

## CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEBIDOS A UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ ALPINO EN EL PIRINEO

D. GOÑI & D. GUZMÁN

LARRE, S. C. / Monasterio de Iguácel, 11, 3º B. 22700 Jaca, Huesca. España

*ABSTRACT.*— *The negative influence of the construction and development of a ski station on the vegetation is presented in this paper on the basis of a study in the Pyrenean Espot ski area, at Pallars Sobirà, province of Lérida, Catalonia, Spain. Two levels were studied, landscape and plant communities. Landscape was negatively affected, because of the reduction of wet areas, forests and meadows and the increasing of open areas. A decrease of the high value plant communities was shown, together with the augmentation of the banal ones. More precisely, the installation of new pistes by removing the ground produced a strong impact on soil deepness, cover degree and diversity of plant species. On the contrary, if soil remains not disturbed and if there is a grazing activity it would be possible to maintain ski-runs with a certain naturalness. As a conclusion, the authors suggest a diminution of the frequency and intensity of perturbations, and a good pasture activities as well.*

*RÉSUMÉ.*— *Nous présentons une étude sur les impacts des infrastructures et actions dues à la pratique du ski alpin sur la végétation de la haute montagne. Le modèle choisi a été la station pyrénéenne d'Espot, en Pallars Sobirà, province de Lérida (Catalogne, Espagne). Ce travail porte sur deux niveaux, celui du paysage et celui des communautés végétales. La construction d'une station de ski affecte négativement le paysage car la surface des zones humides, des forêts et des prairies de fauche s'est vue réduite et parallèlement ont augmenté les terrains dépourvus de végétation. Autrement dit, on observe une augmentation des communautés banales et une diminution des types de végétation à plus haute valeur. L'ouverture de nouvelles pistes comporte l'élimination du sol et par conséquent un fort impact négatif sur le recouvrement végétal, la maturité de la communauté et sa richesse en espèces. Au contraire, si le sol n'a pas été altéré et s'il y a des troupeaux en parcours, on peut arriver à maintenir des pistes assez voisines de l'état naturel. En conclusion, nous suggérons des perturbations moins intenses et moins fréquentes, ainsi qu'une gestion extensive des écosystèmes pastoraux.*

*RESUMEN.*— *Se ha realizado un estudio sobre las afecciones en la vegetación de las infraestructuras y acciones relacionadas con la práctica del esquí alpino en la alta montaña. Se ha tomado como modelo la estación de Espot Esquí, situada en el Pallars*

*Sobirà, Lérida. El estudio se ha enfocado a dos niveles, paisaje y comunidades vegetales. Se ha encontrado que el paisaje se ve afectado negativamente por la construcción de una estación de esquí, ya que se ven reducidas las zonas húmedas, los bosques y la pradería, mientras aumentan las zonas sin cubierta vegetal. Se da una disminución de los tipos de vegetación más valiosa, mientras que aumenta la más banal. El estudio de las comunidades vegetales a mayor detalle muestra que la creación de nuevas pistas con eliminación del suelo supone un fuerte impacto negativo en la cobertura, profundidad del suelo, madurez de la comunidad, biodiversidad y tipo de especies encontradas. Cuando no se altera el suelo y hay ganado pastando se pueden mantener unas pistas en condiciones naturales aceptables. Se sugiere la reducción de la intensidad y frecuencia de las perturbaciones, junto con la gestión de los ecosistemas de pasto de las pistas mediante el ganado.*

**Keywords:** Vegetation changes, ski area, environmental impact, Central Pyrenees, Spain.

## 1. Introducción

En el Pirineo la alta montaña alberga medios frágiles y atesora un gran número de elementos naturales de gran valor. Prueba de ello es la alta concentración de espacios naturales protegidos que allí se encuentran (VILLAR, 1999). Sin embargo, recientemente se están realizando actividades en este espacio que suponen la alteración de sus ecosistemas. Una de estas actividades es la creación y mantenimiento de estaciones de esquí (BRIAND *et al.*, 1989; PRICE, 1995; MESSERLI & IVES, 1997).

