



**VII Congreso Nacional de la
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ECOLOGÍA TERRESTRE**

**España ante los compromisos del
Protocolo de Kyoto:
Sistemas Naturales y Cambio Climático**

Barcelona 2-4 Julio 2003

Centre de
Recerca
Ecològica i
Aplicacions
Forestals
CREAF



Universitat Autònoma de Barcelona



UNIVERSITAT DE BARCELONA



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE ECOLOGÍA TERRESTRE

<http://www.aeet.org>



La flora alpina de europa Y el cambio climático: El caso del pirineo central

(PROYECTO GLORIA-EUROPE)

Luis Villar & José Luis Benito Alonso
Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC
Apartado 64. E-22700 JACA (Huesca)
c.e: lvillar@ipe.csic.es

Presentación

Sabido es que las montañas son reservas de biodiversidad (DAVIS & *al.*, 1994) y que algunos de sus organismos y comunidades son sensibles al cambio climático (HOLTEN, 2001; KÖRNER, 1994). En este contexto, el proyecto GLORIA-Europe (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) fue aprobado por la U. E. en 2000 dentro de su V Programa Marco y se viene desarrollando durante los años 2001 a 2003. Desde el punto de vista organizativo, propuso el establecimiento de una red internacional para el estudio de los impactos del cambio global en la flora y vegetación de alta montaña.

Partiendo de ese ámbito europeo, el proyecto se incluyó en la más amplia perspectiva de GTOS (Global Terrestrial Observing System), programa apoyado por la UNESCO, FAO, etc., porque pretende proyectarse a otras montañas extraeuropeas del mundo. De hecho, ya se ha probado en Nueva Zelanda o en los Andes. Véase, para más información, la página web del proyecto: www.gloria.ac.at.

La participación de 18 equipos de 15 cordilleras europeas permitió estudiar la flora subalpina y alpina de 72 cimas, desde la Sierra Nevada española hasta los Montes Escandinavos (Suecia y Noruega) y desde Escocia hasta los Urales (véase anexo II, fig. 1). En cada una de las 18 zonas piloto se escogieron 4 cimas, a altitudes determinadas bioclimáticamente de modo que fueran comparables con independencia de la latitud:

la más baja a nivel del límite superior de los bosques (subalpino-alpino);

la segunda en el llamado piso alpino (inferior-superior);

la tercera en el alpino superior, rozando el subnival;

la más elevada en el piso subnival o en el nival.

Para el caso que nos ocupa, después de varios tanteos y ante la imposibilidad de encontrar áreas no pastadas, propusimos como zona piloto del Pirineo Central Español (nº.2, fig. 1 del anexo II) el Monte Perdido –el macizo calizo más alto de Europa–, en el ámbito del Parque Nacional de Ordesa, y escogimos cuatro cumbres representativas en su vertiente S, a sotavento de los vientos húmedos del NW y hasta donde llega cierta influencia oromediterránea. Dichas cimas son:

a) Punta Acuta, 2242 m;

b) Custodia, 2519 m;

c) Tobacor, 2779 m, y

d) Punta de las Olas, 3022 m.

Planteamiento, hipótesis, objetivos, fundamento y metodología

Con el fin de llevar a cabo el seguimiento de los biotas alpinos (flora, comunidades vegetales, biotemperatura) intentamos detectar los efectos del cambio climático global sobre ellos. Por un lado, se buscaban ecosistemas sensibles a dicho cambio; pero por otro interesaba delimitar parcelas de observación en un territorio lo más amplio posible, de suerte que con el tiempo se pudieran comparar a escala mundial. Así, partiendo de la experiencia europea en esta primera fase del proyecto, se pretende establecer zonas piloto a lo largo de los principales gradientes climáticos, tanto latitudinales -en las diversas zonas biogeográficas- como altitudinales, de la Tierra.

Como **hipótesis** principal se planteaba seguir de cerca los cambios en la biodiversidad vegetal inducidos por el cambio climático. Por medio de métodos sencillos podrían observarse variaciones en la riqueza de especies vegetales -presencia/ausencia- a corto o medio plazo, por ejemplo entre 5 y 20 años, mientras que los cambios visibles en el recubrimiento y la estructura de la vegetación podrían detectarse a medio o largo plazo, es decir, entre 20 y 50 años.

