



## ESTUDIO COMPARADO DE CIRCOS GLACIARES EN DOS SECTORES DEL MACIZO ASTURIANO

*Comparing glacial cirques in two sectors of the Asturian Massif*

J. Ruiz Fernández(1), M. Á. Poblete Piedrabuena(1), M. P. Serrano Muela(2),  
C. Martí Bono(2) y J. M. García Ruiz(2)

(1) *Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Campus del Milán,  
c/Tte. Alfonso Martínez, s/n, 33011 Oviedo*

(2) *Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Campus de Aula Dei, Apartado 13034, 50080 Zaragoza  
ruizjesus@uniovi.es*

**Resumen:** Se estudia la forma y el tamaño de los circos glaciares en dos sectores del Macizo Asturiano: el Macizo Occidental de los Picos de Europa y las sierras del Suroccidente de Asturias. El primero está constituido fundamentalmente por calizas y un relieve muy escarpado, mientras las segundas se han desarrollado sobre cuarcitas y pizarras paleozoicas, dando lugar a un relieve menos contrastado. De los análisis morfométricos realizados se deduce que los factores geoambientales (altitud, exposición, litología) apenas tienen importancia a la hora de explicar la variabilidad de forma y tamaño de los circos glaciares en el Macizo Occidental de los Picos de Europa, donde parece tener mayor relevancia el dispositivo estructural y la compartimentación del relieve producida por la karstificación. En cambio, en las sierras del Suroccidente de Asturias los circos glaciares aumentan significativamente su superficie, longitud y anchura a medida que lo hace la altitud, mientras el desnivel lo hace siguiendo una progresión más lenta.

**Palabras clave:** circos glaciares, erosión glacial, crecimiento alométrico, morfometría de circos, clasificación de circos, Macizo Asturiano.

**Abstract:** Shape and size of glacial cirques are studied in two sectors of the Asturian Massif (the Western Massif of Picos de Europa and the sierras of Southwest Asturias). The former is basically composed of limestones, with a craggy relief, whereas the latter ones are composed of quartzites and shales, determining a less contrasted relief. The morphometric analyses carried out allow us to conclude that the geo-environmental factors (altitude, aspect, lithology) have a scarce influence on the shape and size variability of glacial cirques in the Western Massif of the Picos de Europa, due to the great influence of the structural pattern and the karstic development of the relief. On the opposite, glacial cirques increase significantly their size, length and width when altitude also grows in the sierras of Southwest Asturias.

**Keywords:** glacial cirques, glacial erosion, allometry, cirque morphometry, cirque classification, Asturian Massif.



J. Ruiz Fernández, M. Á. Poblete Piedrabuena, M. P. Serrano Muela, C. Martí Bono & J. M. García Ruiz (2009). Estudio comparado de circos glaciares en dos sectores del Macizo Asturiano. *Rev. C. & G.*, 23 (1-2), 77-94.

## 1. Introducción

Los circos son una de las formas erosivas más características del relieve glaciar. Constituyen depresiones semicirculares abiertas ladera abajo con paredes rocosas de gran inclinación y fondo tendido, que han sido excavadas por la acción del hielo glaciar. Su forma en planta es arqueada, su longitud y anchura están comprendidas generalmente entre centenares de metros y unos pocos kilómetros, y suelen enlazar con los valles por medio de umbrales (Trenhaile, 1975; Federici y Spagnolo, 2004; Evans, 2004; Glasser y Bennett, 2004).

El estudio de los circos y de las variables morfométricas que explican su formación y desarrollo es un tema recurrente dentro de la geomorfología glaciar. Destacan, entre otros, los trabajos de Trenhaile (1975) en Canadá, Aniya y Welch (1981) en la Antártida, Rapp (1984), Vilborg (1984) y Rudberg (1984) en Suecia, Embleton y Hamann (1988) entre los Alpes austriacos y las Highlands, Evans y Cox (1995) en el Lake District (Inglaterra), Davis (1999) en la Presidential Range (Estados Unidos), Federici y Spagnolo (2004) en los Alpes Marítimos (Italia-Francia), Evans (2006) en Gales y Hughes *et al.* (2007) en Grecia. En España Alonso (1994) realizó un estudio morfométrico de circos en las cabeceras de los ríos Narcea, Ibias y Sil (Cordillera Cantábrica), mientras que García-Ruiz *et al.* (2000) estudiaron los circos glaciares de los altos valles de los ríos Gállego y Aragón (Pirineo central). Muchos de estos estudios han demostrado la influencia relevante de la litología, la orientación y la altitud en la forma y el tamaño de los circos glaciares. En otros trabajos la resistencia del sustrato y la intensidad y duración de la glaciación explican muchas de las variaciones existentes entre los circos.

Los objetivos de este estudio son: 1) analizar y comparar las características morfométricas y la distribución espacial de los circos glaciares de dos áreas montañosas del Macizo Asturiano con grandes diferencias altitudinales y litológicas; 2) efectuar una clasificación morfológica de dichos circos; 3) determinar el peso de factores geoambientales como la litología, la orientación y la altitud en la morfometría de los circos.

## 2. Áreas de estudio

Las áreas de estudio seleccionadas son el Macizo Occidental de los Picos de Europa (E de Asturias – NE de León), y las sierras de Cazarnoso, Muniellos, Caniellas, Campetona, Degaña (sólo su vertiente septentrional) y La Zarza (Suroccidente de Asturias) (Fig. 1).

Los Picos de Europa constituyen el techo altitudinal del Macizo Asturiano y de la Cordillera Cantábrica (Torrecerredo, 2.648 m). Están organizados en tres macizos separados entre sí por profundas gargantas (Macizo Occidental o del Cornión, Macizo Central o de los Urrieles y Macizo Oriental o de Ándara), siendo el Macizo Occidental el segundo en altitud al alcanzar los 2.596 m en la cumbre de Peña Santa. Otras cimas significativas de este macizo son la Torre Santa María (2.486 m), las Torres del Torco (2.452 m), la Torre Bermeja (2.400 m), la Torre del alba (2.390 m), el Tiro de la Llera (2.289 m), etc. Los Picos de Europa están compuestos casi exclusivamente por calizas del Carbonífero Superior (Calizas de Montaña y Calizas de la Formación “Picos de Europa”), aunque en sus extremos septentrional y meridional también afloran otros materiales del zócalo paleozoico como cuarcitas, areniscas, pizarras y conglomerados (Julivert, 1983; Marquín, 1989). Las calizas se disponen en sucesivas escalas cabalgantes de rumbo aproximado E-O y fuerte vergencia Sur, lo que provoca la repetición de dichos materiales, que se organizan en una serie sucesiva de dorsos de fuerte pendiente hacia el Norte y abruptos frentes hacia el Sur (Frochoso y Castañón, 1986) (Fig. 2). Este armazón morfoestructural ha sido profundamente transformado por la erosión fluvial y torrencial, el glaciario cuaternario, los procesos kársticos y/o glaciokársticos y la activa morfodinámica periglacial existente actualmente en la alta montaña vinculada al frío y la nieve.

Las sierras del Suroccidente de Asturias se localizan en la cuenca superior del río Narcea, enclavada en el borde occidental del Macizo Asturiano. Las altitudes de dichas sierras son más modestas que en el Macizo Occidental de los Picos de Europa, oscilando entre los 1.418 m que se alcanzan en el sector más bajo de la culminación de la Sierra de Cazarnoso y los 2.002 m de la cumbre



Figura 1. Localización de las áreas de estudio.  
 Figure 1. Location of the study areas.

del Cueto Arbás. Otras cimas destacadas son Caniellas (1.921 m), el Alto Roguero (1.908 m), los Altos del Morteiro (1.876 m), el Pico del Fraile (1.875 m), el Cuerno de Changuero (1.866 m), la Candanosa (1.676 m), etc. El sustrato rocoso está compuesto fundamentalmente por cuarcitas, pizarras y areniscas de edad cambro-ordovícica, y en menor medida por areniscas y pizarras precámbricas, calizas y dolomías cámbricas, así como pizarras, areniscas, conglomerados y capas de carbón del Estefaniense que se apoyan discordantemente

sobre el resto de materiales (Muñoz Jiménez, 1982; Julivert, 1983). La desigual resistencia ante los agentes erosivos de las capas de areniscas, pizarras y cuarcitas ha supuesto que el relieve muestre rasgos pseudoapalachenses. Finalmente, destaca la existencia de frecuentes retazos de superficies erosivas precuaternarias (García De Celis, 1997), un intenso modelado fluvial y torrencial, así como abundantes formas y depósitos glaciares y periglaciares heredados, sobresaliendo especialmente la presencia de glaciares rocosos relictos (Alonso, 1989).

