por sonda iónica de alta resolución (SHRIMP) (GUERROT *et al.*, 1989; GEBAUER, 1993, respectivamente). Las edades Paleoproterozoicas obtenidas en este estudio (1,9-2 Ga) son también comparables a las obtenidas para los neises de Icart en el Macizo Armoricano de Francia (SAMSON & D'LEMONS, 1998).

Las tres edades concordantes a ca 1080-1105 y 1170 Ma ponen de manifiesto por primera vez la existencia de un basamento de edad Grenville-Sunsas en el NW de Iberia, hecho que tiene importantes repercusiones en la reconstrucción de la historia pre-Neoproterozoica de Iberia (ver más adelante).

Edades Arcaicas como las obtenidas por GUERROT *et al.* (1989) y GEBAUER (1993) no fueron encontradas en los circones analizados en este estudio.

Una implicación importante de los datos aquí presentados concierne a la interpretación de los datos isotópicos de Nd en granitoides Variscos y Cadomienses. La idea central es que la existencia de diferentes basamentos debe ser considerada en los modelos petrogenéticos, tanto para granitoides de origen cortical, como granitoides de posible origen mixto (cortical y mantélico).

Los granitoides Cadomienses de tipo I de Iberia y Cadomia tienen un rango relativamente reducido de edades modelo de Nd ( $T_{DM}$ ), con la mayoría de los valores comprendidos entre 1,1 y 1,2 Ga (Figura 8); es decir que presentan una signatura isotópica de Nd de tipo Grenville. Esta signatura se atribuye en general a la de mezcla de componentes mantélicos de extracción Cadomiense (ca 600 Ma) y componentes corticales más antiguos (Arcaicos o Icartienses) (e.g. D'LEMONS & BROWN, 1993). Aunque dicha mezcla de reservorios de Nd puede explicar los referidos valores de  $T_{DM}$  en granitoides Cadomienses, la presencia de un basamento Grenville en Iberia introduce un nuevo argumento en la modelización petrogenética. Los granitoides Cadomienses con edades  $T_{DM}$  Grenville podrían haber sido generados por fusión parcial de un protolito máfico-intermedio infracortical con una edad de extracción mantélica Grenville (ca 1-1,2 Ga) (cf FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, 1998). Un hipotético protolito separado del manto a 1,1-1,2 Ga tendría valores de  $\epsilon_{Nd}$  próximos a 0 a ca 600 Ma, lo que concuerda con los valores de  $\epsilon_{Nd}$  observados en muchos granitoides Cadomienses de tipo I. Por otra parte, esta hipótesis no necesita invocar la mezcla de diferentes fuentes, lo que está más en consonancia con los modelos para la generación de granitoides calcoalcalinos de tipo I (cf ROBERTS & CLEMENS, 1993).

Una situación semejante ocurre en la modelización petrogenética de los granitoides Variscos de tipo I (e.g. SHAW *et al.*, 1993; MORENO-VENTAS *et al.*, 1995; GALÁN *et al.*, 1996; VILLASECA *et al.*, 1998). Los granitoides Variscos de tipo I tienen un rango de edades  $T_{DM}$  semejante al de los granitoides Cadomienses (Figura 8). Las edades  $T_{DM}$  comprendidas entre ca 0,9 y 1,2 Ga podrían resultar de una mezcla de fundidos mantélicos de edad Varisca y componentes corticales más antiguos (e.g. MORENO VENTAS *et al.*, 1995), pero en casos en los que los estudios petrogenéticos revelan la falta de una participación mantélica significativa, las edades  $T_{DM}$  comprendidas entre ca 0,9 y 1,2 Ga podrían indicar que dichos granitoides se generaron por fusión de un protolito infracortical con edad de extracción mantélica Grenville.

Un ejemplo de argumento en favor de esta posibilidad se encuentra en el cinturón tonalítico del Limousin en el Macizo central francés (ca 360 Ma, SHAW *et*