A grandes rasgos, los **objetivos** propuestos fueron los siguientes:

cuantificar los cambios en los patrones de biodiversidad de plantas vasculares a lo largo de un gradiente altitudinal y asimismo buscar su relación con los gradientes ambientales (temperatura, innivación). Y todo ello en cordilleras representativas de los principales biomas de la Tierra

establecer el riesgo potencial de las posibles pérdidas de biodiversidad ante el cambio climático mediante la comparación de los patrones de distribución de las especies o comunidades con los factores ambientales, y siempre siguiendo gradientes horizontales o verticales

cuantificar también los cambios en el tiempo de los patrones de biodiversidad mediante el seguimiento o repetición de las observaciones en las áreas piloto o "multi-cimas", a intervalos de 5 a 10 años e incluso más frecuentemente si fuera necesario buscar la manera de pulsar los riesgos comparando los datos obtenidos por el seguimiento.

Sin duda, varias **razones apoyan la elección de los biomas de alta montaña** para el establecimiento de una red como la mencionada, destinada a pulsar los efectos del cambio global, concretamente del cambio climático:

Los biomas de alta montaña se dan a todas las latitudes y cubren todas las zonas biológicas -en el sentido de (WALTER, 1985)-. Por ello se destacan como el único bioma terrestre donde pueden detectarse los cambios inducidos por el clima en todos los gradientes fundamentales (altitudinales, latitudinales y longitudinales).

Los acusados gradientes ecológicos de las montañas son resultado de la "compresión" de las zonas térmicas en poco espacio. Por ello, las montañas son áreas de gran diversidad vegetal y animal, lo que se refleja muchas veces en su alto grado de endemismo. Entonces, los biomas de alta montaña se muestran particularmente vulnerables al cambio climático y pueden sufrir pérdidas considerables de biodiversidad.

Presentan ecotonos estrechos o bien definidos, donde se pueden ver cambios en poco trecho.

Son relativamente sencillos.

Su grado de naturalidad es elevado, al menos en muchos países; por eso, los posibles cambios a observar no deberían estar demasiado influidos por el hombre.

La mayoría de las plantas de alta montaña son perennes, de larga vida, sensibles a cambios a medio plazo, varios años o décadas.

Los muestreos de vegetación no necesitan repetirse dentro de la misma estación y pueden llevarse a cabo en un corto período de tiempo durante la estación de crecimiento o desarrollo vegetativo.

Más concretamente, dentro de las montañas, **también hay argumentos a favor de las áreas cimera**s para llevar a cabo dichas observaciones a medio y largo plazo, a pesar de sus peculiares condiciones geomorfológicas, climáticas, hidrológicas y de vegetación:

Se pueden definir, delimitar y comparar fácilmente unas con otras como unidades de paisaje. Además, a pesar de su reducida área, contienen hábitats en todo tipo de exposición.

No sufren los efectos de la sombra de los territorios circundantes. Por ello, a una determinada altitud, pueden representar bien el clima promedio. Sin duda, las condiciones de las laderas medias de una montaña dependen más de los territorios circundantes y por eso no son tan comparables entre sí.

La composición específica de las cimas corresponde limpiamente a su altitud, si tenemos en cuenta que su flora no se ve enriquecida por elementos venidos de más arriba. No ocurre así en las laderas, máxime si se hallan junto a corrientes de agua por donde muchas diásporas pueden llegar cuando se producen perturbaciones.

De modo general, las cimas, por su peculiar topografía, albergan una considerable variedad de hábitats y comunidades vegetales. Eso da lugar a cierta variedad de nichos ecológicos, y a un mayor número de especies. Igualmente, la presencia de los citados ecotonos muy definidos puede facilitar el reconocimiento de sus posibles desplazamientos, inducidos por el clima.

Recíprocamente, algunas cimas pueden actuar como reducto donde quedan atrapadas algunas especies que migran desde altitudes inferiores, en especial criófitos con escasa competitividad. Así, se conoce el caso de montañas aisladas, donde el alto porcentaje de endemismo se concentra en los puntos más elevados (GRABHERR, 1995; THEURILLAT, 1995; PAULI, 2003a).

Las cumbres no son propensas a perturbaciones fuertes, tales como desprendimientos o avalanchas. Sin duda, ello redobla su valor para observaciones a largo plazo.

-finalmente, las cimas montañosas pueden considerarse hitos fáciles de reencontrar para posteriores estudios.

