

# Relación temporal entre metamorfismo y magmatismo en el macizo de Lys-Caillaouas (Pirineo Central)

*Temporal relationship between metamorphism and magmatism in the Lys-Caillaouas massif (Central Pyrenees)*

José Julián Esteban<sup>1</sup>, Aitor Aranguren<sup>1</sup>, Julia Cuevas<sup>1</sup>, Jose María Tubía<sup>1</sup>, Asier Hilario<sup>1</sup>, Alexander Larionov<sup>2</sup> y Sergey Sergeev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), apartado 644, 48080 Bilbao, España.

jj.esteban@ehu.eus, aitor.aranguren@ehu.eus, julia.cuevas@ehu.eus, jm.tubia@ehu.eus, asier\_h@yahoo.es

<sup>2</sup> Centre of Isotopic Research, VSEGEI, 199106 St. Petersburg, Russia. alexander\_larionov@vsegei.ru, sergey\_sergeev@vsegei.ru

## ABSTRACT

*Igneous and metamorphic zircons from the Lys-Caillaouas pluton have been identified according to their petrographic and geochemical characteristics. The igneous zircons constrain an age of  $300 \pm 2$  Ma for the emplacement of the pluton. By contrast, the metamorphic zircons yield a slightly older age of  $307 \pm 3$  Ma, which probably dates the thermal peak of HT/LP Variscan metamorphism. Therefore, a short time lag of ca. 7 m.y. emerges between the Variscan metamorphic climax and the synkinematic (late-Carboniferous) pluton emplacement in the Axial Zone of the Pyrenees.*

**Key-words:** Pyrenees, Axial Zone, Lys-Caillaouas pluton, U-Pb zircon SIMS, LA-ICP-MS.

## RESUMEN

*Se ha determinado la presencia de circones ígneos y metamórficos en muestras procedentes del plutón de Lys-Caillaouas mediante el análisis petrográfico y geoquímico. Los circones ígneos arrojan edades para el emplazamiento del plutón de  $300 \pm 2$  Ma. Por su parte, los circones metamórficos proporcionan una edad ligeramente más antigua que la anterior,  $307 \pm 3$  Ma, que probablemente sea el reflejo del pico térmico del metamorfismo varisco de AT/BP. A la vista de estas dataciones se puede establecer un intervalo de tiempo, de unos 7 m.a., entre el clímax del metamorfismo varisco y el emplazamiento sincinemático (tardi-Carbonífero) de este plutón en la Zona Axial del Pirineo.*

**Palabras clave:** Pirineos, Zona Axial, plutón de Lys-Caillaouas, U-Pb circón SIMS, LA-ICP-MS.

*Geogaceta*, 58 (2015), 71-74  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 30 de enero de 2015  
Fecha de revisión: 29 de abril de 2015  
Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2015

## Introducción

Los Pirineos son un orógeno alpino de colisión continental con una evolución poliorogénica. La parte central de la Zona Axial, formada principalmente por materiales paleozoicos deformados y metamorfizados durante la Orogenia Varisca, presenta varios domos metamórficos y un gran número de plutones de composición variable (granítica, gabroica...).

El plutón de Lys-Caillaouas (Fig. 1), situado entre España y Francia, aflora en uno de estos domos metamórficos. Tiene geometría elíptica, alargamiento ESE-WNW y está limitado al sur por la falla de Esera-Gistain (EGF), una falla E-W vertical. Al norte, el plutón intruye en rocas de edad cambro-orдовicica, formadas por una secuencia monótona de esquistos y cuarcitas, localmente migmatitas, con metamorfismo de alta temperatura y baja presión (AT/BP) creciente hacia el interior del domo. Su estructura es prácticamente concordante con la del plu-

tón de Lys-Caillaouas (Hilario *et al.*, 2003), que aflora en su interior. El plutón presenta una aureola metamórfica (Hilario, 2004) bien desarrollada al norte (Fig. 1).