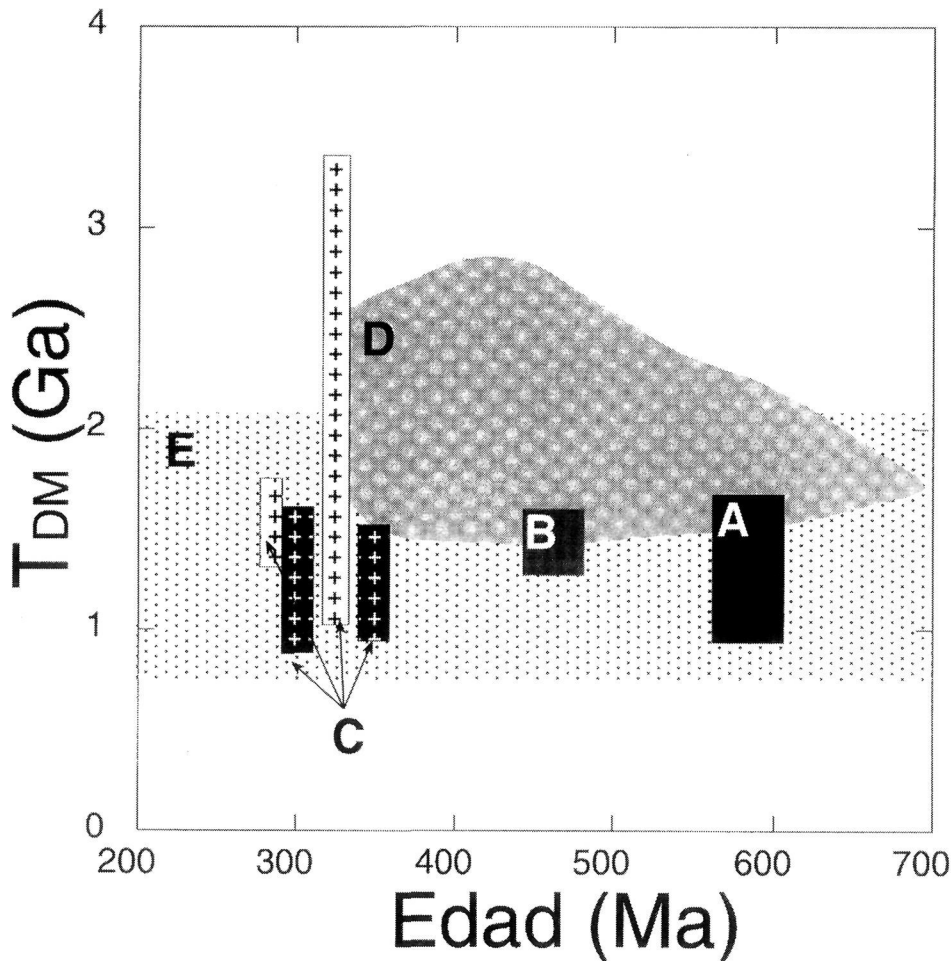


Figura 8.- Diagrama edad frente a  $T_{DM}$  para granitoides y sedimentos de Iberia y Cadomia (sólo granitoides Cadomienses) (184 análisis). Fuentes de los datos analíticos: A. Rocas Cadomienses (D'LEMONS & BROWN, 1993; SAMSON & D'LEMONS, 1998; FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, 1998). B. Rocas Olló de Sapo (ORTEGA *et al.*, 1996). C. Granitoides Variscos (cruces blancas: granitoides tipo I. cruces negras: leucogranitos tipo S) (BEETSMA, 1995; MORENO-VENTAS *et al.*, 1995; GALÁN *et al.*, 1997; VILLASECA *et al.*, 1998; y datos propios). D. Rocas sedimentarias (BEETSMA, 1995; NÄGLER *et al.*, 1996). E. Rango de valores  $T_{DM}$  de xenolitos infracorticales (DOWNES & LEYRELOUP, 1986).

*al.*, 1993 y referencias en este trabajo), donde también se han obtenido edades Grenville en circones detríticos (GEBAUER *et al.*, 1989). Estas tonalitas de tipo I tienen edades  $T_{DM}$  muy uniformes (en torno a 1 Ga) a lo largo de un cinturón plutónico de aproximadamente 150 km de longitud. Aunque un cierto grado de participación directa del manto en su génesis no puede ser descartada en base a los datos geoquímicos (SHAW *et al.*, 1993); la uniformidad de los valores  $T_{DM}$  es más fácil de explicar en base a la fusión de un protolito máfico-intermedio extraído del manto a ca 1 Ga que por mezcla de componentes mantélicos y corticales en proporciones prácticamente idénticas en un área tan grande. Los valores  $\epsilon_{Nd(360)}$  de estas tonalitas (-1 a +1,8) se corresponderían con los valores  $\epsilon_{Nd(360)}$  de dicho protolito Grenville.