Tras muchas discusiones se desarrolló una **metodología** única, plasmada en el manual para los trabajos de campo de GLORIA (PAULI, 2003b); por este procedimiento se pretendía que la comparación entre los datos obtenidos tuviera la mayor fuerza posible y asimismo que se facilitaran la elaboración de los datos y su consistencia estadística.

Se empezó por dar normas para seleccionar, dentro de cada cordillera, la zona piloto adecuada (p. ej., conjunto de cimas a lo largo de un gradiente, pero dentro de un área climática, en un macizo edáficamente homogéneo, etc.), evitando en lo posible las cumbres sometidas a pisoteo turístico o a pastoreo intenso y prefiriendo siempre las que tienen forma cónico-piramidal suave. También se aconsejó establecer las zonas piloto en espacios naturales protegidos (Parques Nacionales, Reservas de Biosfera, etc.), con el fin de facilitar las repeticiones a medio y largo plazo.

Tal como ilustramos en la fig. 2 del anexo II, se señalaron 16 parcelas permanentes de 1 m² en torno a cada cima para su seguimiento a medio plazo. Se distribuyeron en grupos de a cuatro por cada punto cardinal (N, S, E y W) señalado con precisión a partir del vértice, incluso corrigiendo la desviación relacionada con el N magnético. Cada uno de esos grupos se situó a 5 m de altitud por debajo del punto culminante, se subdividió cada parcela en 100 subparcelas o cuadrados de 10 x 10 cm y se registraron en ellos los siguientes datos:

presencia de suelo desnudo o roca

especies vegetales vasculares halladas: frecuencia y cobertura

presencia o ausencia de excrementos de herbívoros

presencia de plantas comidas o despuntadas por los mismos, y

huellas o efectos del pisoteo animal.

Asimismo, se registró la presencia de líquenes sobre las piedras sueltas o rocas, entre otros aspectos (PAULI et al., l.c.). Complementariamente se tomaron fotografías

testigo de cada parcela una vez realizadas las observaciones y se anotaron todas las especies vegetales encontradas en el área cimera, delimitada entre la cumbre y la curva de nivel de -10 m; además, se estimó su abundancia por un procedimiento sencillo al azar llamado "step-pointing" (CUNNINGHAM, 1978).

Finalmente, teniendo en cuenta que uno de los factores limitantes de los biota de alta montaña es la temperatura, se instalaron de 1 a 5 sensores térmicos a 10 cm de profundidad en cada cima, ya fuera en el centro de los indicados grupos de parcelas, ya en el vértice ("high summit point"), fotografiando el lugar antes y después de ser enterrados. Así se obtuvieron series de registros térmicos cada hora, casi continuos y simultáneos, en las montañas de toda Europa, durante un año o más.

Todos las observaciones han sido almacenadas en una base de datos en Access creada al efecto por el laboratorio coordinador (Instituto de Ecología y Biología de la Conservación, Universidad de Viena), donde se guarda.

Cabe añadir que tanto el diseño experimental como los sensores térmicos ya habían sido probados con anterioridad sobre el terreno, el primero en Sierra Nevada y el segundo en distintas cordilleras (años 1999-2000), lo cual facilitó la aplicación concreta al proyecto, a pesar de las dificultades normales del trabajo en alta montaña (acceso, transporte de utillaje e instrumentación, señalamiento, etc.).

Además, algunas zonas piloto complementaron los datos requeridos por nuestro proyecto con otros más detallados o bien unieron nuestra metodología a la de otros estudios en curso (caso de Noruega y Escocia, por ejemplo). Son las llamadas "master stations", es decir, áreas piloto de referencia, más o menos monitorizadas.

Primeros resultados

Vegetación

Iniciamos la presentación de los resultados comentando el tipo de comunidad observado en cada una de las 64 parcelas de muestreo, 16 por cada cumbre y en ella 4 al N, 4 al S, 4 al E y 4 al W.