En la actualidad parece existir una demanda creciente para construir nuevas estaciones o remodelar las ya existentes. La gestión de las estaciones de esquí, por lo tanto, se orienta hacia una constante renovación y hacia el crecimiento. Junto con el suelo, la vegetación es uno de los factores naturales que más directamente se ve afectado por la creación de las pistas y estaciones de esquí (BRIAND *et al.*, 1989; PRICE, 1995; MESSERLI & IVES, 1997). Está generalmente aceptado que este impacto es negativo (URBANSKA, 1997; TITUS & TSUYUZAKI, 1998). Sin embargo, no conocemos ningún estudio serio sobre el efecto concreto de estas instalaciones en los Pirineos.

Así pues, el objetivo general de este estudio es determinar qué elementos y variables de la vegetación se ven modificados con la construcción de una estación de esquí y la práctica de este deporte. Se ha seguido una aproximación de estudio a dos niveles de escala diferentes, nivel de paisaje y nivel de comunidad. Esta doble aproximación ya ha sido propuesta para estudiar los impactos de las estaciones de esquí en la vegetación (BAYFIELD, 1974).

En el primero se pretende analizar y cuantificar los cambios que se producen en el paisaje vegetal. Para ello se han analizado algunos índices de la

estructura del paisaje teniendo en cuenta tanto la escala temporal como la espacial, así se ha hecho en otros casos (FARINA, 1998). En ellos se ha utilizado fotografía aérea de diferentes años (FARINA, 1998; TURNER & RUSCHER, 1988) y se han realizado controles en áreas adyacentes (HUEBNER *et al.*, 1999; SELINGER-LOOTEN *et al.*, 1999). Nuestra hipótesis inicial es que la creación y mantenimiento de una estación de esquí produce cambios importantes en el paisaje vegetal. Se espera que la proporción de suelo desnudo aumente significativamente, mientras que disminuya la proporción de pastos y de bosques en el ámbito de la estación. Fuera de la estación, estos cambios o no se producirían o serían en la dirección opuesta, debido al descenso o abandono de las actividades económicas tradicionales (VICENTE SERRANO *et al.*, 2000). También se prevé que los cambios producidos en la estación lleven a la sustitución de los tipos de vegetación más valiosos naturalísticamente por los de menor valor.

A un segundo nivel, más detallado, se ha estudiado el efecto sobre las comunidades vegetales. En los Pirineos, las pistas de esquí se localizan principalmente en el piso subalpino, donde los principales tipos de vegetación son los pastos y los bosques. Así pues se han comparado las comunidades de herbáceas (pastos) fuera de la influencia de una estación de esquí, con las mismas comunidades que se encuentran en pistas con diferente historia y tratamiento. También se han estudiado las características ecológicas de los bosques fuera de la estación con relación a los de dentro de la estación. Hay que señalar que las zonas que se compararon con la estación tenían el mismo tipo de bosque y de pastos que ésta. Para ese fin se han estudiado las siguientes variables: profundidad del suelo, cobertura, estructura, diversidad y papel ecológico de las especies en diferentes zonas forestales y de pastos. Esta aproximación ha sido tenida en cuenta en un buen número de trabajos: BAYFIELD (1980), WATSON (1985) y DENSMORE (1992).

## 2. Área de estudio

Para realizar el trabajo se eligió la estación de ESPOT ESQUI, hasta el año 1998 llamada SUPERESPOT, que se encuentra situada en el Pirineo central, en la comarca del Pallars Sobirà, dentro de la cuadrícula UTM de 10 km de lado 30T CH 31 (Figura 1). Las pistas se encuentran en un valle secundario orientado al noreste: Els Estanyets. Éste linda al oeste con el Parque Nacional de "Aigüestortes i Estany de Sant Maurici", de forma que parte de la estación y de la zona de estudio ocupan su Zona periférica, regulada por la legislación regional.