En conclusión, aunque los valores  $T_{DM}$  pueden representar en muchos casos mezcla de diferentes fuentes con diferente naturaleza y composición isotópica del Nd, en algunos casos pueden ser una indicación de la edad del protolito cortical del que derivan. Los granitoides de tipo I con valores más altos de  $T_{DM}$  (1,4-1,7 Ga) (e.g. VILLASECA *et al.*, 1998) parecen indicar la participación en su génesis de fuentes corticales más antiguas (¿Icartienses, Arcaicas?).

Muchos leucogranitos de origen puramente cortical tienen un rango de valores  $T_{DM}$  comparable al de los granitoides de tipo I, pero muestran valores considerablemente más altos en algunos casos (Figura 9). Esto podría sugerir la participación en su génesis de un componente Arcaico, bien en la corteza inferior o reciclado en materiales corticales del Neoproterozoico-Paleozoico inferior.

Los xenolitos granulíticos de la corteza inferior (Figura 8) tienen un rango de edades  $T_{DM}$  (0,8-2 Ga) que se solapa en parte con el de los granitoides de tipo I y que no parece reflejar una importante contribución de componentes arcaicos a la composición de la corteza inferior.

Las rocas del complejo ígneo-vulcanosedimentario Olló de Sapo con valores de  $T_{DM}$  comprendidos entre ca 1,35 y 1,5 (Figura 8) reflejan la mezcla de componentes corticales puesta de manifiesto por las edades U-Pb en los circones; así, dicho rango de valores puede ser fácilmente explicado por una mezcla de

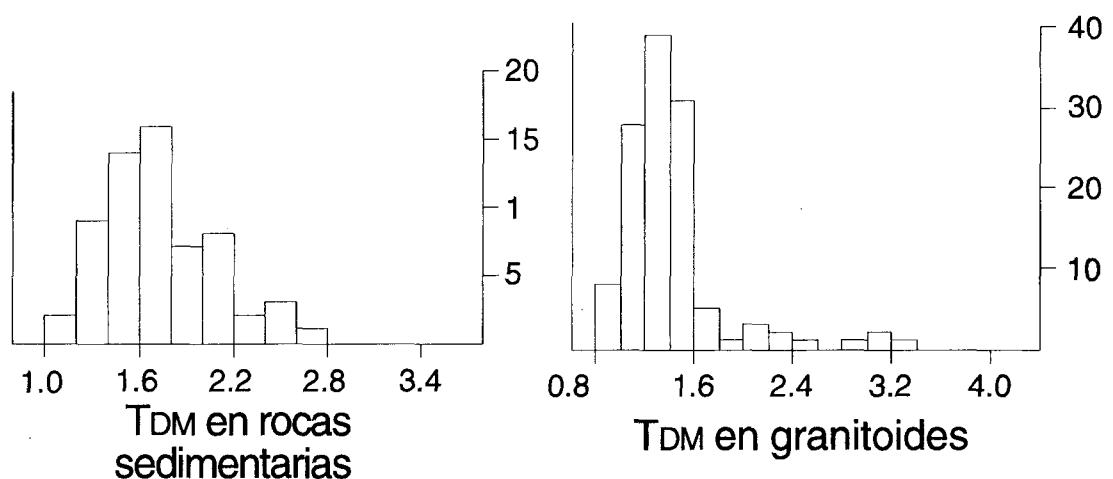


Figura 9.- Diagramas de frecuencia para los valores de  $T_{DM}$  en granitoides y sedimentos.

componentes corticales Icartienses (ca 1,9-2 Ga), Grenville (1-1,2 Ga) y Cadomienses (ca 600 Ma).

Los valores  $T_{DM}$  de sedimentos Neoproterozoicos y Paleozoicos (Figura 8) reflejan de una manera aproximada los eventos corticales indicados por las edades U-Pb. Las edades más jóvenes indicadas por los valores  $T_{DM}$  corresponden a sedimentos Neoproterozoicos y del Paleozoico inferior y parecen reflejar la adición de material juvenil durante el evento magmático Cadomiense-Avaloniense- (ca