### 3. Algunas características de la evolución glacial

Pese a que el estudio del glaciario que afectó a los Picos de Europa suscitó pronto el interés de los investigadores, aún existen importantes controversias y posturas divergentes, especialmente en lo relativo a la evolución glacial. Obermaier (1914) planteó la existencia de al menos dos glaciaciones, basándose en la observación en el valle del Duje de unas brechas calcáreas denominadas *gonfolitas*, que presentan a techo huellas de excavación o sedimentación glacial e incluso han sido incorporadas al material morrénico. Este autor interpretó que dichas brechas fueron depositadas también sobre sustrato calcáreo pulido por el hielo glacial, de ahí su hipótesis. De igual modo, Flor y Bailón-Misioné (1989) defienden la existencia en los Puertos de Áliva de una fase glacial antigua de mayor intensidad que la würmiense de la que no quedan restos sedimentarios, pues habrían sido desmantelados en una etapa posterior de intensa actividad fluvial. Según Smart (1984) y Gale y Hoare (1997) existió una glaciación finiterciaria o de comienzos del Cuaternario, basándose en el relleno de cavidades

endokársticas y en la tasa de incisión de la Garganta del río Urdón, obtenida mediante la datación de espeleotemas.

En cambio, Frochoso y Castañón (1986) argumentan la existencia de una única glaciación comprobada de carácter reciente (Würm), apoyándose en la secuencia morfoclimática que se desprende del estudio de las *gonfolitas*. Posteriormente estos mismos autores dataron las *gonfolitas* mediante el método Uranio-Torio, obteniendo una edad de  $192.7 \pm 31.9/-23.3$  Ka para la base de origen torrencial de dichas brechas y de  $79.1 \pm 7.3/-6.6$  Ka y  $55.4 \pm 3.0/-3.0$  Ka (Würm antiguo), para las gravas periglaciares que componen la parte superior. En consecuencia, según Castañón y Frochoso (1998), durante las fases previas al Último Máximo Glaciar en el valle del Duje únicamente se generaron depósitos de tipo torrencial y periglacial. Finalmente, según las interpretaciones de Serrano y González-Trueba (2002) y González-Trueba (2007) en el Macizo Central, en los Picos de Europa se pueden diferenciar 4 episodios glaciares, correspondientes al Último Máximo Glaciar y sus etapas de retroceso: Pleniglacial máximo, Pleniglacial estable,



Figura 2. Organización morfoestructural característica de los Picos de Europa, con dorsos de fuerte pendiente hacia el N y abruptos frentes hacia el Sur. Dicha organización condiciona el desnivel de los circos glaciares, que es superior en las orientaciones de componente Sur.

Figure 2. Morphostructural organization characterizing Picos de Europa, with its steep slopes to the North and abrupt scarps to the South. This organization determines the unevenness of the glacial cirques, which is more evident in the south facing formations.

Finiglaciario y Tardiglaciario. Más recientemente, en concreto durante la Pequeña Edad del Hielo, existieron pequeños glaciares de fondo de circo.

Muy importante es el trabajo de Jiménez y Farias (2002), en el que se evidencia una antigüedad superior a 18.000 años BP para el Último Máximo Glaciario, debido a una datación radiocarbónica de  $40.480 \pm 820$  años BP efectuada en los depósitos proglaciares sincrónicos al máximo glaciario del polje de Comella (Macizo Occidental de los Picos de Europa), y otra obtenida en un cono torrencial obturado por una morrena lateral en el Parque Natural de Redes ( $28.990 \pm 230$  años BP). Recientemente, Moreno *et al.* (en prensa) han estudiado los sedimentos depositados en el Lago de Enol, también en el Macizo Occidental de Picos de Europa, cuya base se ha datado en 38.000 años BP. Hasta hace 26.000 años el lago funcionó como una cubeta proglaciario, próxima al frente glaciario, y después como una cubeta glaciolacustre, a medida que el glaciario retrocedía hacia la cabecera.

Finalmente, en el ámbito del Suroccidente de Asturias y el Occidente de León destacan los trabajos precursores de Stickel (1929), Nussbaum y Gigax (1953) y Vidal (1957 y 1958), identificando depósitos glaciares y fluvio-glaciares en diversos valles. Alonso (1998) establece 4 etapas glaciares de edad indeterminada, aunque relacionadas con el máximo würmiense y diversos estadios de retroceso: fase de máxima extensión; fase de retroceso con pequeños reavances; fase de retroceso generalizado con desaparición de los glaciares salvo en los ámbitos más favorables; y fase de glaciares rocosos, que podrían haber coexistido con pequeños glaciares de circo en las áreas más elevadas. Por su parte García De Celis y Martínez (2002) identifican también 4 fases que atribuyen a la glaciación Würm: fase de máximo glaciario, tras la que hubo un pequeño retroceso seguido de una prolongada estabilización; fase de retroceso importante con disyunción de lenguas; fase de glaciares de circo; y etapa residual con pequeñas masas de hielo en los circos más altos.

#### 4. Métodos

Un total de 129 circos glaciares fueron identificados mediante fotointerpretación y trabajo de

campo. De ellos 59 corresponden al Macizo Occidental de los Picos de Europa y los 70 restantes a las sierras del Suroccidente de Asturias. Las fotografías aéreas utilizadas pertenecen al vuelo realizado en septiembre de 2003 por el Principado de Asturias. Para obtener los valores morfométricos básicos de los circos se han usado las hojas del mapa topográfico del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:25.000 de Inguanzo (nº 55-II), Caín (nº 55-IV), Seroiro (nº 75-III), Gedrez (nº 75-IV), Sorrodiles de Cibeá (nº 76-III), Villares de Abajo (nº 100-I), Degaña (nº 100-II) y Caboalles de Abajo (nº 101-I). Para la litología se han manejado las hojas del mapa geológico del Instituto Geológico y Minero de España a escala 1:50.000 de Beleño (nº 55), Gedrez (nº 75), Pola de Somiedo (nº 76), Degaña (nº 100) y Villablino (nº 101).

Los parámetros morfométricos básicos que se han calculado son: altitud máxima de la divisoria situada inmediatamente por encima del circo glaciario ( $Al_{max}$ ); altitud mínima del circo en su zona frontal ( $Al_{min}$ ); altitud media ( $Al_{media}$ ); diferencia entre la altitud máxima y mínima o desnivel de cada circo ( $D$ ); longitud ( $L$ ), medida entre el punto donde se ha obtenido la altitud mínima y la pared del circo; anchura o máxima distancia entre las paredes del circo ( $A$ ) obtenida de forma transversal a la longitud; área de cada circo en hectáreas ( $Ar$ ); orientación ( $Or$ ); litología ( $Lt$ ). A partir de las variables anteriores se han obtenido los siguientes parámetros morfométricos derivados: relación entre la longitud y la anchura ( $L/A$ ); relación entre la longitud y el desnivel ( $L/D$ ); relación entre la anchura y el desnivel ( $A/D$ ).

Respecto a la orientación, al igual que en los trabajos de García-Ruiz *et al.* (2000) y Federici y Spagnolo (2004), se han considerado ocho clases de 45° cada una (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW). En el caso de la litología se han diferenciado 7 categorías: pizarras y areniscas (Precámbrico y Estefaniense), areniscas (Cámbrico), dolomías y calizas (Cámbrico), cuarcitas (Cámbrico-Ordovícico), pizarras (Ordovícico), calizas (Carbonífero) y calizas y pizarras (Estefaniense).

Las variables morfométricas obtenidas se han introducido en una base de datos (SPSS 13.0) con la que se han llevado a cabo (1) análisis de regresión con el fin de determinar el peso de algunos factores geoambientales (altitud, orientación y lito-

logía, como variables independientes) sobre las características morfométricas de los circos glaciares (variables dependientes), (2) análisis de clasificación jerárquica en conglomerados (CLUSTER), (3) análisis multivariantes de correlación, y (4) análisis de varianza (ANOVAS).

## 5. Resultados

### 5.1. Rasgos básicos de los circos glaciares estudiados

En el Macizo Occidental de los Picos de Europa la altitud máxima de los circos glaciares está comprendida entre 1.624 y 2.596 m, con una media de 2.224 m. La altitud mínima oscila entre 1.431 y 2.240 m, registrándose una media de 1.930 m. La altitud media de los circos es de 2.077 m. En cuanto a la orientación, la N tiene un peso sensiblemente mayor (39 %), seguida por la NE (18,6 %), la S (11,9 %), la NW (10,2 %), las orientaciones SW y W (5,1 % en ambos casos) y la SE (3,4 %). Por lo que respecta a la litología, el 96,6 % de los circos se han labrado sobre calizas carboníferas y solamente dos (3,4 %) se han formado sobre calizas y pizarras.

En las sierras del Suroccidente de Asturias la  $Al_{max}$  oscila entre 1.447 m y 2.002 m, con una media de 1.745 m. La  $Al_{min}$  está comprendida entre 1.300 y 1.680 m, obteniéndose en este caso un valor medio de 1.490 m; mientras que la  $Al_{media}$  es de 1.618 m. Con respecto a la orientación, predomina especialmente la N (51,4 %), seguida de la NE (21,4 %) y la E (15,7 %). Los circos orientados al S y SE están escasamente representados, destacando además la ausencia de orientaciones SW y W. En cuanto a la litología, el 68,6 % de los circos se han labrado sobre cuarcitas, el 20 % sobre areniscas, el 8,6 % sobre pizarras/areniscas, el 1,4 % sobre pizarras y el 1,4% restante sobre calizas y dolomías/cuarcitas (Fig. 3).