Es una zona de alta montaña con fuertes pendientes y típico modelado glacial. Toda ella se drena por dos pequeños torrentes: el de l'Escarriella y el de Estanyets, tributarios del río Escrita. El conjunto se asienta sobre diferentes substratos: calizas y calcoesquistos del Devónico, pelitas (esquistos) del Devónico y depósitos cuaternarios (NINOT, 1998).

El clima de la zona estudiada es de alta montaña: frío, húmedo y con abundantes precipitaciones de nieve. Las estaciones meteorológicas más próximas cuyos datos puedan ser utilizados se encuentran en el lago de Sant Maurici (1885 m) y en el propio pueblo de Espot (1320 m). En Sant Maurici la temperatura media anual es de 4,4° C, con una amplitud térmica de 16,3°. La precipitación anual registrada asciende a 1482 mm. En Espot los valores alcanzados por estos tres índices son 8°, 17,6° y 795 mm, respectivamente (NINOT, 1998).

La estación se encuentra entre 1500 m y 2430 m de altitud, aunque algunas instalaciones (protecciones contra aludes) lleguen hasta más de 2600 m. Por lo tanto, la mayor parte de la superficie corresponde al piso subalpino (de 1600 a 2300 m), con una pequeña representación del piso montano en la parte baja y del alpino en las cotas más altas. Hay que destacar una tendencia submediterránea continental en la vegetación del valle estudiado, indicado por el dato de precipitación media anual de Espot, frente a la mayor influencia oceánica en valles próximos hacia el Norte y el Oeste (NINOT, 1998).

La mayor parte de los datos de partida sobre vegetación se han tomado del mapa de vegetación de Cataluña, concretamente de la hoja 1:50.000 Esterrid'Àneu (CARRILLO & NINOT, 1998) y su memoria (NINOT, 1998).

La vegetación potencial está compuesta principalmente por bosques y, en las máximas cotas, por vegetación de rocas y canchales. En la parte baja del área estudiada aparecerían bosques montanos de pino royo (*Hylocomio-Pinetum catalaunicae* y *Veronico-Pinetum sylvestris*). Los bosques subalpinos son de pino negro, o de pino negro y abeto (*Saxifrago-Rhododendretum* y *Veronico-Pinetum pinetosum uncinatae* más *Genisto-Arctostaphyletum*). La vegetación de las rocas calcícolas se agruparía en las alianzas *Saxifragion mediae*, *Iberidion spathulatae* y *Stipion calamagrostis*. En las ácidas aparecen comunidades de *Androsacetalia vandellii* y *Androsacetalia alpinae*.

La vegetación actual está fuertemente influida por los usos del suelo tradicionales. La mayor parte de la superficie del piso subalpino ha sido transformada en pastos desde tiempos antiguos. Estos pastos, en zonas menos transitadas por el ganado, se han visto invadidos por matorrales. En el piso montano se mantiene una gran proporción de los bosques, debido al uso maderero que se ha dado a las laderas pendientes de los valles. En el fondo del valle, sin embargo, los bosques han sido transformados en pradería, un sistema de prados de siega rodeados por setos arbustivos y arbóreos de gran riqueza.

La estación se fundó en 1969 y recientemente, en 1998, ha sufrido un profundo proceso de remodelación de las pistas y otras infraestructuras, para la mejora de la práctica del esquí. Sus dimensiones son las de una estación media del Pirineo. El hecho de ser una estación moderna y con características geográficas muy comunes en el Pirineo catalán hacen de ella un buen lugar de estudio.

### 3. Metodología

#### 3.1 Nivel paisaje

El ámbito del estudio se muestra en la figura 1. Además de la cuenca donde se asienta la estación se han estudiado como controles cuatro valles contiguos que representan su entorno. Así pues, quedan delimitadas cinco áreas de estudio:

Estación (E). Se dibujó un polígono que incluyera todos los remontes y pistas, el dominio esquiable, más algunas infraestructuras asociadas (urbanizaciones a pie de pista y rastrillos antialudes en las cotas más altas). En este caso el rango altitudinal es de 1400 – 2650 m.