Punta Acuta, Norte.- Se trata de un pasto pedregoso bastante inclinado (20°), que cubre menos de la mitad (cobertura entre 25 y 41%) de un terreno dominado por la gramínea dura *Festuca scoparia*; ahora bien, queda sitio para otras especies que lo caracterizan, como *Helictotrichon sedenense*, *Rhinanthus mediterraneus*, *Potentilla tabernaemontani*, *Lotus alpinus*, etc., y también se dan especies glareícolas (*Borderea pyrenaica*, *Saxifraga paniculata*, *Thymus nervosus*, etc.) o de crestas crioturbadas

(*Geranium cinereum*, *Vitaliana primuliflora*); *Arenaria purpurascens* puede asociarse con la presencia de la nieve. Pastoreo, pisoteo y presencia de excrementos resultaron moderados (entre 8 y 25 % de las subparcelas de 10 x 10 cm).

Punta Acuta, Este.- Son pastos bastante ricos en especies, entre 20 y 29, pero a diferencia de lo que ocurría al N ya no domina la *Festuca scoparia*, sino la *F. eskia*, y la cobertura no supera el 40%. Junto a ella hay bastantes plantas de pasto pedregoso como *F. pyrenaica* o *Carex rupestris* y de suelos crioturbados (*Oxytropis pyrenaica*, *O. campestris*, *Plantago monosperma*, *Bupleurum ranunculoides*). Otras plantas del pasto ocupan muy poco (*Lotus alpinus*, *Potentilla tabernaemontani*) salvo *Helictotrichon sedenense*, la segunda en abundancia. En estos cuadrados observamos mayor actividad de pastoreo (50% de las parcelas), un número todavía mayor pisoteadas (57%) y el 22% de ellas muestra algún excremento.

Punta Acuta, Oeste.- Resulta más acogedor para el ganado que los anteriores, ya que hay indicios de pastoreo y señales de pisoteo en prácticamente todas las parcelas (un 99%). Paralelamente anotamos la presencia de excrementos en el 41% de ellas. La *Festuca eskia* cubre entre un 12 y un 45%, más que en las dos exposiciones comentadas (N y E), pero sobre todo aparece el regaliz de montaña (*Trifolium alpinum*), con una cobertura entre el 20 y el 55 %. Se trata sin duda de un buen pasto, donde el cervuno, *Nardus stricta*, se mantiene a raya por efecto del diente de los herbívoros, el cual permite el encespedamiento (cobertura total entre 84 y 98%) y como consecuencia de todo ello el número de especies es bajo, entre 8 y 13. Faltan por completo las plantas de roca o de suelos pedregosos y dominan las de pastos elevados como *Campanula scheuchzeri*, *Agrostis capillaris*, *Phyteuma orbiculare*, *Plantago alpina*, etc. *Calluna vulgaris* y *Carex caryophylla* marcan la acidificación superficial del suelo, mientras que *Euphrasia salisburgensis* y *Cirsium acaule* indicarían el citado pastoreo repetido.

Punta Acuta, Sur.- En la solana todas las parcelas muestran los efectos del diente de los herbívoros y de su pisoteo (100% y 95%). Igualmente, el 55% muestran algún excremento, más que en ninguna otra exposición de esta cima y de toda el área estudiada. La cobertura es también alta, entre el 77 y el 96 %. Aquí la *Festuca eskia* es la planta más frecuente, seguida de *F. rubra*, *Achillea millefolium*, *Carex caryophylla* y *Campanula scheuchzeri*. Se trata de la ladera relativamente suave de esta cima, por cuanto la opuesta exhibe cerca un despeñadero de 1000 m, el cañón de Ordesa.

Custodia, Norte.- Dada su altitud, 2519 m, hay notables cambios en cuanto a la composición florística se refiere, comparándola con Acuta. La fuerte pendiente (20°) y lo pedregoso del suelo hace que haya escasos excrementos (3,5 %), poco rastro de pisoteo (20%) y ninguna planta comida; la única algo apetitosa sería el *Helictotrichon sedenense*. De hecho, no hay nunca más de 13 especies y no cubren más del 40%. Se trata de plantas glareícolas (la piedra aflora hasta en un 80% de la superficie) y de la

nieve (*Saxifraga oppositifolia*, *Thymus nervosus*, *Festuca pyrenaica*, *Saxifraga moschata*, *Silene acaulis*, *Geranium cinereum*). Abajo quedaron *Trifolium alpinum* y *Festuca eskia*; escasea *F. scoparia* y vemos algún pie de *F. rubra* y *Trifolium thalii*.