### 5.2. Características morfométricas de los circos glaciares

En el Macizo Occidental de los Picos de Europa los circos glaciares presentan una anchura media de 466,5 y una longitud media de 294,9 m, de ahí que su superficie media sea de sólo 11 ha (Tabla 1). El índice  $L/A$  alcanza un valor de 0,78, por lo que en general los circos son algo más anchos que largos; el índice  $L/D$ , es decir, la relación entre la lon-

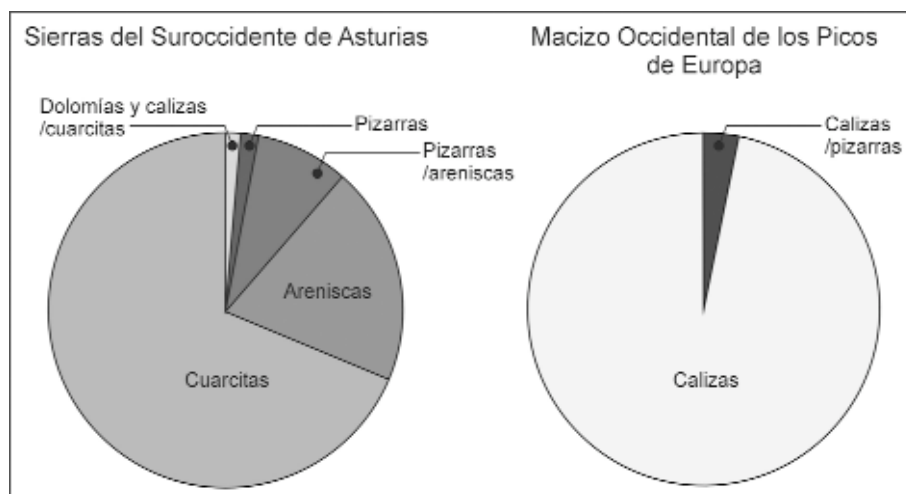


Figura 3. Características litológicas de los circos glaciares de las sierras de Suroccidente de Asturias y del Macizo Occidental de los Picos de Europa.

Figure 3. Lithological organization of the glacial cirques in the sierras of Southwest Asturias and the Western Massif of Picos de Europa.

Tabla 1. Características morfométricas de los circos glaciares.  
 Table 1. Morphometric features of glacial cirques.

		Media aritmética	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar
Macizo Occidental de los Picos de Europa	Área (ha)	11,03	30,94	1,17	7,81
	Longitud (m)	294,92	475	125	97,02
	Anchura (m)	466,53	1375	125	271,28
	D (m)	293,64	530	119	104,98
	L/A	0,78	1,67	0,18	0,35
	L/D	1,08	2,18	0,32	0,37
	A/D	1,66	4,89	0,49	0,90
Sierras del Suroccidente de Asturias	Área (ha)	23,25	93,75	2,81	16,46
	Longitud (m)	486,71	950	125	162,15
	Anchura (m)	594,29	2000	250	299,16
	D (m)	254,60	423	57	70,25
	L/A	0,90	2,09	0,31	0,32
	L/D	1,95	4,39	1,15	0,56
	A/D	2,45	7,09	0,80	1,17

gitud y el desnivel, tiene un valor medio de 1,08, lo que indica que son circos profundos, resultado de una intensa sobreexcavación; finalmente el índice *A/D*, que también es indicador de la incisión de los circos (Hughes *et al.*, 2007), alcanza un valor medio de 1,66.

Los circos de las sierras del Suroccidente de Asturias presentan una anchura y una longitud medias de 594,3 m y 486,7 m respectivamente. Se trata por tanto de circos de mayores dimensiones que los anteriores, ya que su superficie media es de 23,3 ha. Sin embargo, este valor está bastante por debajo del obtenido en otras montañas meridionales de Europa: 34,2 ha en la Sierra de Cebollera (Ortigosa, 1986), 33 ha en el Pirineo central español (García-Ruiz *et al.*, 2000) y 42 ha en los Alpes Marítimos (Federici y Spagnolo, 2004) (Tabla 1). El índice *L/A* es de 0,90, similar al logrado por Jiménez y Marquín (1990) en la cuenca alta del río Nalón (Cordillera Cantábrica), por Ortigosa (1986) en la Sierra de Cebollera y por Evans (2006) en Gales y en el Lake District, por lo que en este caso los circos son prácticamente igual de anchos que de largos; mientras que el índice *L/D* presenta un valor medio de 1,95, muy parecido al obtenido en los Alpes marítimos por Federici y Spagnolo (2004), de lo que se deduce que los circos se hallan poco sobreexcavados (Embleton y Hamann, 1988). Finalmente, la relación entre la anchura y el desnivel (*A/D*) es de 2,45.

### 5.3. Los tipos de circos glaciares

Se ha efectuado un análisis multivariante clasificatorio con los circos de las dos áreas de estudio, identificándose 3 tipos de circos en cada una de ellas. Han sido eliminados del análisis 4 circos en el caso del Macizo Occidental de los Picos de Europa y 2 en las sierras del Suroccidente de Asturias, debido a que presentan valores demasiado extremos y/o formas irregulares que desvirtuarían los resultados. Por lo tanto, los circos considerados en el análisis representan el 93,2 % y el 97,1 % respectivamente. En el Macizo Occidental de Picos de Europa se han identificado los siguientes tipos (Tabla 2 y Fig. 4 y 5):

Grupo 1: circos muy anchos (índice *L/A* de 0.42), profundos (relación *L/D* de 1.10) y de dimensiones moderadas (22.6 ha). Este grupo, que aglutina a 13 circos, es muy similar al tipo 1 definido en los Pirineos por García-Ruiz *et al.* (2000) salvo en la superficie, que es sensiblemente mayor en este último caso (46 ha).

Grupo 2: circos de planta cuasicircular (índice *L/A* de 0.86) y poco sobreexcavados (relación *L/D* de 1.37). En total son 23 circos con un área bastante reducida (9.4 ha.).

Grupo 3: circos cuasicirculares (relación *L/A* de 0.88), profundos (índice *L/D* de 0.76) y muy pequeños (área media de 6.3 ha). Este grupo está integrado por 19 circos.

Tabla 2. Características morfométricas medias de los diferentes tipos de circos glaciares.  
 Table 2. Mean characterization of the different patterns of glacial cirques.

		N.º	Anchura (m)	Longitud (m)	D (m)	Área (ha)	L/A	L/D	A/D
Macizo	Grupo 1	13	867,31	351,92	329,77	22,62	0,42	1,10	2,76
Occidental de los	Grupo 2	23	373,91	314,13	232,78	9,41	0,86	1,37	1,66
Picos de Europa	Grupo 3	19	325	259,21	362,58	6,28	0,88	0,76	0,94
Sierras del	Grupo 4	41	482,32	478,66	274,36	18,26	1,04	1,74	1,77
Suroccidente de	Grupo 5	16	789,06	606,25	258,62	36,68	0,83	2,38	3,03
Asturias	Grupo 6	11	518,18	320	167,18	14,39	0,62	2,15	3,53

Los tipos de circos identificados en el área de estudio del Suroccidente de Asturias son (Ver Tabla 2 y Fig. 4 y 6):

Grupo 4: circos de planta cuasicircular (relación  $L/A$  de 1.04), poco sobreexcavados (índice  $L/D$  de 1.74) y con un área media de 18.3 ha. Este grupo está integrado por 41 circos. Sería por tanto el tipo de circos más característico de estas sierras.

Grupo 5: circos cuasicirculares (índice  $L/A$  igual a 0.81), con muy poca sobreexcavación (relación  $L/D$  de 2.38) y de dimensiones medias (36.7 ha), aunque muy similares a las descritas por otros autores en montañas del Sur de Europa (Ortigosa, 1986; García-Ruiz et al., 2000). Está compuesto por 16 circos.

Grupo 6: circos anchos ( $L/A$  igual a 0.62) y con escasa sobreexcavación (índice  $L/H$  de 2.15). En total son 11 circos con un área media bastante pequeña (14.4 ha).

#### 5.4. Factores condicionantes de la forma de los circos glaciares

Para conocer las relaciones entre las variables se ha aplicado el índice de correlación lineal de Pearson. En el Macizo Occidental de los Picos de Europa las correlaciones lineales entre las variables son bajas a excepción de algunas que resultan redundantes (Tabla 3). Cabe señalar la baja asociación existente entre la longitud y el desnivel ( $D$ ) de los circos ( $r = 0,383$ ), entre el desnivel y la altitud máxima ( $r = 0,379$ ), o entre la anchura y el desnivel ( $r = 0,263$ ).