Control 1 (C1). Linda por el noroeste con la estación. Ocupa laderas orientadas al norte, las altitudes son semejantes y predominan los bosques. El rango altitudinal es de 1350 – 2350 m.

Control 2 (C2). Linda con la estación por el este. Es una gran ladera ocupada por bosques, orientada al norte. Coincide con la estación en altitud y orientación predominante. Aquí las altitudes van desde 1450 a 2200 m.

Control 3 (C3). Queda al sudeste de la estación, es una cuenca en orientación este con bosques, matorrales y pastos bien repartidos. Se encuentra entre 1250 y 2300 m.

Control 4 (C4). Está situada al sur de la estación, es una zona de pastos de alta montaña, con muy poco bosque, entre 1450 y 2600 m.

Se ha trabajado sobre fotografías aéreas de dos vuelos diferentes. El más antiguo de 1957, realizado aproximadamente 10 años antes de la creación de la estación (1969) y el más reciente del Instituto Cartográfico de Cataluña de 1997, con la estación ya bien desarrollada. El segundo nos muestra el estado del paisaje tras la creación y uso de la estación, aunque en él no se aprecian las últimas y fuertes remodelaciones de las pistas realizadas en los años 1998 y 1999. Con este procedimiento, se han generado dos mapas de vegetación de cada área, lo que da en total 10 mapas.

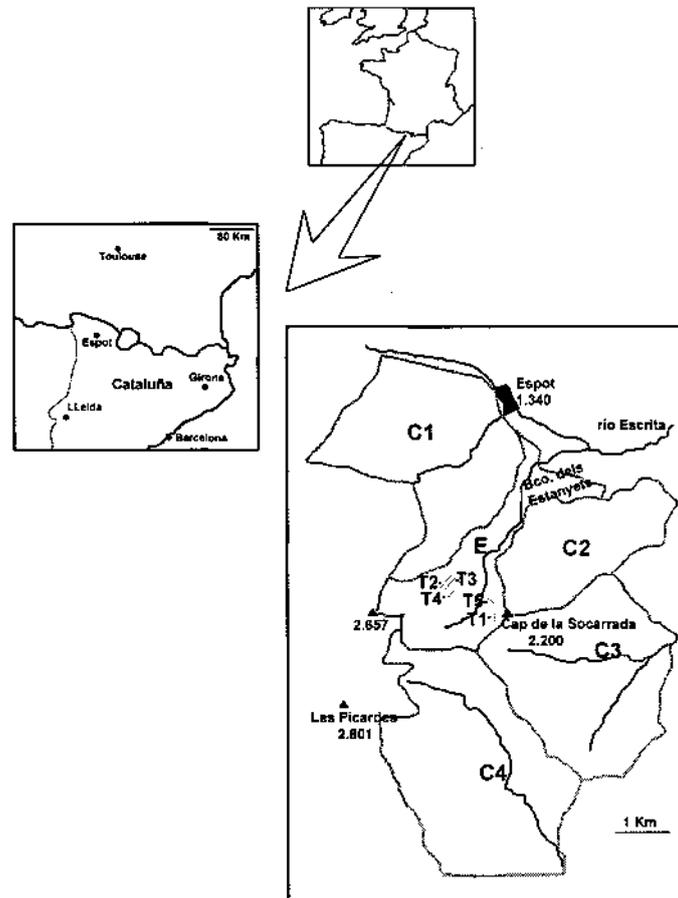


Figura 1. Situación del área de Estudio. C1, C2, C3 y C4: áreas de control; E: Ámbito de la Estación. T1, T2, T3, T4 y T5: Transectos realizados para el estudio de las comunidades.  
 Figure 1. Location of the study area. C1, C2, C3 and C4: Control areas. E: Ski resort influence area. T1, T2, T3, T4 and T5: Plant community study transects.