Custodia, Este.- Similar a la anterior, pero con mayor pendiente (40°), por lo que las 5 a 9 especies sólo cubren del 9 al 26%. Todas son pioneras de alta montaña (*Saxifraga oppositifolia*, *Potentilla nivalis*), ya fisurícolas como *Saxifraga paniculata* ya de suelos crioturbados como *Geranium cinereum* y *Ranunculus heterocarpus*. Piedra innivada nos indica *Arenaria purpurascens*, como ya dijimos-. En un lugar tan quebrado, con especies tan poco apetitosas, el pastoreo es inapreciable y sólo se observaron excrementos en una cuadrícula elemental.

Custodia, Oeste.- Vimos muy pocas especies, todas de escasa cobertura y algunas nivícolas como *Leucanthemopsis alpina*, *Gentiana nivalis* y *Festuca glacialis*. Probablemente el *Trifolium thalii* sea la planta más apetitosa, pero es rarísima. Aquí había algún indicio más de pisoteo (14%), pues la pendiente es menor (20°) pero apenas se vio algún excremento y no se anotó pisoteo.

Custodia, Sur.- Es el punto menos inhóspito en esta cima, como en la Punta Acuta, pues la pendiente es suave (15°) y el pasto llega a encespedar (70-75%). La acción del diente se vio en un 40 % de las parcelas, más de 55% de ellas estaban pisoteadas, pero había pocos excrementos (7%). Precisamente esta acción de los sarríos y ovejas favorece alguna planta del pasto: *Lotus alpinus*, *Potentilla tabernaemontani*, *Festuca rubra* abundan, pero *Helictotrichon sedenense* (puede llegar a cubrir el 40%) es dominante. La presencia mínima de *Thalictrum alpinum* nos recuerda la altitud y la innivación creciente.

Tobacor y Punta de las Olas. En estas dos cimas alpina y subnival casi todo es piedra y la innivación se prolonga hasta julio y agosto; apenas hay excrementos o acción visible de los herbívoros; rara vez llega algún sarrío, pero cerca hay lugares más seguros para varios hatos de ellos con un césped productivo de *Trifolium thalii*. El único animal que vimos fue un roedor. Todas las plantas son pioneras de alta montaña: *Leucanthemopsis alpina*, *Saxifraga iratiana*, *S. oppositifolia*, *Poa alpina*, y, sobre todo, hallamos la primulácea *Androsace ciliata*, la endémica más bonita de las cimas.

Efectos del pastoreo

Más concretamente, los efectos del pastoreo (hierbas despuntadas, presencia de excrementos, huellas de pisoteo) en unas y otras subparcelas han sido resumidos en la Tabla 1 y nos llevan a las siguientes consideraciones (VILLAR & BENITO, 2003).

Tabla 1. Recuentos de excrementos, pastoreo y pisoteo en las parcelas de 1 m²

| N.º parcela | ACUTA (2242 m) | | | | | | CUSTODIA (2519 m) | | | | | | |
|-------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|----|----|----|----|-----|------|
| | 11 | 13 | 31 | 33 | Σ | % | 11 | 13 | 31 | 33 | Σ | % | |
| N | Excrementos | 16 | 4 | 4 | 10 | 34 | 8,5 | 1 | 4 | 4 | 5 | 14 | 3,5 |
| | Pasto | 28 | 37 | 4 | 17 | 86 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pisoteo | 17 | 45 | 14 | 24 | 100 | 25 | 15 | 14 | 23 | 29 | 81 | 20,3 |
| S | Excrementos | 44 | 62 | 62 | 43 | 211 | 53 | 2 | 1 | 13 | 12 | 28 | 7 |
| | Pasto | 100 | 100 | 100 | 100 | 400 | 100 | 28 | 48 | 35 | 46 | 157 | 39,3 |
| | Pisoteo | 88 | 95 | 100 | 96 | 379 | 95 | 50 | 17 | 88 | 72 | 227 | 56,8 |
| E | Excrementos | 6 | 25 | 16 | 42 | 89 | 22 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4 | 1 |
| | Pasto | 35 | 47 | 62 | 56 | 200 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pisoteo | 46 | 60 | 52 | 68 | 226 | 57 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,25 |
| W | Excrementos | 47 | 48 | 49 | 21 | 165 | 41 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,25 |
| | Pasto | 100 | 95 | 99 | 100 | 394 | 99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pisoteo | 100 | 96 | 99 | 100 | 395 | 99 | 7 | 22 | 14 | 13 | 56 | 14 |

1.- Como era de esperar, las parcelas más intensamente pastoreadas, pisoteadas y con mayor presencia de excrementos son las de la cima inferior, Punta Acuta, y dentro de ella, las situadas en exposición S y W. Así, el 67 % de los 1600 cuadrados elementales (de 10 x 10 cm) habían sido pastoreados y el 31 % exhibían excrementos. Es posible que los animales permanezcan sesteando en esta cima, especialmente en los momentos de mayor calor veraniego.