En cambio, en las sierras del Suroccidente de Asturias las relaciones estadísticas son mayores (Tabla 4). Así, la altitud máxima está bien correlacionada con la longitud ( $r = 0,606$ ) y con el desnivel de los circos ( $r = 0,706$ ), al igual que ocurre entre la longitud y el desnivel ( $r = 0,705$ ). Esto

implica que a medida que aumenta la altitud los circos son más largos y están más excavados. Por el contrario, la relación entre la anchura y el desnivel ( $r = 0,378$ ) es baja, al igual que entre este último y el índice  $L/A$  ( $r = 0,262$ ).

La altitud, la litología y la orientación, junto a otros factores como la estructura geológica o el relieve preglaciar, condicionan la forma y el tamaño de los circos glaciares (Alonso, 1994; Sauchyn et al., 1998; Serrano, 1998; García-Ruiz et al., 2000; Federici y Spagnolo, 2004; Hughes et al., 2007), por lo que han sido considerados como variables independientes en los análisis estadísticos sucesivos, mientras que los diversos parámetros morfométricos actúan como variables dependientes. Las Tablas 5, 6 y 7 contienen los resultados de los análisis estadísticos de varianza (ANOVAS) efectuados con los citados parámetros morfométricos en función de los grupos o categorías de altitud, litología y orientación.

La Tabla 5 y la Fig. 7 muestran que en el Macizo Occidental de los Picos de Europa los parámetros morfométricos no experimentan grandes diferencias con el aumento de la altitud máxima, salvo en el caso del desnivel, que se acrecienta. Debe señalarse también que los circos con altitudes máximas comprendidas entre 1.600 y 1.800 m (es decir, los más bajos de este macizo) son los que presentan menor longitud y desnivel y un mayor índice  $A/D$ . En cambio, en las sierras del Suroccidente de Asturias los circos aumentan notablemente su área, longitud y anchura con la altitud, mientras que el desnivel lo hace en menor medida. Este incremento progresivo del tamaño de dichos circos responde al tipo de crecimiento alométrico propuesto por Evans (2004 y 2006), ya que las dimensiones horizontales tienden a incrementarse más rápidamente que las verticales con el aumento



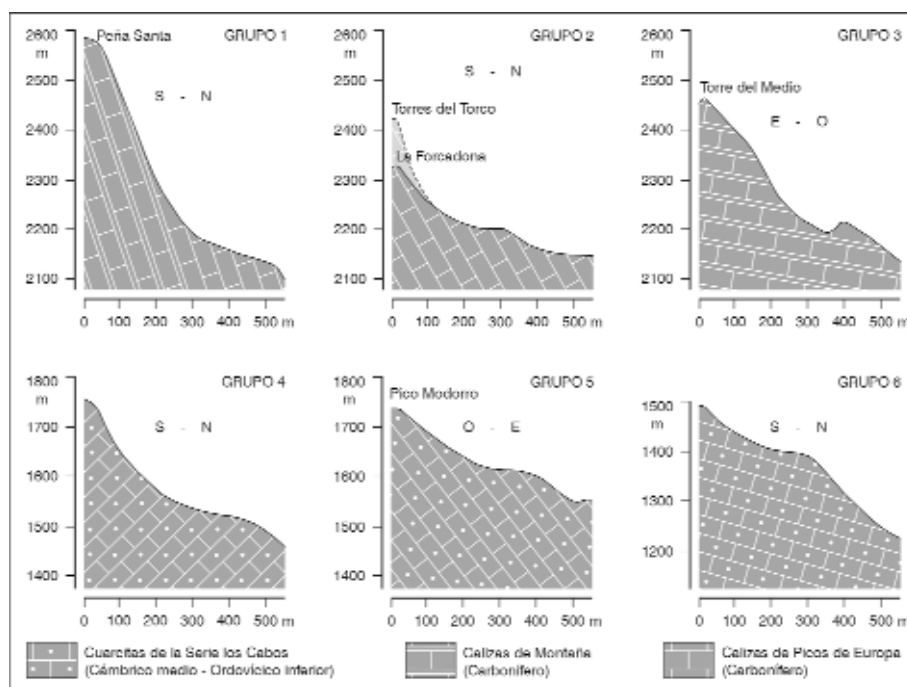


Figura 4. Perfiles geomorfológicos que ejemplifican cada uno de los 6 tipos de circos glaciares diferenciados en el presente trabajo. Los 3 primeros, labrados sobre calizas del Carbonífero, pertenecen al Macizo Occidental de los Picos de Europa, y los 3 restantes, formados sobre cuarcitas de edad cambro-ordovícica, a las sierras del Suroccidente de Asturias. Grupo 1: circo glaciar labrado en la cara N de Peña Santa de Castilla (sus índices morfométricos  $L/A$  y  $L/D$  son de 0,56 y 0,93 respectivamente, y su superficie de 27 ha.). Grupo 2: circo de la Forcadona, cuyos parámetros morfométricos  $L/A$  y  $L/D$  son de 1 y 1,24 y su área de 10,55 ha. Grupo 3: circo de la Torre del Medio, con índices  $L/A$  y  $L/D$  de 0,71 y 0,89 y tamaño muy pequeño (6,56 ha.). Grupo 4: circo glaciar en la zona de Bachongo (Sierra de Degaña). Sus índices morfométricos  $L/A$  y  $L/D$  son de 1,06 y 1,71, mientras que su superficie es de 14,34 ha. Grupo 5: circo en la cara E del Pico Modorro (Sierra Campetona). Tiene un índice  $L/A$  de 0,93, un índice  $L/D$  de 2,38 y un área de 34,13 ha. Grupo 6: circo glaciar en la Sierra de Cazarnoso con unas relaciones  $L/A$  y  $L/D$  de 0,49 y 2,48 respectivamente, y una superficie bastante pequeña, concretamente de 11,14 ha.

Figure 4. Geomorphologic profiles with examples of each of the 6 types of glacial cirques identified in this paper. The first three, carved upon limestone from the Carboniferous, belong to the Western Massif of Picos de Europa, and the other three, shaped upon quartzite from the Cambrian and Ordovician Periods correspond to the sierras of Southwest Asturias. Group 1: glacial cirque carved upon the Northern side of the Peña Santa de Castilla (its morphometric  $L/A$  and  $L/D$  indexes are 0.56 and 0.93 respectively, with an area of 27 ha.). Group 2: cirque of Forcadona, with  $L/A$  and  $L/D$  indexes of 1 and 1.24 and an area of 10.55 ha. Group 3: cirque of the Torre del Medio, with  $L/A$  and  $L/D$  indexes of 0.71 and 0.89 and a very small area (6.56 ha.). Group 4: glacial cirque of the Bachongo area (Degaña Ridge), with  $L/A$  and  $L/D$  indexes of 1.06 and 1.71, and an area of 14.34 ha. Group 5: cirque on the East side of the Modorro Peak (Campetona Ridge), with  $L/A$  and  $L/D$  indexes of 0.93 and 2.38 and an area of 34.13 ha. Group 6: glacial cirque on the Cazarnoso Ridge with  $L/A$  and  $L/D$  indexes of 0.49 and 2.48 and a small area of 11.14 ha.

de la altitud. Por último, al igual que ocurre en el Pirineo central español (García-Ruiz *et al.*, 2000), los circos situados en altitudes más bajas (entre 1.400 y 1.600 m) son más anchos que largos (índice  $L/A$  de 0,67), mientras que a mayores altitudes tienden a ser prácticamente circulares (índice  $L/A$  entre 0,90 y 1,01).

En la Tabla 6 se presenta la influencia ejercida por la orientación, destacando en general la escasa

significación estadística obtenida. Sin embargo, en el caso del Macizo Occidental de los Picos de Europa el desnivel de los circos ( $D$ ), que está relativamente próximo a la significación estadística, es mayor en las orientaciones SE, S y SW debido a la orientación de los frentes de cabalgamiento hacia el Sur. En las sierras del Suroccidente de Asturias los circos orientados al Sur son los menos excavados (índice  $L/D$  de 2,60) y los que presentan una



Figura 5. Circo glacial de la cara Norte de Peña Santa de Castilla (Macizo Occidental de los Picos de Europa). En la imagen, tomada el 1 de agosto de 2006, se perciben algunos neveros permanentes y por debajo de ellos complejos morrénicos pertenecientes al Tardiglacial y a la Pequeña Edad del Hielo.

Figure 5. Glacial cirque on the Northern side of Peña Santa de Castilla (Western Massif of Picos de Europa). On the picture, taken on 1st August 2006, some perennial snowpatch above moraine complexes from the Tardiglacial and Little Ice Age can be observed.



Figura 6. Circo glacial formado sobre las cuarcitas de la Serie Los Cabos (Cámbrico-Ordovícico) en la vertiente Norte del Cuerno del Changueiro (Sierra de Degaña). En su interior se aloja el glaciar rocoso relicto de Los Oiros, atribuido al Tardiglacial por Alonso (1989). Sus índices  $L/A$  y  $L/D$  son de 0,64 y 2,15, mientras que su superficie es de 45,7 ha (grupo 5 de la clasificación de circos glaciares).