A partir de las fotografías aéreas se procedió a la interpretación de la vegetación y restitución sobre el mapa topográfico. Tras la restitución, se digitalizaron las manchas de vegetación mediante el programa Cartalinx. Para la interpretación de la fotografía aérea se tuvo en cuenta el Mapa de Vegetación de Cataluña (CARRILLO & NINOT, 1998). Hemos utilizado sus mismas unidades, pero agrupadas, en función de la estructura visual perceptible en la fotografía aérea, en 13 tipos de formaciones vegetales (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de formaciones vegetales reconocidos mediante fotografía aérea.  
 Table 1. Types of vegetal formations distinguished by aerial photography.

	Tipo de formación vegetal	unidad de paisaje
1	Bosques de coníferas montanos (pinos y abetales)	1
2	Bosques caducifolios montanos (bosques mixtos)	1
3	Pinos subalpinos densos	1
4	Pinos subalpinos aclarados	1
5	Matorrales montanos	2
6	Matorrales subalpinos	2
7	Pastos montanos	2
8	Pastos mesófilos subalpinos	2
9	Pastos alpinos	2
10	Prados de siega	2
11	Roquedos y gleras de alta montaña	3
12	Zonas desnudas artificialmente	3
13	Vegetación higrófila de alta montaña	2

Estos 13 tipos de formaciones vegetales se han utilizado en los 10 mapas de vegetación. Posteriormente, para la comparación entre la estación (E) y las áreas control adyacentes (C1, C2, C3 y C4) se han agrupado en 3 unidades del paisaje (tabla 1) principales y claramente reconocibles en la fotografía aérea, con lo que se evitan posibles errores en la fotointerpretación y se facilita el análisis estadístico de los datos (PAN *et al.*, 1999; CARMEL & KADMON, 1999; HUEBNER *et al.*, 1999). Así, se generaron las siguientes unidades de paisaje:

1. Bosques
2. Pastos y matorrales
3. Áreas con escasa o nula cobertura vegetal

Las variables estudiadas de la estructura del paisaje fueron: área ocupada, frecuencia relativa, número de polígonos y tamaño medio de los polígonos, para cada tipo de formación vegetal y para cada unidad de paisaje (FARINA, 1998; PAN *et al.*, 1999; TURNER & RUSCHER, 1988). La frecuencia relativa se midió como el porcentaje de la superficie total que supone la superficie de un tipo de vegetación determinado. La superficie se ha medido en hectáreas (Ha), ya que debido a la escala y el método utilizado, la precisión no podía ser mayor.

Como indicador de la calidad de cada tipo de formación vegetal se tuvo en cuenta el que fuesen hábitats incluidos dentro de la Directiva Hábitats de la Unión Europea (ANÓNIMO, 1992). Para la valoración de los tipos de formación vegetal se pueden usar también otros índices como naturalidad, estructura, singularidad o diversidad. Algunos de estos índices como diversidad y estructura, se analizan a nivel de comunidad, en la segunda parte de este trabajo.

### 3. 2 Nivel comunidades

Los muestreos de vegetación en el campo se realizaron en el verano de 1999. Se realizaron dos grupos de inventarios, agrupados en 5 transectos. En primer lugar se analizaron los pastos, comparando tres zonas: T1, T2 y T3.

El T1 se realizó en un área contigua a la estación y con iguales características que las pistas (altitud, orientación, pendiente, sustrato, etc). Se trata de una superficie de pastos no esquiada y pastoreada actualmente. El T2 se realizó en una pista recientemente remodelada. Presenta una anchura aproximada de unos 40 m. En esta pista se realizaron recientemente movimientos de tierras para obtener una pendiente homogénea y libre de obstáculos de cualquier tipo así como una mayor anchura. Todo ello conllevó la destrucción del suelo. Así, en uno de sus lados hay un desmonte excavado en el perfil original y en el otro lado un talud originado por la acumulación artificial de derrubios. También se apreció la siembra de la pista con una especie de gramínea no determinable. De ella quedaban restos de semillas no germinadas. Por último, se observan unos surcos de más de 0,5 m de profundidad que cortan la pista en diagonal. El tercero de los transectos (T3) se realizó a lo largo de una pista antigua, que corre paralela a la anterior. A finales de los años 60 se realizó la tala del bosque y la extracción de la madera mediante animales de tiro. No parece que en ella se hubiera realizado ninguna remoción de suelo importante ya que quedaban restos de tocones cortados. También difiere de la anterior en que se observan restos de la actividad pastoral, excrementos de ganado y plantas mordisqueadas. Ambas pistas suponen una apertura en el bosque de unos 25 ó 30 m de anchura. Todos los transectos se realizaron en pendientes con una inclinación aproximada de entre 20 y 30°.