El plutón de Lys-Caillaouas es una intrusión sincinemática con la fase transpresiva dextra D<sub>2</sub> del varisco y está constituido por tres facies principales: a) un complejo básico formado mayoritariamente por gabros, dioritas, tonalitas y cuarzodioritas, b) granitoides porfídicos en los que se incluyen tanto granitos como granodioritas, y c) leucogranitos (Fig. 1). Todas esas facies se encuentran intruidas por diques básicos subverticales de dirección NE-SW y contienen xenolitos elongados de orientación ESE-WNW de las rocas encajantes que conservan la foliación principal varisca S<sub>2</sub>. Los contactos entre las dos primeras facies son primarios, de carácter magmático, tal como queda evidenciado por la presencia de estructuras de *mingling* y *mixing*. Los leucogranitos forman un enjambre de diques.

La edad de emplazamiento de estas tres

facies actualmente no se encuentra bien definida. Los datos geocronológicos de los que se dispone se limitan únicamente a dos isocronas Rb-Sr y a una edad K-Ar obtenidas por Majoor (1988), para los granitoides porfídicos, leucogranitos y diques básicos, respectivamente. Las edades obtenidas arrojan valores de  $350 \pm 14$  Ma,  $291 \pm 6$  Ma y  $281 \pm 7$  Ma que indican un emplazamiento varisco diacrónico (Majoor, 1988). Sin embargo, estas edades contrastan con datos más recientes obtenidos en el Pirineo Central, que abogan por un rango de edad entre 315 y 300 Ma, para el emplazamiento de la mayor parte de estos plutones (Romer y Soler, 1995; Paquette *et al.*, 1997; Roberts *et al.*, 2000; Ternet *et al.*, 2004; Gleizes *et al.*, 2006; Olivier *et al.*, 2008; Denèle *et al.*, 2014).

En este trabajo presentamos, nuevos datos sobre la edad de emplazamiento de las dos facies principales que conforman el plutón de Lys-Caillaouas. Además, se discute la relación temporal entre el metamor-

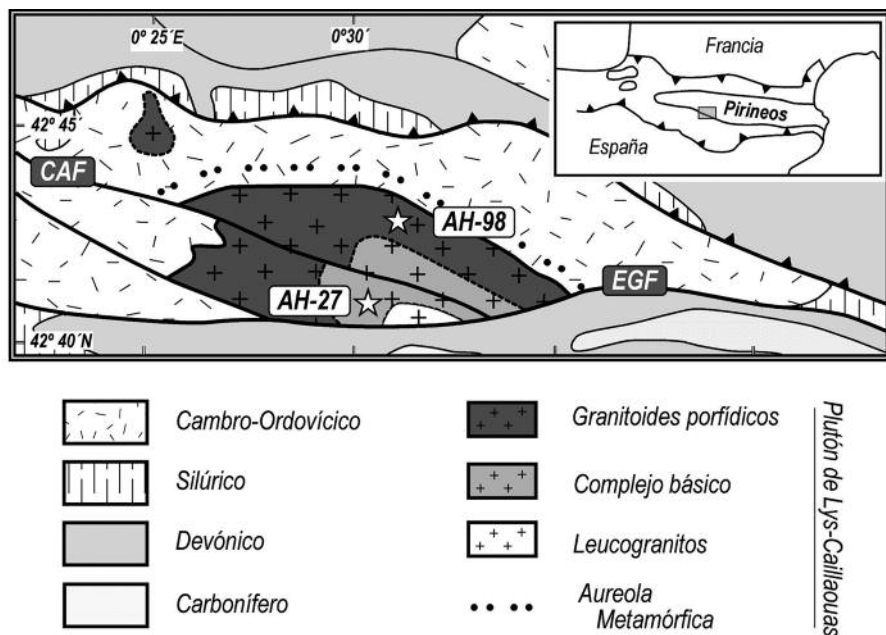


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado y localización de las muestras datadas en el plutón de Lys-Caillaouas (modificado de Clin *et al.*, 1989 e Hilario, 2004). EGF: Falla de Esera-Gistain, CAF: Falla de Caillaouas.

Fig. 1.- Geological simplified map and location of the dated samples from the Lys-Caillaouas pluton (modified from Clin *et al.*, 1989 and Hilario, 2004). EGF: Esera-Gistain fault, CAF: Caillaouas fault.

fismo regional y el emplazamiento del plutón, con la ayuda de los datos geocronológicos y geoquímicos de circones.