Figure 6. Glacial cirque shaped upon the quartzites from Serie Los Cabos (Cambrian and Ordovician Periods) on the Northern side of the Cuerno del Changueiro (Degaña Ridge). It contains the rock glacier of Los Oiros, attributed by Alonso (1989) to the Tardiglacial period. Its  $L/A$  and  $L/D$  indexes are 0.64 and 2.15, while its area is 45.7 ha (group 5 in the classification of glacial cirques).

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre los parámetros morfométricos y altitudinales de los circos glaciares del Macizo Occidental de los Picos de Europa.

Table 3. Correlation matrix among the altitudinal and morphometric parameters of glacial cirques in Macizo Occidental de los Picos de Europa.

	$A_{max}$	$A_{media}$	$A_{min}$	Longitud	Anchura	D	L/A	L/D	A/D	Área
$A_{max}$	-	,977(**)	,901(**)	,265(*)	-,070	,379(**)	,258(*)	-,139	-,299(*)	,064
$A_{media}$	,977(**)	-	,973(**)	,193	-,136	,172	,294(*)	-,015	-,265(*)	-,004
$A_{min}$	,901(**)	,973(**)	-	,106	-,199	-,060	,318(*)	,119	-,215	-,078
Longitud	,265(*)	,193	,106	-	,367(**)	,383(**)	,112	,484(**)	,168	,691(**)
Anchura	-,070	-,136	-,199	,367(**)	-	,263(*)	-,739(**)	,012	,853(**)	,896(**)
D	,379(**)	,172	-,060	,383(**)	,263(*)	-	-,085	-,573(**)	-,229	,313(*)
L/A	,258(*)	,294(*)	,318(*)	,112	-,739(**)	-,085	-	,190	-,703(**)	-,516(**)
L/D	-,139	-,015	,119	,484(**)	,012	-,573(**)	,190	-	,323(*)	,246
A/D	-,299(*)	-,265(*)	-,215	,168	,853(**)	-,229	-,703(**)	,323(*)	-	,708(**)
Área	,064	-,004	-,078	,691(**)	,896(**)	,313(*)	-,516(**)	,246	,708(**)	-

\*\* Significación estadística bilateral igual o superior al nivel 0.01.

\* Significación estadística bilateral igual o superior al nivel 0.05.

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre los parámetros morfométricos y altitudinales de los circos glaciares de las sierras del Suroccidente de Asturias.

Table 4. Correlation matrix among the altitudinal and morphometric parameters of glacial cirques in sierras del Suroccidente de Asturias.

	$A_{max}$	$A_{media}$	$A_{min}$	Longitud	Anchura	D	L/A	L/D	A/D	Área
$A_{max}$	-	,976(**)	,867(**)	,606(**)	,334(**)	,706(**)	,280(*)	-,107	-,232	,463(**)
$A_{media}$	,976(**)	-	,955(**)	,507(**)	,282(*)	,535(**)	,253(*)	-,029	-,162	,388(**)
$A_{min}$	,867(**)	,955(**)	-	,331(**)	-,189	,260(*)	,198	,079	-,055	,254(*)
Longitud	,606(**)	,507(**)	,331(**)	-	,544(**)	,705(**)	,274(*)	,364(**)	,017	,805(**)
Anchura	,334(**)	,282(*)	-,189	,544(**)	-	,378(**)	-,540(**)	,126	,659(**)	,911(**)
D	,706(**)	,535(**)	,260(*)	,705(**)	,378(**)	-	,262(*)	-,319(**)	-,372(**)	,537(**)
L/A	,280(*)	,253(*)	,198	,274(*)	-,540(**)	,262(*)	-	,092	-,697(**)	-,282(*)
L/D	-,107	-,029	,079	,364(**)	,126	-,319(**)	,092	-	,494(**)	,271(*)
A/D	-,232	-,162	-,055	,017	,659(**)	-,372(**)	-,697(**)	,494(**)	-	,473(**)
Área	,463(**)	,388(**)	,254(*)	,805(**)	,911(**)	,537(*)	-,282(*)	,271(*)	,473(**)	-

\*\* Significación estadística bilateral igual o superior al nivel 0.01.

\* Significación estadística bilateral igual o superior al nivel 0.05.

mayor longitud y extensión, al igual que ocurre en los Alpes Marítimos (Federici y Spagnolo, 2004). Por otra parte, los circos de orientación N, NE, E y S tienen una planta prácticamente circular (índice L/A entre 0.84 y 0.87), mientras que en los orientados al SE y NW son más largos que anchos (índice L/A entre 1.57 y 1.34) y son también los de menor superficie media, como acontece nuevamente en los Alpes Marítimos.

La Tabla 7 muestra la influencia de la litología en la morfometría de los circos glaciares. Es evidente que en el Macizo Occidental de los Picos de Europa no puede haber significación estadística en

los resultados obtenidos, dado el desequilibrio existente entre los dos grupos litológicos en que se distribuyen los circos. No obstante, los circos labrados en calizas y pizarras tienen un desnivel medio muy superior a los integrados por calizas más masivas (417,5 m frente a 289,3 m respectivamente) y son mucho más anchos (índices L/A de 0,42 y 0,79). En las sierras del Suroccidente de Asturias las diferencias morfométricas en función de la litología son mayores, ya que los circos de menor anchura y superficie media son los excavados en areniscas, cuarcitas o pizarras, mientras que los compuestos por litologías mixtas de pizarras y

Tabla 5. Valores medios y significación estadística de los análisis de varianza (ANOVAS) de los parámetros morfométricos en función de la altitud de los circos.

Table 5. Mean values and statistical significance of variance analyses (ANOVAS) of the morphometric parameters in respect to the glacial cirque altitudes.

		1400-1600	1600-1800	1800-2000	2000-2200	2200-2400	2400-2600	Total	Significación estadística
Macizo Occidental de los Picos de Europa	N.º de circos	0	7	0	16	24	12	59	-
	Área (ha)	-	8,34	-	11,64	11,60	10,65	11,03	0,790
	Longitud (m)	-	217,86	-	318,75	283,33	331,25	294,92	0,056
	Anchura (m)	-	453,57	-	479,69	492,71	404,17	466,53	0,831
	D (m)	-	198,29	-	300,75	268,13	390,83	293,64	0,000
	L/A	-	0,67	-	0,78	0,73	0,95	0,78	0,267
	L/D	-	1,13	-	1,18	1,10	0,88	1,08	0,193
	A/D	-	2,3	-	1,70	1,80	1,09	1,66	0,059
Sierras del Suroccidente de Asturias	N.º de circos	14	27	29	0	0	0	70	-
	Área (ha)	10,44	21,39	31,18	-	-	-	23,25	0,000
	Longitud (m)	292,50	507,41	561,21	-	-	-	486,71	0,000
	Anchura (m)	453,57	536,11	716,38	-	-	-	594,29	0,010
	D (m)	162,14	261,19	293,10	-	-	-	254,60	0,000
	L/A	0,67	1,01	0,90	-	-	-	0,90	0,005
	L/D	2,00	1,96	1,91	-	-	-	1,95	0,868
	A/D	3,17	2,06	2,50	-	-	-	2,45	0,014

Tabla 6. Valores medios y significación estadística de los análisis de varianza (ANOVAS) de los parámetros morfométricos en función de la orientación de los circos glaciares.

Table 6. Mean values and statistical significance of variance analyses (ANOVAS) of the morphometric parameters in respect to the glacial cirque aspects.

		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Total	Significación estadística
Macizo Occidental de los Picos de Europa	N.º de circos	23	11	4	2	7	3	3	6	59	-
	Área (ha)	12,55	9,70	8,75	10,15	13,64	6,78	8,75	9,67	11,03	0,837
	Longitud (m)	314,13	254,54	300	362,50	314,28	266,67	291,67	262,50	294,92	0,683
	Anchura (m)	507,61	411,36	356,25	350	603,57	341,67	383,33	466,67	466,53	0,717
	D (m)	298,52	244	298,50	357	370,43	342,67	298,33	225,17	293,64	0,170
	L/A	0,76	0,65	0,94	1,01	0,80	0,84	0,76	0,84	0,78	0,852
	L/D	1,09	1,14	1,07	1,34	0,88	0,80	0,97	1,25	1,08	0,479
	A/D	1,72	1,78	1,26	1,25	1,88	0,99	1,27	1,88	1,66	0,740
Sierras del Suroccidente de Asturias	N.º de circos	36	15	11	2	4	0	0	2	70	-
	Área (ha)	22,54	22,53	24,51	19,99	44,36	-	-	9,19	23,25	0,127
	Longitud (m)	467,22	470	495,45	600	687,5	-	-	400	486,71	0,131
	Anchura (m)	601,39	566,67	609,09	437,50	818,75	-	-	300	594,29	0,436
	D (m)	256,61	248	234,45	351	264	-	-	263,50	254,60	0,433
	L/A	0,87	0,87	0,84	1,57	0,87	-	-	1,34	0,90	0,018
	L/D	1,84	2,05	2,09	1,70	2,60	-	-	1,52	1,95	0,078
	A/D	2,38	2,69	2,45	1,24	3,09	-	-	1,14	2,45	0,243

areniscas o de cuarcitas, dolomías y calizas duplican a los anteriores en los parámetros mencionados. Respecto al índice *L/A*, mientras que los circos labrados en cuarcitas o areniscas son prácticamente circulares, los excavados en pizarras tienden a

ser más largos que anchos y los compuestos conjuntamente por pizarras y areniscas son más anchos que largos.