En cada una de estas tres zonas colocamos 20 cuadrados de muestreo de 1 m de lado separados en 10 m, cada uno de ellos dividido en 25 subcuadrados de 0,2 m de lado. Para medir la abundancia de cada una de las especies presentes en el cuadrado se anotó el número de subcuadrados de 0,2 m de lado en los que aparecía durante el muestreo. También se controlaron otras variables de cada cuadrado: profundidad del suelo, en dos puntos predeterminados de cada cuadrado y cobertura total del conjunto de las especies.

El segundo grupo de muestreos se realizó en bosques. Se comparó la vegetación de una zona forestal próxima a la estación pero fuera del dominio esquiada (T5) con un bosque que separaba dos pistas (T4). En cada transecto de bosque se colocaron 7 cuadrados de 5 m de lado separados entre sí 25 m. En cada una de estas parcelas se realizó un inventario de las especies que allí se encontraron. Se diferenciaron 5 estratos: muscinal, herbáceo, subarbustivo (matorrales hasta 0,5 m de altura), arbustivo (entre 0,5 y 3 m) y arbóreo (más de 3 m). En ellos se estimó la cobertura de cada especie y la del

conjunto del estrato. También se estimó la cobertura total. Para ello se hicieron 11 clases de cobertura: menos del 1%, entre 1-10 %, 11-20%, 21-30%, 31-40%, 41-50%, 51-60%, 61-70%, 71-80%, 81-90% y 91-100%. Para el análisis de la frecuencia se tomó el punto medio de cada intervalo.

En ambos ambientes, pasto y bosque, se estudió la diversidad de las comunidades vegetales. Para ello se utilizaron dos índices: el número de especies y el de Shannon-Wiener,  $H$  (MARGALEF, 1974) obtenidos en cada cuadrado de 1 m<sup>2</sup> en los ambientes de pasto (T 1, T2 y T3) y de 25 m<sup>2</sup> en los bosques (T 4 y T5). Para la segunda variable ( $H$ ), se ha utilizado como medida de la frecuencia el número de subcuadrados ocupados por cada especie por cuadrado en los transectos de pasto y la proporción de cobertura en cada parcela de bosque.

Con el objetivo de comparar el papel ecológico de las especies, se ha considerado la fidelidad de éstas respecto a determinadas comunidades o ambientes. Esta capacidad indicadora se ha tomado a partir de un banco de datos elaborado por Daniel Gómez, del Instituto Pirenaico de Ecología (C. S. I. C.) en base a los datos del Herbario JACA y a la "Flora Manual dels Països Catalans" (BOLÒS *et al.*, 1990). Mediante este sistema, a cada especie se le asigna como atributo el grupo fitosociológico en el que aparece más a menudo. En la mayoría de los casos se trata de clases u órdenes. También se ha creado un grupo con aquellas plantas que pueden encontrarse en diversas comunidades pertenecientes a clases diferentes. Éste sería el caso de las plantas más eurioicas y con una capacidad indicadora muy baja. Para facilitar el análisis, estas unidades fitosociológicas se han fundido en seis tipos de vegetación. En el estudio llamaremos tipos de vegetación a estas agrupaciones (Tabla 2).

Además, durante el muestreo se ha anotado el número de plantas propias de cada tipo de vegetación dentro de cada cuadrado. Se han sumado los valores pertenecientes a cada uno en los transectos. Esos valores tabulados han sido comparados dentro del pasto y, por otro lado, dentro del bosque.