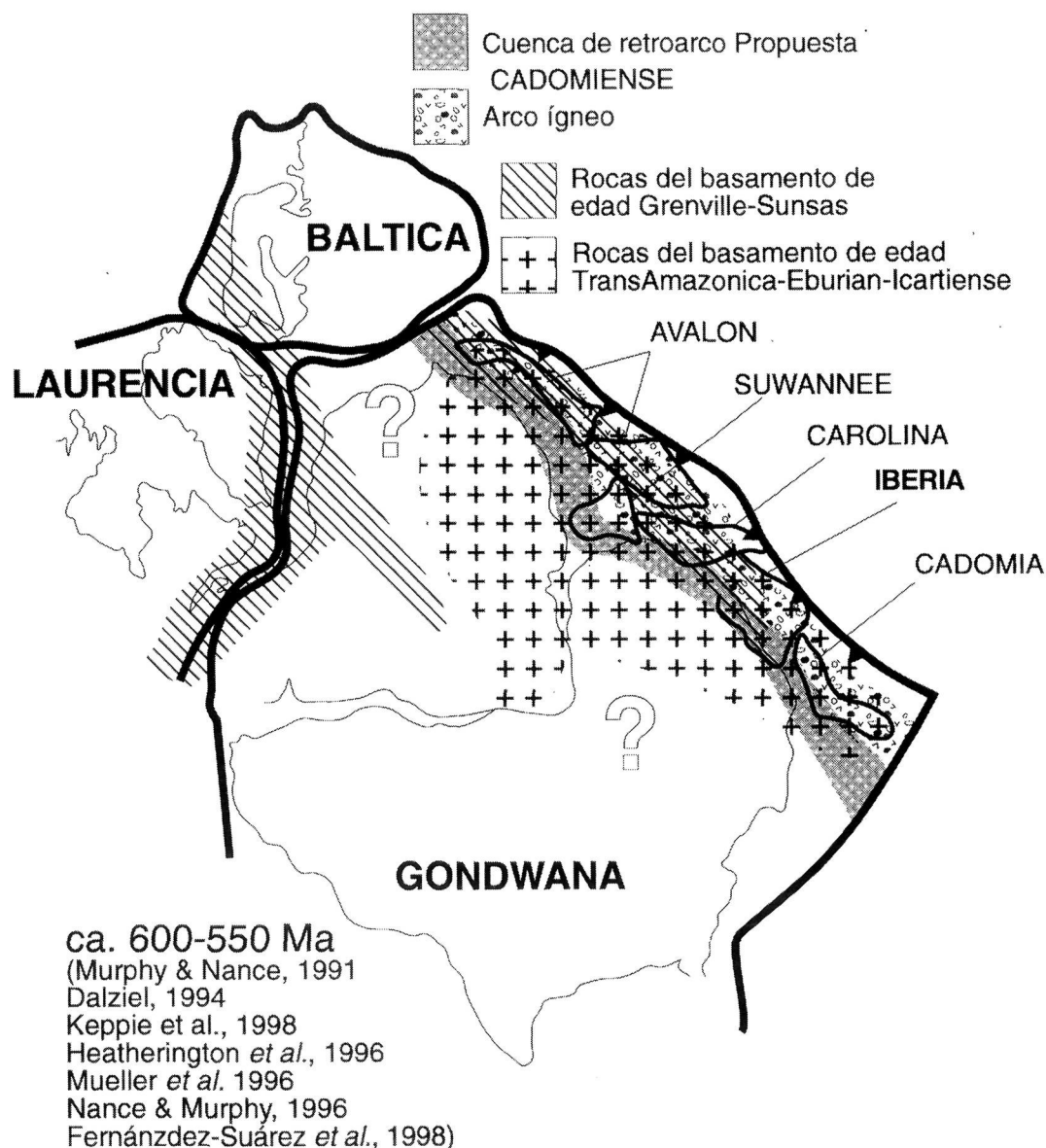


Figura 10.- Distribución de terrenos en el Neoproterozoico (Cadomiense-Avaloniense) y extensión de los basamentos Amazoniense-Icartiense-Ebúrneo (ca 1,9-2,2) y Sunsas-Grenville (0,9-1,2 Ga). La extensión del basamento de edad Grenville-Sunsas se restringe a parte del arco Cadomiense. Hasta la fecha no hay evidencias de dicho basamento en Cadomia y Suwannee, lo que limita la reconstrucción y sugiere que la posición de Iberia era más próxima a los terrenos de Norteamérica de lo que se considera en reconstrucciones previas

625-550 Ma). Los valores más altos de  $T_{DM}$  y la máxima dispersión de dichos valores (Figura 8) corresponden a una edad estratigráfica de ca 425-450 Ma (solapándose y sucediendo al evento Olló de Sapo) y reflejan un marcado incremento en la contribución de componentes corticales antiguos. Los autores sugieren que dicho incremento en la adición de material cortical antiguo podría estar relacionado con la génesis de las rocas Olló de Sapo en una corteza sufriendo extensión progresiva (ver FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, 1998). Una corteza que está siendo progresivamente adelgazada es un escenario favorable para la exhumación de materiales de la corteza inferior.