Finalmente, mediante análisis de regresión lineal se ha calculado el porcentaje de variabilidad

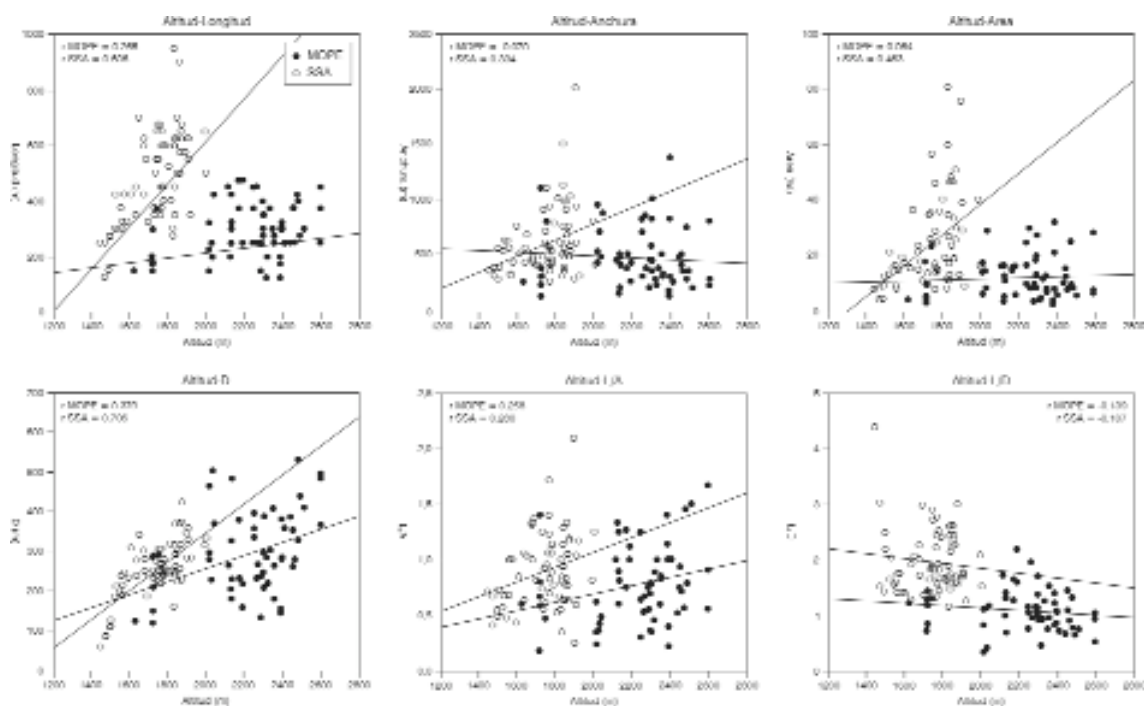


Figura 7. Relaciones entre la altitud máxima de los circos glaciares y la longitud, la anchura, la superficie, el desnivel, el índice L/A y el índice L/D en el Macizo Occidental de los Picos de Europa (MOPE) y en las sierras del Suroccidente de Asturias (SSA).  
 Figure 7. Relationships between the maximum altitude of the glacial cirques and the length, width, area, and D, L/A, L/D indexes in the Western Massif of Picos de Europa (MOPE) and the sierras of Southwest Asturias (SSA).

Tabla 7. Valores medios y significación estadística de los análisis de varianza (ANOVAS) de los parámetros morfométricos en función de la litología de los circos glaciares.  
 Table 7. Mean values and statistical significance of variance analyses (ANOVAS) of the morphometric parameters in respect to the glacial cirque lithology.

		Calizas	Calizas/ pizarras	Areniscas	Cuarcitas	Cuarcitas/ Dolomías y calizas	Pizarras/ areniscas	Pizarras	Total	Significación estadística
Macizo Occidental de los Picos de Europa	N.º de circos	57	2	0	0	0	0	0	59	-
	Área (ha)	10,84	16,33	-	-	-	-	-	11,03	0,333
	Longitud (m)	295,18	287,50	-	-	-	-	-	294,92	0,914
	Anchura (m)	460,09	650,00	-	-	-	-	-	466,53	0,335
	D (m)	289,30	417,50	-	-	-	-	-	293,64	0,090
	L/A	0,79	0,42	-	-	-	-	-	0,78	0,139
	L/D	1,09	0,73	-	-	-	-	-	1,08	0,182
	A/D	1,66	1,64	-	-	-	-	-	1,66	0,973
Sierras del Suroccidente de Asturias	N.º de circos	0	0	14	48	1	6	1	70	-
	Área (ha)	-	-	20,10	21,06	59,06	42,35	22,26	23,25	0,004
	Longitud (m)	-	-	512,50	459,79	600,00	600,00	625,00	486,71	0,213
	Anchura (m)	-	-	487,50	566,15	1500,00	937,50	475,00	594,29	0,000
	D (m)	-	-	296,86	238,25	314,00	273,00	278,00	254,60	0,058
	L/A	-	-	1,14	0,87	0,35	0,65	1,31	0,90	0,001
	L/D	-	-	1,70	1,98	1,67	2,23	2,25	1,95	0,300
	A/D	-	-	1,63	2,53	4,78	3,47	1,71	2,45	0,002

Tabla 8. Análisis de regresión entre la altitud, la orientación y la litología, y cada uno de los parámetros morfométricos de los circos glaciares.

Table 8. Regression analyses between the altitude, the aspect and the lithology and every one of the morphometric parameters of glacial cirques.

		R	R <sup>2</sup>	Error estándar	Variables	Coefficientes estandarizados (Beta)	Significación estadística
Macizo Occidental de los Picos de Europa	Área (ha)	-	-	-	-	-	-
	Longitud (m)	-	-	-	-	-	-
	Anchura (m)	-	-	-	-	-	-
	D (m)	0,525	0,275	90,547	Altitud	0,484	0,000
					Calizas	-0,307	0,014
	L/A	0,282	0,079	0,320	Altitud	0,282	0,037
	L/D	-	-	-	-	-	-
	A/D	0,277	0,077	0,829	Altitud	-0,277	0,040
Sierras del Suroccidente de Asturias					Pizarras/areniscas	0,342	0,001
	Área (ha)	0,631	0,398	11,738	Altitud	0,336	0,001
					S	0,263	0,010
	Longitud (m)	0,630	0,397	128,606	Altitud	0,557	0,000
					S	0,201	0,046
	Anchura (m)	0,613	0,375	179,473	Pizarras/areniscas	0,483	0,000
					Altitud	0,250	0,016
					NO	-0,200	0,049
	D (m)	0,705	0,497	50,593	Altitud	0,705	0,000
					Altitud	0,326	0,003
L/A	0,593	0,352	0,258	Pizarras/areniscas	-0,298	0,005	
				SE	0,289	0,007	
				NO	0,206	0,048	
L/D	0,289	0,083	0,546	S	0,289	0,017	
A/D	0,611	0,373	0,810	Altitud	-0,495	0,000	
				Pizarras/areniscas	0,396	0,000	
				S	0,232	0,026	

espacial de los diferentes parámetros morfométricos de los circos en función de la altitud, la orientación y la litología (Tabla 8). Estos análisis revelan que dichos factores geoambientales apenas explican la variabilidad de las características morfométricas de los circos glaciares del Macizo Occidental de los Picos de Europa. Así, el desnivel es la variable morfométrica mejor explicada con un 27 %, destacando la influencia positiva que ejerce la altitud (coeficientes estandarizados de 0,484), mientras que las calizas lo condicionan negativamente (coeficientes estandarizados de -0,307). En cambio, la varianza de los índices L/A y A/D sólo está explicada aproximadamente en un 8 %.

Además, en 4 de las 7 variables morfométricas analizadas no existen correlaciones estadísticamente significativas con los factores mencionados como para poder ser incluidas en el modelo, y por tanto no se han podido efectuar los análisis de regresión. Por el contrario, en las sierras del Suroccidente de Asturias la altitud, la orientación y la litología explican porcentajes altos de la varianza de los parámetros morfométricos. Así, la variabilidad del desnivel de los circos está explicado en casi un 50 % por la altitud (coeficientes estandarizados de 0,705); la litología mixta de pizarras y areniscas, la altitud y la orientación S explican casi un 40 % de la varianza de la superficie de los circos glaciares, al

igual que la altitud y la orientación S en el caso de la longitud. Finalmente, la variabilidad de la anchura y del índice  $A/D$  están explicados en un 37 %, mientras que la varianza del índice  $L/A$  lo está en un 35 %.