**U-Pb SIMS**

Con el objeto de determinar la edad del emplazamiento del plutón de Lys-Caillaouas se procedió a 1) la obtención de circones mediante técnicas convencionales de separación mineral en una muestra del complejo básico (AH-27) y en otra de un granito porfídico (AH-98) y 2) su posterior análisis mediante microsonda iónica (SHRIMP-II SIMS) en el "Centre of Isotopic Research" de San Petersburgo (Rusia). Los resultados se muestran en la Tabla I.

El análisis morfológico realizado ópticamente, por catodoluminiscencia y electrones retrodispersados, de los circones de ambas muestras permite identificar la presencia de cristales de hábitos tanto prismáticos como bipiramidales (Fig. 2). Los circones prismáticos presentan características ígneas, tales como morfologías idiomórficas, zonados oscilatorios de crecimiento, ausencia de núcleos heredados y relaciones Th/U con valores entre 0,7 y 1. Se han realizado nueve (AH-27) y ocho (AH-98) análisis, obteniéndose edades Concordia de  $299 \pm 1$  ( $2\sigma$ ) y  $300 \pm 2$  ( $2\sigma$ ) Ma, respectivamente para cada una de las muestras (Fig. 2). La

edad Concordia conjunta de  $300 \pm 2$  ( $2\sigma$ ) Ma, refuerza la coetaneidad del emplazamiento de ambas facies.

Los circones bipiramidales (Fig. 2) muestran zonados composicionales y estructuras más complejas que los prismáticos. Tienen núcleos heredados corroídos y redondeados, donde son visibles zonados en sector, "fir tree", irregulares e incluso parcheados, rodeados por bordes débilmente oscilatorios o poco luminiscentes. También se pueden encontrar circones bipiramidales carentes de núcleos, donde son comunes los zonados oscilatorios y en sector. Se realizaron cuatro (AH-27) y seis (AH-98) análisis en este tipo de circones, evitando las zonas centrales o de núcleo. Ambas muestras proporcionan una edad ponderada de  $307 \pm 2$  (95% nivel de confianza) Ma. Los valores de Th/U de la muestra AH-27, inferiores a 0,08 son consistentes con un origen metamórfico, mientras que la dispersión en los valores de la muestra AH-98 (Th/U), podría implicar la presencia tanto de circones ígneos como meta-

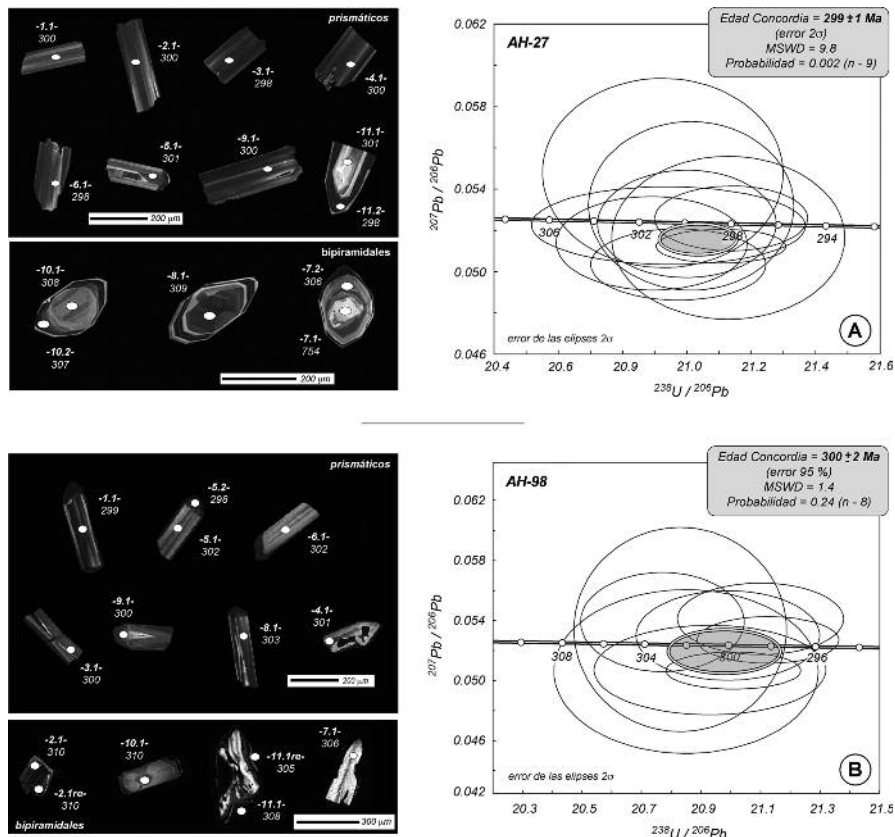


Fig. 2.- Imágenes de catodoluminiscencia y diagramas Tera-Wasserburg de los circones analizados. A) Muestra (AH-27) del complejo básico. B) Muestra (AH-98) de granito porfídico.