Finalmente, una de las implicaciones de más alcance de los datos aquí presentados concierne a la ubicación de Iberia en reconstrucciones paleogeográficas pre-Paleozoicas. Las reconstrucciones más recientes de Gondwana para el Neoproterozoico (Cadomiense-Avaloniense) suponen la existencia de un arco magmático relacionado con una subducción en su margen (Figura 8) (MURPHY & NANCE, 1991; KEPPIE *et al.*, 1998; FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, 1998). Dicho edificio magmático se encuentra actualmente desmembrado en varios terrenos circun-Atlánticos (East Avalonia, West Avalonia, Suwannee, Carolina, Iberia y Cadomia) que muestran un amplio registro de eventos tectonotérmicos de edad Cadomiense-Avaloniense. Dichos eventos crearon la corteza que, al menos en parte, actuó como basamento durante los eventos Variscos y Alleghenian. Por otra parte, estos terrenos (excepto Cadomia y Suwannee) muestran evidencias de un evento más antiguo de formación de corteza (Grenville-Sunsas) (Figura 10). El hecho de que Iberia contenga un basamento de edad Grenville sugiere que su posición en el Neoproterozoico debió ser más próxima a los terrenos de Avalonia y Carolina de lo que se suponía en reconstrucciones previas. Además, la presencia de un basamento de edad Grenville en la mayoría de los terrenos de este sector de Gondwana indica un evento orogénico de características y marco geodinámico desconocidos que se desarrolló simultáneamente a la colisión de Laurentia y Gondwana (orógeno Grenville s.s.). Por último, Las edades más antiguas obtenidas en este trabajo (ca 1,9-2,0 Ga) están de acuerdo con la naturaleza peri-Gondwánica común a los terrenos anteriormente mencionados (Figura 10).

## AGRADECIMIENTOS

JFS desea agradecer una beca post-doctoral del Ministerio de Educación y Ciencia. La financiación para este trabajo procede de una beca NSERC (GAJ) y una bolsa de viaje de la OTAN concedida a JFS y GAJ. Financiación adicional procede del proyecto DGIYCT PB96-1452-C03-02 (GGA).

**Tabla 1- Resultados de U-Pb obtenidos por Ablación Láser ICP-MS**

<b>MUESTRA JG2</b>																	
Análisis	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
	relación isotópica		relación isotópica		relación isotópica		relación isotópica		Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)
Z1	0,1189		0,10200		5,7980		0,3537		1946	1938	1963	0,89		1,10		0,70	
Z2	0,07611		0,05145		1,9224		0,1832		1089	1098	1014	1,51		1,51		0,69	
Z3	0,07478		0,05106		1,9251		0,1867		1090	1062	1007	1,35		1,20		1,56	
Z4	0,06047		0,02678		0,7694		0,0923		579	620	534	2,75		3,27		1,65	
Z5	0,05605		0,01992		0,5507		0,0713		445	454	400	3,17		3,97		1,92	
Z6	0,05418		0,01870		0,5315		0,0711		433	380	374	4,22		3,99		0,99	

<b>MUESTRA JG3</b>																	
Análisis	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
	relación isotópica		relación isotópica		relación isotópica		relación isotópica		Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	Edad (Ma)	
Z1	0,12189		0,08705		5,9961		0,3568		1975	1984	1687	1,90		2,01		1,09	
Z2	0,12349		0,09507		5,7091		0,3353		1933	2006	1836	2,27		2,17		0,96	
Z3	0,07760		0,05865		2,1556		0,2015		1167	1136	1152	1,46		1,37		0,57	
Z4	0,06133		0,02819		0,8174		0,0967		607	650	562	2,32		2,34		0,80	
Z5	0,05782		0,02916		0,7992		0,1002		596	522	581	1,28		1,36		0,59	
Z6	0,05925		0,03633		0,7886		0,0965		590	576	546	2,32		4,03		2,68	
Z7	0,05440		0,02123		0,5546		0,0739		448	386	425	2,06		2,18		0,71	