## 6. Discusión y conclusiones

Se han estudiado las características morfométricas de los circos glaciares y los factores que las condicionan en dos ámbitos montañosos del Macizo Asturiano. Estos dos sectores presentan notables diferencias desde un punto de vista altitudinal y litológico. Así, el Macizo Occidental de los Picos de Europa se eleva hasta 2.596 m s.n.m. y está compuesto fundamentalmente por calizas carboníferas, mientras que las sierras del Suroccidente de Asturias culminan en 2002 m con una gran diversidad litológica (cuarcitas, areniscas, calizas, dolomías, pizarras y conglomerados de edad cambro-ordovícica y carbonífera).

Se ha partido de la hipótesis de que la altitud debe jugar una función importante en la forma y tamaño de los circos glaciares, debido a que ese factor determina la duración del glaciario y, por lo tanto, su capacidad erosiva, y la cantidad de hielo acumulado. De igual forma, el sustrato rocoso ha de condicionar algunos aspectos morfométricos, al ofrecer diferente resistencia frente a los procesos de erosión glaciario. Además, la exposición también determina la magnitud y duración del glaciario, especialmente cuando se contrastan las orientaciones septentrionales y las meridionales.

Sin embargo, de los análisis estadísticos se deduce que la variabilidad en la forma y tamaño de los circos glaciares estudiados se explica de manera limitada cuando se relaciona con la altitud, la litología o la orientación, especialmente en el Macizo Occidental de los Picos de Europa. Así, en este último no se aprecia ninguna variación morfométrica a medida que aumenta la altitud. Sí, en cambio, en el caso de los circos de las sierras del Suroccidente de Asturias, que aumentan significativamente su superficie, longitud y anchura, mientras que el desnivel lo hace siguiendo una progresión más lenta. Esto confirma la hipótesis de que la ampliación de los circos glaciares sigue patrones

alométricos, aumentando más rápidamente las dimensiones horizontales que la vertical (Evans, 2006), sin duda porque el retroceso de las paredes del circo requiere menos energía que la sobreexcavación de su fondo. De hecho, las dimensiones horizontales pueden evolucionar con cierta rapidez por medio de la erosión provocada por la circulación hídrica en las paredes, así como mediante procesos de crioclastia y pequeños movimientos en masa, todo ello favorecido por una rápida evacuación de los materiales. Por otro lado, el desarrollo horizontal de los circos continúa, quizás incluso con más fuerza, durante los momentos en que el circo está desprovisto de hielo. ¿Por qué no ocurre esto con igual intensidad en el Macizo Occidental de los Picos de Europa? La información disponible no permite explicar esta diferencia entre los dos ámbitos estudiados, de manera que el dispositivo estructural debe tener un gran peso.

Por otro lado, la escasa influencia de la altitud en el Macizo Occidental de los Picos de Europa se debe seguramente a que se encuentra por encima de un determinado umbral crítico, a partir del cual la existencia de mayores o menores altitudes no tiene ninguna influencia morfométrica; de hecho, los pocos circos que aparecen a altitudes bajas (entre 1.600 y 1.800 m) son los que muestran menor longitud y desnivel, mientras que los restantes circos no presentan ninguna tendencia morfométrica con la altitud.

En cambio, en los circos de las sierras del Suroccidente de Asturias está clara la influencia de la altitud, lo que sugiere la existencia de un marcado gradiente de erosión glaciario desde las cumbres más bajas a las más altas. Parece evidente que las fluctuaciones altitudinales del nivel de nieves permanentes pueden influir en el hecho de que los circos situados a menor altitud presenten dimensiones menores, al haber permanecido durante más tiempo desprovistos de hielo. Otra cuestión interesante es que en estas sierras los circos de altitudes más bajas son más anchos que largos, como también se comprobó en el Pirineo aragonés (García-Ruiz *et al.*, 2000). Esto sugiere que en sus inicios los circos dibujan una pequeña concavidad de amplio radio y escasamente encajada en la ladera, de ahí que pueda afirmarse que la longitud de los circos tiende a aumentar con el tiempo más rápidamente que la anchura (Aniya y Welch, 1981).

En el caso de la litología, se aprecian algunas diferencias morfométricas en las sierras del Suroccidente de Asturias, donde los circos elaborados sobre litologías mixtas son de dimensiones sensiblemente mayores que los formados a partir de litologías homogéneas. Esta diferencia se debe muy probablemente a la existencia de debilidades estructurales cuando hay más de una litología (por contactos de falla o por la presencia de rocas menos resistentes a la erosión).

Las exposiciones dominantes de los circos son la Norte y Nordeste en las dos zonas de estudio, siguiendo pautas generalizables a todas las montañas de las latitudes medias en el Hemisferio Norte (Evans y Cox, 1995; Serrano, 1998; Federici y Spagnolo, 2004; Chueca y Julián, 2004; López-Moreno *et al.*, 2006), debido a la dinámica atmosférica durante la última fase glacial (Florineth y Schlüter, 2000; Kuhle *et al.*, 2008). Sin embargo, existen importantes diferencias entre ambas zonas. En el Macizo Occidental de los Picos de Europa el dispositivo estructural determina la orientación predominante de los circos, debido a la presencia de alineaciones o divisorias de Oeste a Este que vienen condicionadas por el arrumbamiento hacia el Sur de escamas cabalgantes. De ahí que, de acuerdo con las observaciones realizadas por González-Trueba (2007) para el Macizo Central de los Picos de Europa, la mayoría de los circos se desarrolle también (1) mirando hacia el Norte, en la parte superior de los dorsos de las escamas cabalgantes, donde se registra una densa fracturación local que debió favorecer el modelado preglacial y la karstificación, y (2) en menor medida, orientados al Sur y Suroeste, en los escarpes muy abruptos de dichas escamas, dando lugar a circos muy verticales y poco evolucionados. La influencia morfométrica de la orientación se aprecia mejor en las sierras del Suroccidente de Asturias, donde la orientación Norte y Noreste es claramente predominante, debido sobre todo a su menor altitud, que relega a las orientaciones meridionales a una posición de marginalidad glacial. En este sentido, es interesante la hipótesis de Alonso (1994), quien señala que la dispersión de la orientación de los circos aumenta con la altitud, y atribuye los casos de circos bajos en orientaciones desfavorables a incisiones preglaciares o a litologías poco resistentes. Esa dispersión se explicaría de

nuevo porque los macizos más elevados han superado un determinado umbral a partir del cual la altitud es suficiente como para garantizar la presencia de circos en cualquier orientación. De ahí que exista una mayor variabilidad en las orientaciones del Macizo Occidental de los Picos de Europa que en las sierras del Suroccidente de Asturias.

De los resultados obtenidos se deduce que existen otros factores, aparte de los aquí considerados, que contribuyen a explicar la forma y tamaño de los circos glaciares, sobre todo en el Macizo Occidental de los Picos de Europa. Es evidente que la forma y dimensiones de los circos glaciares se explican por la interacción espacio-temporal de multitud de factores que no son fácilmente cuantificables. El relieve preglacial (que condiciona en gran parte la distribución espacial de los circos), el dispositivo estructural, es decir, la potencia y resistencia de los estratos, la inclinación de los mismos, la alternancia de estratos de diferente dureza, los procesos que intervinieron en los momentos en que los circos estuvieron desprovistos de hielo, la mayor o menor facilidad para evacuar sedimentos producidos en las laderas o desde los fondos de circo, todo ello interactúa de forma diferente y el resultado es una morfometría compleja, llena de matices o de “rugosidad” en sus perfiles verticales y horizontales. Por ello, sólo una parte de la variabilidad en la forma y tamaño de los circos puede atribuirse a las diferencias de altitud, litología y exposición. De ahí el papel fundamental que deben jugar –en unos casos más que en otros– la estructura y los condicionantes derivados del relieve preglacial y de la morfodinámica postglacial, aspectos que no son fácilmente identificables y/o cuantificables. Así, el menor tamaño medio de los circos en el Macizo Occidental de los Picos de Europa se explica quizás por la importancia de las fallas y de la karstificación, factores ambos que favorecen la existencia de pequeños enclaves explotados posteriormente por la acción del hielo. La existencia de algunos circos muy pequeños, de sólo unas hectáreas de superficie, sugiere que tienen un origen glaciokárstico o muy asociado al entrecruzamiento de fracturas. También las fuertes pendientes asociadas a los escarpes de las escamas cabalgantes limitan el desarrollo superficial de los circos y favorecen las paredes muy escarpadas y profundos desniveles entre la parte alta y la baja de los circos. La influen-



cia de estos factores estructurales o preglaciares es menor en las sierras del Suroccidente de Asturias (ámbito hercínico con superficies de erosión en cumbres que tienden a homogeneizar el relieve), por lo que en estas últimas se refleja mejor la influencia de factores ambientales como la altitud, la exposición y la litología. Por otro lado, el hecho de tratarse de un relieve relativamente marginal desde un punto de vista glaciar, hace que se refleje mejor la importancia de la magnitud y persistencia temporal de los glaciares, bien relacionados con la altitud y la exposición.