### 3.3 Análisis

En cada área estudiada se comparó la distribución de frecuencias de los tipos de formaciones vegetales y unidades de paisaje detectados en 1957 con la de 1997, mediante pruebas de  $\chi^2$ . También se utilizaron este tipo de pruebas para comparar la estructura de los bosques y para el análisis del papel ecológico de las plantas.

Para comparar la diversidad entre los pastos se ha considerado cada transecto como un tratamiento y dentro de él cada cuadrado como una unidad

experimental. Así los valores que se ofrecen para el número de especies por cuadrado y el índice de Shannon-Wiener (H) de cada ambiente se calculan como la media y el error típico del conjunto del transecto. Ambas variables se han comparado mediante sendos ANOVA de una vía. La profundidad del suelo en las zonas de pasto (T1, T2 y T3) se ha analizado gracias a un ANOVA jerárquico, ya que se realizaron dos medidas en cada uno de los 20 cuadrados de cada transecto. De esta forma se puede tener en cuenta la variación dentro de cada cuadrado.

Tabla 2. Grupos fitosociológicos empleados y tipos de vegetación a los que se adscriben, con sus códigos.

Table 2. Phytosociological groups used and vegetation types to which they are related, with their codes.

Unidad fitosociológica	Comunidades o formaciones incluidas	Tipo de vegetación	Código
<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>	Com. de suelos higróturbosos	Vegetación higrófila	100
<i>Molinio-Arrhenatheretea elatioris</i>	Juncales, pastos y prados sobre suelos húmedos	Vegetación higrófila	100
<i>Caricetalia curvulae</i>	Pastos acidófilos	Pastos	200
<i>Carici rupestris-Kobresietea bellardii</i>	Pastos calcícolas o neutro-basófilos	Pastos	200
<i>Salicetea herbaceae</i>	Com. de suelos muy inivados	Pastos	200
<i>Brometalia erectii</i>	Pastos densos sobre suelo profundo	Pastos	200
<i>Festucion scopariae</i>	Pastos calcícolas de suelos ralos	Pastos	200
<i>Sedo-Scleranthetalia</i>	Com. de zonas con poco suelo o rellanos rocosos	Zonas pedregosas	300
<i>Vaccinio-Piceetalia</i>	Bosque y matorrales subalpinos	Bosques, matorrales y com. forestales	400
<i>Calluno-Ullicetea</i>	Brezales sobre suelo ácido	Bosques, matorrales y com. forestales	400
<i>Onopordetalia acanthii</i>	Veg. nitrófila o ruderal montana y subalpina	Vegetación ruderal	500
<i>Thlaspietea rotundifolii</i>	Com. de predegales de montaña	Zonas pedregosas	300
<i>Adenostyletalia</i>	Megaforbios alpinos	Bosques, matorrales y com. forestales	400
<i>Atropetalia belladonnae</i>	Herbazales nitrófilos de claros y orla forestal	Bosques, matorrales y com. forestales	400
<i>Quercu-Fagetea</i>	Bosques caducifolios y Comunidades asociadas	Bosques, matorrales y com. forestales	400
Más de una unidad		Más de una comunidad	600

El resto de variables trabajadas no se distribuyen normalmente: la cobertura, en los dos ambientes, el número de especies por inventario y el índice de Shannon-Wiener (H) en el bosque. Para ellas se han utilizado las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney.

## 4. Resultados

### 4.1 Nivel paisaje

#### 4.1.1. Cambios en el ámbito de la estación

En la figura 2 se observan los patrones de cambio de la estructura vegetal en el ámbito de la estación. Los cambios son muy importantes sobre todo en lo que concierne a las zonas desnudas artificialmente, que pasan de ocupar 4 Ha (1%) a 70 Ha, (17%), con un aumento también en el número de polígonos y del tamaño medio de los mismos. También destaca la reducción de superficie de prados de siega, de 58 a 29 Ha, sustituidos por infraestructuras en la base de las pistas, lo que supone una disminución del 50%. La superficie ocupada por el resto de los tipos de formaciones vegetales sufre un cambio menor.

Además, hay que reseñar la desaparición de las comunidades de vegetación higrófila en el Estanyet (una zona húmeda de montaña), ya que, aunque la superficie es pequeña, se trata de toda la representación existente de esa unidad.