Fig. 2.- Cathodoluminescence images and Tera-Wasserburg plot of studied zircons. A) Sample (AH-27) of the basic complex. B) Sample (AH-98) of the porphyritic granite.

Punto	Info	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U (ppm)	Th (ppm)	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}$ *(ppm)	$^{(1)} \frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ Edad (Ma)	$^{(1)} \frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ Edad (Ma)	Dis. (%)	$^{(1)} \frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm$ (%)	$^{(1)} \frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm$ (%)	err, corr,
AH-27 - Cuarzodiorita														
AH-27-3.1	p / zo,	—	1471	1188	0,83	59,8	<b>298 ± 1,3</b>	311 ± 29	4	21,136	0,46	0,05258	1,3	0,346
AH-27-6.1	p / zo	—	388	226	0,60	15,7	<b>298,1 ± 2</b>	267 ± 72	-11	21,13	0,7	0,0516	3,1	0,218
AH-27-11.2	p / zo	0,01	3259	2189	0,69	133	<b>298,4 ± 1,1</b>	252 ± 15	-16	21,107	0,39	0,05124	0,65	0,511
AH-27-4.1	p / zo	—	793	577	0,75	32,3	<b>299,7 ± 1,8</b>	337 ± 71	13	21,02	0,62	0,0532	3,1	0,195
AH-27-2.1	p / zo	—	931	736	0,82	38	<b>299,9 ± 1,6</b>	299 ± 47	0	21	0,54	0,0523	2,1	0,252
AH-27-1.1	p / zo	0,00	911	757	0,86	37,3	<b>300,2 ± 1,5</b>	211 ± 32	-30	20,97	0,53	0,05035	1,4	0,356
AH-27-9.1	p / zo	—	1150	956	0,86	47,1	<b>300,7 ± 2,4</b>	296 ± 33	-2	20,94	0,83	0,05224	1,4	0,499
AH-27-11.1	p / zo	—	216	159	0,76	8,82	<b>300,9 ± 2,2</b>	405 ± 75	35	20,93	0,73	0,0548	3,4	0,213
AH-27-5.1	p / zo	—	757	556	0,76	31,1	<b>301,4 ± 1,7</b>	258 ± 41	-15	20,89	0,58	0,05137	1,8	0,314
AH-27-7.2	bi / zo	—	433	22	0,05	18	306,1 ± 1,7	283 ± 45	-7	20,57	0,58	0,052	2	0,281
AH-27-10.2	bi / zo	0,00	707	32	0,05	29,6	306,6 ± 1,5	232 ± 30	-24	20,53	0,49	0,0508	1,3	0,350
AH-27-10.1	bi / zo	0,08	296	23	0,08	12,4	307,5 ± 1,9	282 ± 48	-8	20,47	0,63	0,0519	2,1	0,289
AH-27-8.1	bi / zs	0,07	1028	78	0,08	43,4	308,8 ± 1,4	213 ± 29	-31	20,38	0,46	0,05039	1,2	0,343
AH-27-7.1	bi / zs-nx	0,47	60	19	0,32	6,43	754,2 ± 8	522 ± 130	-31	8,054	1,1	0,0578	5,7	0,192
AH-98 - Granodiorita														
AH-98-5.2	p / zo / bl	0,05	957	63	0,07	38,9	<b>298,2 ± 1,3</b>	316 ± 28	6	21,125	0,46	0,05271	1,2	0,350
AH-98-1.1	p / zo	—	788	705	0,93	32,1	<b>298,5 ± 1,6</b>	376 ± 41	26	21,1	0,54	0,05411	1,8	0,288
AH-98-9.1	p / zo / bl	0,03	1260	409	0,33	51,6	<b>299,8 ± 1,3</b>	226 ± 24	-25	21,009	0,44	0,05067	1	0,387
AH-98-3.1	p / zo	—	487	462	0,98	19,9	<b>300,1 ± 1,8</b>	329 ± 51	10	20,99	0,6	0,053	2,3	0,257
AH-98-4.1	p / zo	0,13	304	249	0,84	12,5	<b>300,8 ± 2,2</b>	225 ± 56	-25	20,93	0,76	0,0507	2,4	0,300
AH-98-6.1	p / zo	0,55	194	160	0,85	8,05	<b>302 ± 2,6</b>	223 ± 100	-26	20,85	0,87	0,0506	4,4	0,191
AH-98-5.1	p / zo	2,03	298	253	0,88	12,5	<b>302,1 ± 2,1</b>	347 ± 120	15	20,83	0,7	0,0534	5,2	0,134
AH-98-8.1	p / zo	—	533	371	0,72	22	<b>303,2 ± 1,6</b>	368 ± 57	21	20,77	0,54	0,0539	2,5	0,211
AH-98-11.1RE	b / zo / bl	0,07	1418	77	0,06	59,1	305,2 ± 1,3	248 ± 26	-19	20,623	0,43	0,05116	1,1	0,355
AH-98-7.1	bi / zo	0,48	146	142	1,00	6,13	306,1 ± 2,5	321 ± 90	5	20,56	0,85	0,0528	4	0,208
AH-98-11.1	b / zo / bl	—	833	33	0,04	35	307,8 ± 1,4	262 ± 33	-15	20,446	0,48	0,05147	1,4	0,315
AH-98-2.1RE	bi / oz	0,00	791	989	1,29	33,5	309,9 ± 1,4	241 ± 29	-22	20,305	0,48	0,05101	1,3	0,355
AH-98-2.1	bi / zs	—	1048	143	0,14	44,3	310,1 ± 1,7	343 ± 32	11	20,29	0,55	0,05333	1,4	0,358
AH-98-10.1	bi / zs	—	221	134	0,63	9,28	310,2 ± 4,5	386 ± 170	25	20,29	1,5	0,0544	7,7	0,191