## Referencias

- Alonso, V. (1989). Glaciares rocosos fósiles en el área Degaña-Leitariegos (occidente de Asturias, Cordillera Cantábrica). *Cuaternario y Geomorfología*, 3 (1-4), 9-15.
- Alonso, V. (1994). Análisis de los circos glaciares en las cabeceras de los ríos Narcea, Ibia y Sil. Cordillera Cantábrica (NW de la Península Ibérica). *Cuaternario y Geomorfología*, 8 (1-2), 109-121.
- Alonso, V. (1998). El glaciario de la comarca de Laciana y alrededores. En: *Las huellas glaciares de las montañas españolas* (Gómez Ortiz, A. & Pérez Alberti, A., eds.). Servicio de publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 139-160.
- Aniya, M. & Welch, R. (1981). Morphometric analysis of Antarctic cirques from photogrammetric measurements. *Geografiska Annaler*, 63A, 41-53.
- Castañón, J.C. & Frochoso, M. (1998). La alta Montaña Cantábrica: condiciones térmicas y morfodinámicas en los Picos de Europa. En: *Procesos biofísicos actuales en medios fríos* (Gómez-Ortiz, A., Salvador-Franch, F., Schulte, L. & García-Navarro, A., eds.), Universidad de Barcelona, Barcelona, 113-132.
- Chueca, J. & Julián, A. (2004). Relationship between solar radiation and the development and morphology of small cirque glaciers (Maladeta Mountain Massif, Central Pyrenees, Spain). *Geografiska Annaler*, 86A: 81-89.
- Davis, P.T. (1999). Cirques of the Presidential Range, New Hampshire, and surrounding Alpine areas in the Northeastern United States. *Géographie Physique et Quaternaire*, 53(1), 25-45.
- Embleton, C. & Hamann, C. (1988). A comparison of cirque forms between the Austrian Alps and the Highlands of Britain. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, Suppl. 70, 75-93.
- Evans, I.S. (2004). Cirque, glacial. En: *Enciclopedia of Geomorphology* (A.S. Goudie, ed.), Routledge, London, 154-158.
- Evans, I.S. (2006). Allometric development of glacial cirque form: Geological, relief and regional effects on the cirques of Wales. *Geomorphology*, 80, 245-266.
- Evans, I.S. & Cox, N.J. (1995). The form of glacial cirques in the English Lake District, Cumbria. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 39, 175-202.
- Federici, P.R. & Spagnolo, M. (2004). Morphometric analysis on the size, shape and areal distribution of glacial cirques in the Maritime Alps (Western French-Italian Alps). *Geografiska Annaler*, 86A, 235-248.
- Flor, G. & Bailón-Misioné, J.L. (1989). El glaciario cuaternario de los puertos de Áliva (Macizo Oriental de los Picos de Europa, occidente de Cantabria). *Cuaternario y Geomorfología*, 3 (1-4), 27-34.
- Florineth, D. & Schlüter, C. (2000). Alpine evidence for atmospheric circulation patterns in Europe during the last glacial maximum. *Quaternary Research*, 54, 295-308.
- Frochoso, M. & Castañón, J.C. (1986). La evolución morfológica del alto valle del Duje durante el Cuaternario (Picos de Europa, NW España). *Ería*, 11, 193-209.
- Gale, S.J. & Hoare, P.G. (1997). The glacial history of the north-west Picos de Europa of northern Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 41, 81-96.
- García De Celis, A. (1997). *El relieve de la Montaña Occidental de León*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid, Valladolid, 290 pp.
- García De Celis, A. & Martínez, L.C. (2002). Morfología glaciar de las montañas de la cuenca alta de los ríos Sil, Omaña, Luna y Bernesga: revisión y nuevos datos (Montaña Occidental de León). En: *El modelado de origen glaciar en las montañas leonesas* (Redondo, J.M<sup>a</sup>. et al., eds.). Secretariado de Publicaciones de la Universidad de León, León, 137-193.
- García-Ruiz, J.M., Gómez-Villar, A., Ortigosa, L. & Martí-Bono, C. (2000). Morphometry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler*, 82A, 433-442.
- Glasser, N.F. & Bennett, M.R. (2004). Glacial erosional landforms: origins and significance for palaeogeology. *Progress in Physical Geography*, 28 (1), 43-75.
- González Trueba, J.J. (2007). *El paisaje natural del Macizo Central de los Picos de Europa*. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, Santander, 333 pp.
- Hughes, P.D., Gibbard, P.L. & Woodward, J.C. (2007). Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology*, 88, 242-253.
- Jiménez, M. & Farias, P. (2002). New radiometric and geomorphologic evidences of a Last Glacial Maximum older than 18 ka in SW European mountains: the example of Redes natural Park (Cantabrian Mountains, NW Spain). *Geodinamica Acta*, 15, 93-101.
- Julivert, M. (1983). La estructura de la Zona Cantábrica. En: *Geología de España. Libro Jubilar a J.M. Ríos* (Comba, J.A., coord.), IGME, Madrid, 339-381.
- Kuhlemann, J., Rohling, E., Krumrei, P., Ivy-Ochs, S. & Kucera, M. (2008). Regional síntesis of Mediterranean atmospheric circulation during the Last Glacial Maximum. *Science*, 321, 1338-1340.
- López-Moreno, J.I., Nogués-Bravo, D., Chueca-Cía, J. & Julián-Andrés, A. (2006). Glacier development and topographic context. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1585-1594.
- Marquín, J. (1989). Mapa geológico de la region de Cuera y los Picos de Europa. *Trabajos de Geología*, 18, 137-144.

- Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., Jiménez-Sánchez, M., Domínguez-Cuesta, M.J., Mata, M.P., Navas, A., González-Sampériz, P., Stoll, H., Farias, P., Morellón, M., Corella, J.P. & Rico, M. (en prensa). The last deglaciation in the Picos de Europa National Park (Cantabrian Mountains, Northern Spain). *Journal of Quaternary Science*.
- Muñoz Jiménez, J. (1982). Geografía Física. El relieve, el clima y las aguas. En: *Geografía de Asturias* (Quirós, F., dir.), Ayalga Ediciones, Salinas, Tomo I, 1-271.
- Nussbaum, F. & Gigax, F. (1953). La glaciación cuaternaria en la Cordillera Cantábrica. *Estudios Geográficos*, 51, 261-270.
- Obermaier, H. (1914). *Estudio de los glaciares de los Picos de Europa*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 41 pp.
- Ortigosa, L. (1986). *Geomorfología glaciar de la Sierra Cebollera (Sistema Ibérico)*. Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, 77 pp.
- Rapp, A. (1984). Nivation hollows and glacial cirques in Söderasen, Scania, South Sweden. *Geografiska Annaler*, 66A, 11-28.
- Rudberg, S. (1984). Fossil glacial cirque problematica at lower levels in northern and central Sweden. *Geografiska Annaler*, 66A (1-2), 29-39.
- Sauchyn, D.J., Cruden, D.M. & Hu, X.Q. (1998). Structural control of the morphometry of open rock basins, Kananaski region, Canadian Rocky Mountains. *Geomorphology*, 22, 313-324.
- Serrano, E. (1998). *Geomorfología del Alto Gállego. Pirineo aragonés*. Institución "Fernando el Católico", Zaragoza, 501 pp.
- Serrano, E. & González-Trueba, J.J. (2002). Morfología y evolución glaciar en Los Picos de Europa. En: *El modelado de origen glaciar en las montañas leonesas* (Redondo, J.M. et al., eds.). Secretariado de Publicaciones de la Universidad de León, León, 249-268.
- Smart, P.L. (1986). Origin and development of glacio-karst closed depressions in the Picos de Europa, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 30, 423-443.
- Stickel, R. (1929). Observaciones de morfología glaciar en el NO de España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 29, 297-318.
- Trenhaile, A.S. (1975). Cirque elevation in the Canadian Cordillera. *Annals of the Association of American Geographers*, 65-4, 517-529.
- Vidal, C. (1957). Observaciones sobre el glaciario extinguido en las cabeceras de los ríos Sil y Luna. Cordillera Cantábrica (León). En: *INQUA, 5º Internacional Congress*, T. I, 349-360.
- Vidal, C. (1958). Algunos datos sobre morfología y depósitos cuaternarios de la región montañosa de Laciana y Babia Alta (provincia de León). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, LXI, 143-168.
- Vilborg, L. (1984). The cirque forms of Central Sweden. *Geografiska Annaler*, 66A, 41-77.