2.- En las subparcelas de Custodia sólo había hierbas comidas en un 9,8 % y apenas vimos excrementos en un 3% del total. En exposición N y E apenas hay rastros de ganado, por su fuerte pendiente (20° y 40° respectivamente). En exposición W había indicios de pisoteo (14 %), pero ausencia de pastoreo y rarísima presencia de excrementos. Al S la pendiente era más suave (15°) y el pasto casi encespaba (70-75 % de recubrimiento); el 55 % de las subparcelas había sido pisoteado, y la acción de los herbívoros alcanzó el 40 %. No obstante, a pesar de ser el punto más acogedor escasearon los excrementos (7 %).

3.- Las cimas superiores no mostraron ningún excremento ni acción de pastoreo.

En conclusión, el pastoreo es relativamente importante en dos de las cimas, de suerte que su intensidad debe ser tenida en cuenta al analizar los efectos del cambio climático en estos ecosistemas herbáceos pirenaicos, al menos entre los 2200 y 2500 m de altitud. Ahora bien, no ocurre así en todas las demás cordilleras europeas. Al parecer, el Cáucaso sería comparable al Pirineo, pero otras áreas piloto como Sierra Nevada, parte de los Alpes, Montes Escandinavos, etc., se verían libres de esa influencia o factor ecológico inducido por el hombre.

III. Riqueza florística y su relación con altitud, latitud, exposición, etc.

Veamos ahora la riqueza florística de nuestra zona piloto, que asciende a 105 especies vasculares (Véase Anexo I, Lista de especies halladas en cada cima). Las cifras obtenidas en cada una de nuestras cimas pirenaicas nos permitirá relacionarla con la altitud:

Punta Acuta 2242 m : 67 especies

Custodia 2519 m : 56 especies

Tobacor 2779 m : 20 especies

Punta de las Olas 3022 m: 9 especies.

Tal como se ve, la mayor riqueza florística –más de 60 especies- se da en el límite superior forestal, hoy transformado en pastos, y disminuye considerablemente en el nivel alpino (reducción de c 20 %, o sea, pérdida de 4 especies cada 100 m de altitud). Mientras tanto, las dos cimas (alpina y subnival) superiores no pasan de 20 especies, todas ellas pioneras de glera o rellanos y fisuras de roca (reducción de 60% o más con respecto Custodia), con buena proporción de endemismos como la citada *Androsace ciliata*, *Minuartia cerastiifolia* y otras. A escala europea, en los cuadrados de 1 x 1 m pueden hallarse hasta 40 especies vasculares, pero en las dos cimas superiores tampoco suelen pasar de 20 taxones.

Ahora bien, la curva que relaciona la disminución del número de especies con la altitud presenta pendiente diversa en las distintas cordilleras europeas, destacándose dos posibles ecotonos, uno al pasar del piso subalpino al alpino y otro al acceder al piso subnival. Todo ello vale tanto para el conjunto de las áreas cumbreñas como para los grupos de cuadrados.

La flora de las cimas estudiadas de Europa alcanza casi 1000 taxones (981 exactamente), de los cuales 249 (c. 1/4) son endemismos en sentido amplio y 99 (c. 1/10) en sentido estricto. Se confirma que las cimas calizas son más diversas florísticamente que las silíceas; así, en las Dolomitas frente a 16 endemismos calcícolas hay 6 silícícolas. En el Pirineo el número total de especies (105) es intermedio entre las 79 de la Sierra Nevada y las 198 de los Alpes calizos.

Por otra parte, contra lo que cabría esperar, en algunas zonas piloto el porcentaje de endemismos se incrementa con la altitud; nosotros ya lo habíamos señalado en el Pirineo (SESÉ & al. 1999), pero ahora se comprueba también en otros montes, especialmente los "mediterráneos" como la Sierra Nevada. Ahora bien, las islas – Creta, Córcega- presentan su propia pauta. Por supuesto, algunas de las especies estudiadas en las cimas entran en la flora amenazada del territorio, en eso se destaca el Alto Tatra, donde alcanzan el 36 % del total.