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLER, J. & BASTIDA, F. (1996): Geology of the Ollo de Sapo Antiform Unit south of the Cabo Ortegal Complex (NW Spain). *Rev. Soc. Geol. España*, **9**: 183-197.
- BASTIDA, F., MARCOS, A., MARQUÍNEZ, J., MARTÍNEZ-CATALÁN, J.R., PÉREZ ESTAÚN, A. & PULGAR, J.A. (1984): *Mapa Geológico de España E 1:200.000 1 (2-1) La Coruña*. I. G. M. E., 155 pp.
- BASTIDA, F., ALLER, J. & FERNÁNDEZ VIEJO, G. (1993): The structure of the Ollo de Sapo antiform in the Cantabrian coast (NW Spain). *Rev. Soc. Geol. España*, **6**: 93-103.
- BEETSMA, J.J. (1995): *The late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal, as traced by geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics of pre-Hercynian terrigenous sediments and Hercynian Granitoids*. Ph. D Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands, 223 pp.
- CAPDEVILA, R. (1969): *Le metamorphisme regional progressif et les granites dans le segment hercynien du NW de l'Espagne*. Ph.D Thesis. University Montpellier. 430 pp.
- CHANTRAINE, J., AUVRAY, B., BRUN, J.P., CHAUVEL, J.J. & RABU, D. (1996): The Cadomian Orogeny in the Armorican Massif: Conclusions. *In: Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas*. Ed. J.D.KEPPIE, Springer-Verlag: 126-128.
- DÍAZ GARCÍA, F. (1997): La estructura de los gneises Ollo de Sapo en el sector costero del Barquero-Vivero, CordilleraVarisca, NW de España. *Rev. Soc. Geol. España*, **10**: 249-264.
- D'LEMONS, R.S. & BROWN, M. (1993): Sm-Nd isotope characteristics of of late Cadomian granite magmatism in northern France and the Channel islands. *Geol. Mag.*, **130**: 797-804.
- DALLMEYER, R.D., MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., ARENAS, R., GIL IBARGUCHI, I., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., FARIAS, P., BASTIDA, F. & ALLER, J. (1997): Diachronous Variscan tectonothermal activity in the NW Iberian Massif: Evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of regional fabrics. *Tectonophysics*, **277**: 307-337.
- DOWNES, H. & LEYRELOUP, A. (1986): Granulitic xenoliths from the French Massif Central petrology, Sr and Nd isotope systematics and model age estimates. *In: The nature of the Lower Crust*. Ed J.B. DAWSON, D.A. CARSWELL, J.HALL & K.H. WEDEPOHL. *Geol. Soc., Spec. Publ.*, **24**: 319-330.
- EGAL, E., GUERROT, C., LE GOFF, E., THIÉBLEMONT, D. & CHANTRAINE, J. (1996): The Cadomian orogeny revisited in northern Brittaany (France). *In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America, Spec. Paper*, **304**: 281-318.
- FERNÁNDEZ-SUÁREZ, J., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., JENNER, J.A. & JACKSON, S.E. (1998): Geochronology and geochemistry of the Pola de Allande granitoids (northern Spain). Their bearing on the Cadomian/Avalonian evolution of NW Iberia. *Canadian J. Earth Sci.*, **35**.
- GALÁN, G., PIN, C. & DUTHOU, J.-L. (1996): Sr-Nd isotopic record of multi-stage interactions between mantle-derived magmas and crustal components in a collision context The ultramafic-granitoid association from Vivero (Hercynian belt, NW Spain). *Chem. Geol.*, **131**: 67-91.