Tabla I.- Datos isotópicos U-Pb SHRIMP de los circones analizados. Los errores son  $1\sigma$ ;  $\text{Pb}_c$  y  $\text{Pb}^*$  indican las concentraciones de Pb común y radiogénico, respectivamente. El error de la calibración estándar fue de 0,18.  $^{(1)}$  Pb común corregido mediante el  $^{204}\text{Pb}$  analizado (p: prismático; bi: bipyramidal; zo: zonado oscilatorio; zs: zonado en sector; b: borde; bl: baja luminiscencia; nx: núcleo xenomórfico).

Table I.- SHRIMP U-Pb isotopic data of analyzed zircons. Errors are  $1\sigma$ ;  $\text{Pb}_c$  and  $\text{Pb}^*$  indicate the common and radiogenic portions, respectively. Error in standard calibration was 0.18.  $^{(1)}$  Common Pb corrected using measured  $^{204}\text{Pb}$  (p: prismatic; bi: bipyramidal; zo: oscillatory zoning; zs: sector zoning; b: rim; bl: low luminescence; nx: xenomorphic core).

mórficos. Por lo tanto, y teniendo en cuenta que ambas muestras presentan la misma edad de cristalización de los circones ígneos, que el plutón está asociado a un domo gnéisico, que el metamorfismo varisco está datado en ca. 305 Ma (Vielzeuf, 1996) y que ambas facies están caracterizadas por la presencia de xenolitos de la roca caja que conservan la foliación principal regional, interpretamos que la edad de 307 Ma marcaría el pico térmico del metamorfismo varisco de AT/BP asociado a la formación del domo metamórfico, durante el Westfaliense, antes del emplazamiento del plutón.

## REE –LA-ICP-MS-

Se han analizado más de 100 cristales tanto prismáticos como bipyramidales, de

circones de las muestras AH-98 y AH-27 mediante LA-ICP-MS en el Servicio de Geocronología de la Universidad del País Vasco. Algunos de los análisis se han descartado ya que no correspondían a composiciones prístinas, posiblemente por la presencia de inclusiones, fracturas o bien debido a la existencia de zonaciones composicionales (bordes, núcleos). Desde el punto de vista geoquímico los cristales prismáticos presentan relaciones Th/U mayores de 0,25, que contrastan con la menor relación Th/U de los bipyramidales, en torno a 0,1 (Fig. 3). En este sentido y debido a que la naturaleza ígnea o metamórfica de los circones en ocasiones puede ser reconocida por su relación Th/U (p. ej., Hoskin y Schaltegger, 2003), podríamos encontrarnos ante circones ígneos y metamórficos, respectivamente. De igual forma en el diagrama Th/U

vs Hf (Fig. 3A), se puede observar cómo el contenido en Hf decrece a medida que la relación Th/U se incrementa, .