Atendiendo a un gradiente latitudinal europeo, se confirma que la riqueza florística de las cimas es considerablemente mayor en cordilleras meridionales que en las centroeuropeas y nórdicas. Hasta 5 zonas se podrían distinguir desde este punto de vista, y el Pirineo quedaría situado en la banda que podríamos llamar "submediterránea", junto a los Alpes meridionales, los Apeninos, montes de Córcega y otros.

Al relacionar **la riqueza florística con la exposición**, podemos adelantar que en el conjunto de las montañas europeas, las laderas más favorecidas florísticamente parecen ser las expuestas al E. Una posible explicación estaría en la frecuencia de frentes húmedo-fríos del W-NW y en la mayor insolación de dicha cara oriental. No obstante, nuestra Cordillera Pirenaica se aparta de esa norma y su exposición más abrigada sería la S y aún la W. Su condición de eje W-E o las peculiares condiciones geomorfológicas de las cimas escogidas podrían explicarlo.

Algunos equipos están calculando índices de diversidad para sus respectivas cimas y exposiciones o han obtenido espectros corológicos o de formas biológicas; por ejemplo, la flora de la zona piloto del Cáucaso está dominada por hemcriptófitos, un 68% del total. Esta cifra es parecida a la que hallamos en el piso alpino del Pirineo, donde por encima de los 2300 m de altitud y hasta los 3400 m se acerca al 63 % (SESÉ & *al.*, 1999).

También hay zonas piloto –países nórdicos, Alpes- donde se han estudiado los briófitos o los líquenes en relación con el proyecto, pero al parecer estos vegetales inferiores presentan estrategias muy diferentes de las plantas vasculares y además, resultan más difíciles de identificar.

IV. Análisis de las Temperaturas del suelo en las cimas (Véanse figs. 3 y 4 del anexo II) y su relación con la biodiversidad

Los datos obtenidos nos delimitan con claridad el período de heladas (fig. 3), que en el Monte Perdido se extiende desde (Octubre) Noviembre a Mayo (Junio) -ocho largos meses-, si bien las dos cimas inferiores cuando llega marzo ya se aproximan al deshielo. La cima inferior (Acuta) apenas llega a rozar los -5°C dos veces, mientras que las otras tres –sobre todo las dos más elevadas- se congelan hasta -10°C también dos veces. Los correspondientes días de helada son: Acuta, 160; Custodia, 190; Tobacor, 218 y Olas, 251; ello significa que por cada 100 m de elevación el número de días de helada se incrementa en unos 11 días. La máxima diferencia entre

la cara N y la S se da en Punta Acuta (70 días más en el N). La evolución de esas temperaturas mínimas no presenta grandes diferencias entre las distintas cimas a lo largo del verano; ahora bien, sí se aprecian discordancias en otoño y primavera.

Como era de esperar, las oscilaciones térmicas son más acusadas en las exposiciones abrigadas (S sobre todo) que en las frías, sin duda por la "protección" más irregular, menos constante, del manto nival. Hay pocos ciclos hielo-deshielo en el suelo, salvo en la cresta más alta durante el otoño y en las dos más bajas durante la primavera. Como prácticamente todas las especies son perennes, es posible que ello tenga consecuencias fisiológicas y nos atrevemos a apuntar que las yemas persistentes bajo el suelo podrían resultar menos dañadas de lo esperado.

Respecto a las **temperaturas máximas diarias** (fig. 4) se aprecia que la cima más "cálida" no es la más baja, sino la siguiente (Custodia), probablemente por las nubes parásitas. Los mayores altibajos se dan en

Por nuestra parte, durante el otoño de 2001, desde finales de agosto a fin de Diciembre, pudimos comparar los datos del suelo con los de la superficie (registrados en la estación meteorológica de Góriz -2200 m-, en Ordesa, instalada por el Instituto Nacional de Meteorología). Las diferencias entre una y otra serie de datos son notables, pues la T del suelo desciende \pm regularmente, mientras que la aérea sube y baja mucho; es más, al aproximarse el invierno hay 5 episodios de hielo-deshielo en superficie pero ninguno de ellos en el suelo. Además, la mayor inercia térmica del suelo con respecto al aire se destaca claramente, pues la T edáfica asciende o desciende 2-3 días después que la atmosférica.