- GEBAUER, D. (1993): *Intra-grain zircon dating within the Iberian Massif: Ollo de Sapo augengneisses, bimodal gneisses from the Massif de Guillerics (Girona), Graywacke of the Tentudía Group (serie Negra, SW Spain) and the HP/HT-rock association at Cabo Ortegal (Galicia)*. In: XII Reunião de Geologia do Oeste Peninsular. Comunicações. Evora, Portugal: 41-46.
- GEBAUER, D., WILLIAMS, I.S., COMPSTON, W. & GRÜNENFELDER, M. (1989): The development of the Central European continental crust since the Early archean based on conventional and ion-microprobe dating of up to 4.84 b.y. old detrital zircons. *Tectonophysics*, **157**: 81-96.
- GIBBONS, W. & HORÁK, J.M. (1996): The evolution of the Neoproterozoic Avalonian subduction system: Evidence from the British Isles. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America*, Spec. Paper, **304**: 269-280.
- GUERROT, C., PEUCAT, J.J., CAPDEVILA, R. & DOSSO, L. (1989): Archean protoliths within Early Proterozoic granulitic crust of the west European Hercynian belt: Possible relics of the west African craton. *Geology*, **17**: 241-244.
- GUTIÉRREZ-ALONSO, G. & FERNÁNDEZ SUÁREZ, J. (1998): Geocronología y geoquímica isotópica de los granitos de Pola de Allande (Asturias): ¿Relictos de un arco magmático Cadomiense en la zona Asturoccidental-Leonesa?. *Studia Geol. Salmanticensis*, **34**: 85-101.
- HEATHERINGTON, A.L., MUELLER, P.A. & NUTMAN, A.P. (1996): Neoproterozoic magmatism in the Suwannee terrane. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America*, Spec. Paper, **304**: 257-268.
- HIRATA, T. & NESBITT, R.W. (1995): U-Pb isotope geochronology of zircon: evaluation of the laser probe-inductively coupled plasma mass spectrometry technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**: 2491-2500.
- JACKSON S.E., LONGERICH, H.P., HORN, I. & DUNNING, G. (1997): The application of Laser Ablation Microprobe (LAM)-ICP-MS to in situ U-Pb zircon geochronology. *Proc. Goldschmidt Conference*: 283-284.
- KEPPIE, J.D. & DALLMEYER, R.D. (1989): *Tectonic map of pre-Mesozoic terranes in circum-Atlantic Phanerozoic orogens, 1:5,000,000*, International Geological Correlation Programme, Project 233: Halifax, Nova Scotia Department of Natural Resources.
- KEPPIE, J.D., DAVIS, D.W. & KROGH, T.E. (1998): U-Pb geochronological constraints on Precambrian stratified units in the Avalon Composite Terrane of Nova Scotia, Canada: tectonic implications. *Canadian J. Earth Sci.*, **35**: 222-236.
- KEPPIE, J.D. & DOSTAL, J. (1998): Birth of the Avalon arc in Nova Scotia, Canada: geochemical evidence for 700-630 Ma back-arc rift volcanism off Gondwana. *Geol. Mag.*, **135**: 171-181.
- LANCELOT, J.R., ALLEGRET, A. & IGLESIAS, M. (1985): Outline of upper Precambrian and Lower Paleozoic evolution of the Iberian Peninsula according to U-Pb dating of zircons. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **74**: 325-337.
- LIEW, T.C. & HOFFMAN, A.W. (1988): Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian foldbelt of central Europe: implications from a Nd and Sr isotopic study. *Contr. Miner. Petrol.*, **98**: 129-138.

- MACHADO, N & GAUTHIER, G. (1996): Determination of  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages on zircon and monazite by laser-ablation ICPMS and application to a study of sedimentary provenance and metamorphism in southeastern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**: 5063-5073.
- MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., GONZÁLEZ LODEIRO, F., IGLESIAS, M. & DÍEZ BALDA, M.A. (1977): La estructura del domo de Lugo y el anticlinorio del Olla de Sapo. *Studia Geol. Salmanticensia*, **12**: 109-122.
- MARTINEZ-CATALÁN, J.R., ARENAS, R., DÍAZ GARCÍA, F. & ABATI, J. (1997): Variscan accretionary complex of Northwest Iberia: Terrane correlation and succession of tectonothermal events. *Geology*, **25**: 1103-1106.
- MORENO-VENTAS, I., ROGERS, G. & CASTRO, A. (1995): The role of hybridization in the genesis of hercynian granitoids in the Gredos Massif, Spain: inferences from Sr-Nd isotopes. *Contr. Miner. Petrol.*, **120**: 137-149.
- MUELLER, P.A., KOZUCH, M. HEATHERINGTON, A.L., WOODEN, J.L., OFFIELD, T.W., KOEPPEN, R.P., KLEIN, T.L. & NUTMAN, A.P. (1996): Evidence of Mesoproterozoic basement in the Carolina terrane and speculations on its origin. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America, Spec. Paper*, **304**: 207-218.
- MURPHY, J.B. & NANCE, R.D. (1991): Supercontinent model for the contrasting character of Late Proterozoic orogenic belts. *Geology*, **19**: 469-472.
- MURPHY, J.B., KEPPIE, J.D., DOSTAL, J. & COUSENS, B.L. (1996): Repeated late Neoproterozoic-Silurian lower crustal melting beneath the Antigonish Highlands, Nova Scotia: Nd isotopic evidence and tectonic interpretations. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America, Spec. Paper*, **304**: 109-120.
- NÄGLER, T.F., SCHÄFER, H.J. & GEBAUER, D. (1995): Evolution of the Western European continental crust: implications from Nd and Pb isotopes in Iberian sediments. *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, **121**: 345-347.
- NANCE, R.D. & MURPHY, J.B. (1994): Contrasting basement isotopic signatures and the palinspastic restoration of peripheral orogens: Example from the Neoproterozoic Avalonian-Cadomian belt. *Geology*, **22**: 617-620.
- NANCE, R.D. & MURPHY, J.B. (1996): Basement isotopic signatures and Neoproterozoic paleogeography of Avalonian-Cadomian and related terranes in the Circum-North Atlantic. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America, Spec. Paper*, **304**: 109-120.
- ORTEGA, L.A., CARRACEDO, M., LARREA, F.J. & GIL IBARGUCHI, J.I. (1996): Geochemistry and tectonic environment of Volcanosedimentary rocks from the Olla de Sapo Formation (Iberian Massif, Spain). In: *Petrology and Geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts*. A volume dedicated to Professor JEAN MICHOT. Ed D. DEMAÏFFE. Univ. Libre .Bruxelles., *R. Mus. Central Africa (Tervuren)*: 277-290.
- PÉREZ-ESTAÚN, A., MARTÍNEZ-CATALÁN, J.R. & BASTIDA, F. (1991): Crustal thickening and deformation sequence in the footwall to the suture of the Variscan Belt of NW Spain. *Tectonophysics*, **191**: 243-253.