Los valores de REE normalizados, frente al condrito C1 de Sun y McDonough (1989), de los circones están altamente enriquecidos en HREE mostrando una importante fracción desde el La al Yb, con dos prominentes anomalías en Ce (positiva) y Eu (negativa), comunes en circones. Los diagramas normalizados para ambas poblaciones se superponen, aunque se observa una menor variación en el contenido de REE en los prismáticos. El diagrama U/Ce vs Th/U también puede utilizarse como diferenciador de los circones analizados (Castiñeiras *et al.*, 2011); así mientras que los originados de fundidos magmáticos (bipyramidales) muestran una escasa variación en las relaciones U/Ce a medida que la relación

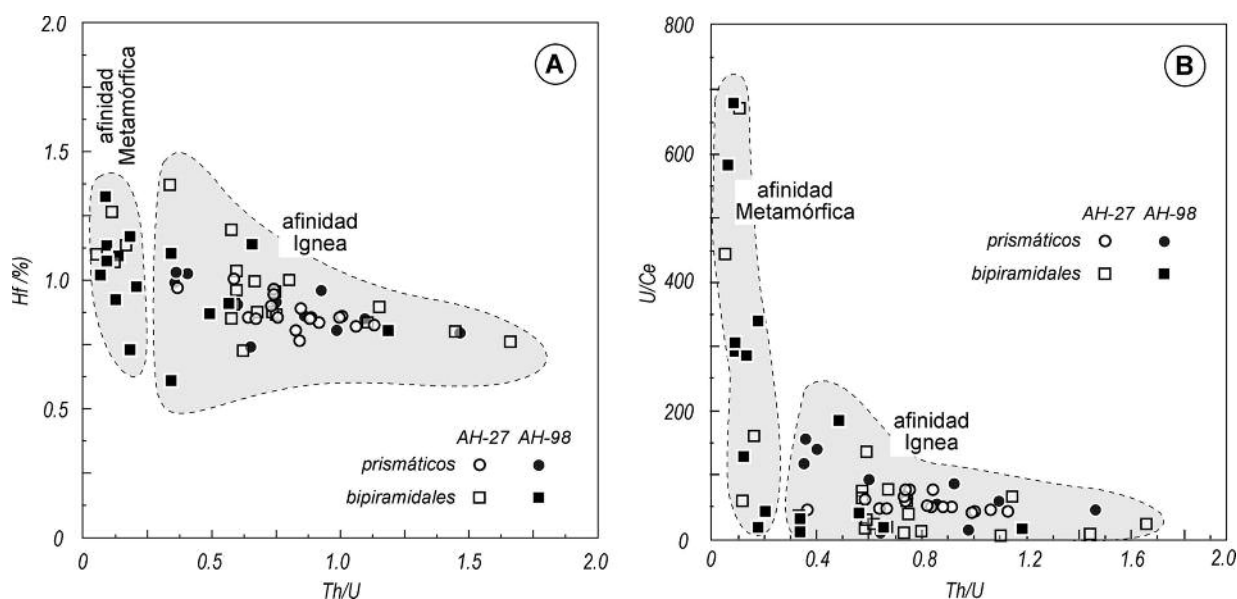


Fig. 3.- Diagramas composicionales de los circones analizados atendiendo a su morfología. A) Hf vs Th/U. B) U/Ce vs Th/U.

Fig. 3.- Compositional diagrams of analysed zircons according to their morphology. A) Hf versus Th/U. B) U/Ce versus Th/U.