Los registros térmicos permiten también averiguar cuál es la duración del período vegetativo en las zonas piloto estudiadas, esto es, la parte del año en que la T media alcanza los 2 °C, los supera en verano y en otoño vuelve a descender hasta la misma cifra o inferior. Este período está bien correlacionado, en efecto, con la altitud y con la T media. A falta de concretar, podemos adelantar que en el conjunto de las zonas estudiadas tendría una duración aproximada de 150 días y que la T media en ese período se situaría en torno a los 8 °C. En el Monte Perdido oscila entre los 194 días de Punta Acuta y los 113 de la Olas, o sea, que muestra un descenso de c. 10 días por cada 100 m de elevación en altitud.

A escala continental, los datos de la llamada biotemperatura son bastante similares para la mayoría de las cordilleras, en las cimas subalpinas y alpinas estudiadas, con excepción de las nórdicas, donde ya a 800 m de altitud se observa permafrost en buena parte del terreno y durante bastante tiempo.

Ascendiendo en altitud, por cada 100 m la T media desciende en Europa entre 0,5 y 0,8°C. Es muy posible que tan solo una desviación de 1,5°C en esta media provocara cambios muy importantes en la zonación altitudinal de la vegetación. En el caso de nuestra zona piloto oscila entre 0,37°C y 0,83°C, esto es, una media de 0,61°C por cada 100 m de altitud.

Corolario

La elaboración de los datos del proyecto GLORIA-Europe todavía sigue y esperamos que dé lugar a unas cuantas publicaciones. En ellas podremos comparar los datos del Pirineo con los obtenidos en otras cordilleras y habremos sentado las bases para averiguar en el futuro las posibles modificaciones en la biodiversidad de nuestras montañas por causa del cambio climático tan visible en los glaciares residuales.

Añadamos, para acabar, que varias organizaciones no gubernamentales o programas internacionales, por ejemplo CIPRA (Comisión Internacional para la Protección de los Alpes) o "European Mountain Forum" siguen de cerca el proyecto y esperan poder aplicar los resultados.

Referencias

- Cunningham, G.M. (1978). Modified step-pointing: a rapid method of assessing vegetation cover. *Journal of Soil Conservation* 13: 256-265.
- Davis, S.D., V.H. Heywood *et al.*, Eds. (1994). *Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation*, WWF & UICN.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Gruber, A. & Pauli, H. (1995). Patterns and Current changes in Alpine Plant Diversity. *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences*. F.S.K. Chapin III, K. Berlin, Springer. 113: 167-181.
- Holten, J.I. (2001). Mountains and Sub-arctic Environments. *Climate Change 2001 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. J.J.e.a. McCarthy. Cambridge, Cambridge University Press: 660-662.
- Körner, C. (1994). Impact of atmospheric changes in high mountain vgetation. *Mountain environments in chanching climates*. M. Beniston. London, Routledge: 155-156.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dirnböck, T., Dullinger, S. & Grabherr, G. (2003a). Assessing the long term dynamics of endemic plants at summit habitats. *Alpine Biodiversity in Europe*. L. Nagy, Grabherr, G., Körner, K. & Thompson, D. B. A. Berlin, Springer.
- Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter, K. T. & Grabherr, G. (2003b). *The GLORIA Field Manual. Multi-Summit Approach*. Bruselas, U.E.

Sesé, J.A., J.V. Ferrández *et al.* (1999). La flora alpina de los Pirineos: un patrimonio singular. *Espacios naturales protegidos del Pirineo. Ecología y cartografía*. L. Villar. Huesca, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón: 57-76.

Theurillat, J.P. (1995). Climate change and alpine flora: some perspectives. *Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains*. A. Guisan, Holten, H. I., Spichiger, R. & Tessier, L. Genève, Conserv. Jard. Bot.: 121-127.

Villar, L., Benito, J. L. (2003). Pastoreo y excrementos en el piso alpino del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. *Actas XLIII Reunión Científica de la SEEP*. Granada, SEEP-CSIC.

Walter, H. (1985). *Vegetation of the earth and ecological systems of the geobiosphere*. Berlin, Springer.