- PERKINS, W.T., PEARCE, N.J.G. & FUGE, R. (1992): Analysis of zircon by laser ablation and solution inductively coupled mass spectrometry. *J. Analytical Atomic Spectrometry*, **7**: 611-617.
- ROBERTS, M.P. & CLEMENS, J.D. (1993): Origin of high potassium, calc-alkaline, I-type granitoids. *Geology*, **21**: 825-828.
- SAMSON, S.D. & D'LEMONS, R.S. (1998): U-Pb geochronology and Sm-Nd isotopic composition of Proterozoic gneisses, Channel Islands, UK. *J. Geol. Soc.*, London, **155**: 609-618.
- SCHÄFER, H.-J., GEBAUER, D., NÄGLER, T.F. & EGUILUZ, L. (1993): Conventional and ion-microprobe U-Pb dating of detrital zircons of the Tentudia Group (Serie Negra, SW Spain): implications for zircon systematics, stratigraphy, tectonics and the Precambrian/Cambrian boundary. *Contr. Miner. Petrol.*, **113**: 289-299.
- SHAW, A., DOWNES, H. & THIRLWALL, M.F. (1993): The quartz-diorites of Limousin: Elemental and isotopic evidence for Devonian-Carboniferous subduction in the Hercynian belt of the French Massif Central. *Chem. Geol.*, **107**: 1-18.
- STRACHAN, R.A., D'LEMONS, R.S. & DALLMEYER, R.D. (1996): Neoproterozoic evolution of an active plate margin: North Armorican Massif, France. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America*, Spec. Paper, **304**: 319-332.
- VALVERDE VAQUERO, P. & DUNNING, G.R. (1997): *Magmatismo "Sárdico" Arenig en el Dominio del Olló de Sapo de la Zona Centro Ibérica: Nuevas evidencias U-Pb en la Sierra de Guadarrama*. In: XIV Reunión de Geología do Oeste Peninsular. Evolução Geológica do Maciço Ibérico e seu enquadramento continental. Comunicações. Vila Real, Portugal: 265-270.
- VAN STAAL, C.R., SULLIVAN, R.W. & WHALEN, J.B. (1996): Provenance and tectonic history of the Gander Zone in the Caledonian/Appalachian orogen: Implications for the origin and assembly of Avalon. In: *Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic*. Ed R. D. NANCE & M.D. THOMPSON. Boulder, Colorado. *Geol. Soc. America*, Spec. Paper, **304**: 347-367.
- VILLASECA, C., BARBERO, L. & ROGERS, G. (1998): Crustal origin of Hercynian peraluminous granitic batholiths of Central Spain: petrological, geochemical and isotopic (Sr, Nd) constraints. *Lithos*, **43**: 55-79.
-