Th/U se modifica, aquellos producidos en condiciones metamórficas (prismáticos) se enriquecen en U debido al aumento del contenido en agua (Fig. 3B). De igual forma, en otros diagramas como Th/U vs Yb/Gd (no mostrados en este trabajo) los circones muestran evoluciones diferentes: una asintótica, propia de los circones cristalizados en un magma y otra vertical, característica de circones formados en condiciones metamórficas. Estas evidencias confirman al menos la presencia de dos poblaciones diferentes de circones: ígneos y metamórficos; si bien estos últimos podrían haberse desarrollado en condiciones de anatexis, tal como indica la presencia de zonados de crecimiento.

## Conclusiones

1) La edad máxima para el emplazamiento del plutón de Lys-Caillouas se data en  $300 \pm 2$  Ma (Carbonífero superior - Pérmico inferior)

2) La obtención de edades Concordia idénticas tanto para el complejo básico como para los granitos porfídicos confirma la coetaneidad del emplazamiento de ambas facies.

3) La presencia de circones con afinidades metamórficas en ambas muestras sugiere una incompleta asimilación de los circones derivados de los protolitos del plutón de Lys-Caillouas y reabre la posibilidad de datar el metamorfismo o la formación del

domo gneísico. La edad obtenida de ca. 307 Ma, puede ser una buena aproximación.

4) Los datos geocronológicos apuntan a la existencia de un intervalo de tiempo, en torno a 7 m.a., entre el clímax del metamorfismo varisco de AT/BP y el emplazamiento sincinemático (tardi-Carbonífero) de estos granitos en niveles intermedios de la corteza.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2010-14869 y CGL2011-23755 del Ministerio de Ciencia e Innovación y EHUA13/03 de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Agradecemos la revisión de los Drs. P. Castiñeiras y E. Arranz que han contribuido a la mejora del manuscrito.

## Referencias

- Castiñeiras, P., Navidad M., Casas, J.M., Liesa, M. y Carreras, J. (2011). *The Journal of Geology* 119, 521-534.
- Clin, M., Taillefer, F., Pouchan, P. y Muller, A. (1989). *Carte géologique de la France (1/50000), Bagnères de Luchon (1084)*. BRGM, Orléans.
- Denèle, Y., Laumonier, B., Paquette, J.-L., Olivier, P., Gleizes, G. y Barbey, Y.P. (2014). En: *The Variscan Orogeny: Extent, Timescale and the Formation of the European Crust* (K. Schulmann, J.R. Martínez Catalán, J.M. Lardeaux, V. Janousek y G. Oggiano, Eds.). Geological Society, London, Special Publication 405, 265-287.

Gleizes, G., Crevon, G., Asrat, A. y Barbey, P. (2006). *International Journal of Earth Sciences* 95, 1039-1052.

Hilario, A. (2004). *Relación entre magmatismo y deformación en la transversal de Benasque a Luchon (Zona Axial del Pirineo)*. Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco, 300 p.

Hilario, A., Aranguren, A., Tubía, J.M. y Pinotti, L. (2003). *Geogaceta* 34, 51-54.

Hoskin, P.W.O. y Schaltegger, U. (2003). *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53, 27-55.

Majoor, F.J.M. (1988). *A geochronological study of the axial zone of the central Pyrenees, with emphasis on variscan events and alpine re-setting*. Verhandeling 6, Zwo Laboratorium voor Isotopen-Geologia, Amsterdam, 117 p.

Olivier, P., Gleizes, G., Paquette, J.-L. y Muñoz Sáez, C. (2008). *Journal of the Geological Society, London* 165, 141-152.

Paquette, J.-L., Gleizes, G., Leblanc, D. y Bouchez, J.-L. (1997). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 324, 387-392.

Roberts, M.P., Pin, C., Clemens, J.D. y Paquette, J.-L. (2000). *Journal of Petrology* 41, 809-844.

Romer, R.F. y Soler, A. (1995). *Mineralium Deposita* 30, 374-383.

Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989). En: *Magmatism in the Ocean Basins* (S.S. Sun y W.F. McDonough, Eds.). Geological Society, London, Special Publications 42, 313-345.

Ternet, Y., Majesté-Menjoullàs, C., Canérot, J., Baudin, T., Cochérie, A., Guerrot, C. y Rossi, P. (2004). *Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50000), feuille Laruns-Somport (1069)*. BRGM, Orléans.

Vielzeuf, D. (1996). En: *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées* (A. Barnolas, y J.C. Chiron, Eds.) BRGM-ITGE, vol. 1, 568-576.