Los pinares subalpinos densos sufren un gran aumento en el número de polígonos pero desciende el área que ocupan, así como el tamaño medio de estos polígonos. En el sentido contrario se observa un aumento del tamaño medio de los polígonos con reducción del número de los mismos en los pastos subalpinos, que son el tipo de formación vegetal predominante y cuya superficie varía poco. Estos cambios en la distribución de frecuencias de los tipos de formación vegetal es altamente significativa ( $\chi^2 = 256$ ; 9 grados de libertad -g.l.-,  $p < 0,005$ ).

Teniendo en cuenta las unidades del paisaje, vemos que el aumento de 0,99 % a 16,67% de las áreas con escasa o nula cobertura vegetal se debe principalmente a la disminución de la unidad 2, pastos y matorrales. Los bosques en su conjunto disminuyen en menor proporción (tabla 3). Las diferencias en las proporciones de estas unidades paisajísticas son altamente significativas ( $\chi^2 = 69,59$ ; 2 g.l.,  $p < 0,001$ ).

Teniendo en cuenta las unidades del paisaje, vemos que el aumento de 0,99 % a 16,67% de las áreas con escasa o nula cobertura vegetal se debe principalmente a la disminución de la unidad 2, pastos y matorrales. Los bosques en su conjunto disminuyen en menor proporción (tabla 3). Las diferencias en las proporciones de estas unidades paisajísticas son altamente significativas ( $\chi^2 = 252$ ; 2 g.l.,  $p < 0,005$ ).

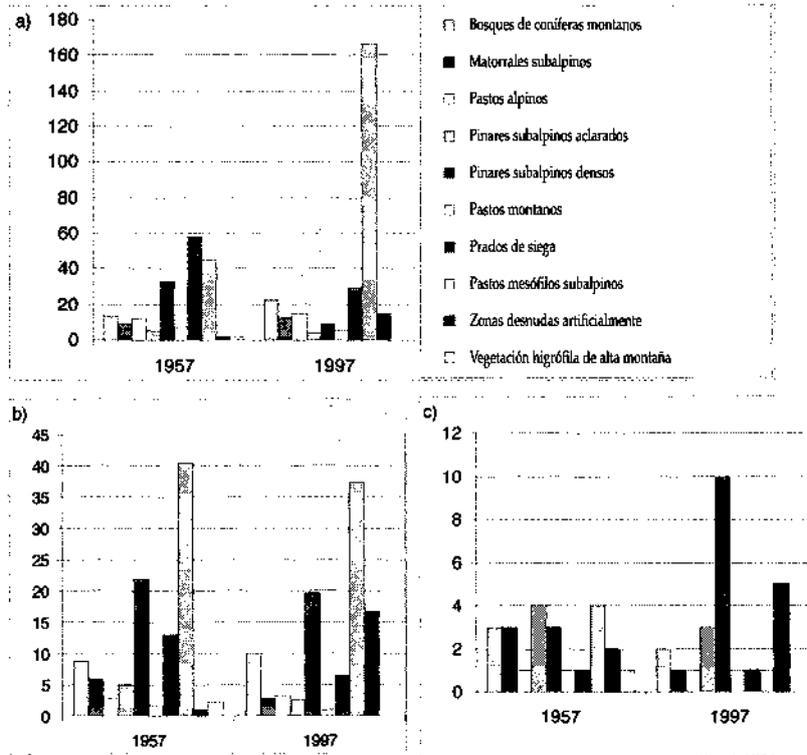


Figura 2. Cambios en la estructura del paisaje entre 1957 y 1997, en el ámbito de la Estación (E). a) Tamaño medio de los polígonos (Ha); b) Porcentaje de superficie ocupada; c) Número de polígonos de cada tipo de vegetación.

Figure 2. Changes in the landscape structure between 1957 and 1997, in the ski resort influence area (E). a) mean size of the polygons (ha); b) percentage of the occupied area; c) number of polygons for each type of vegetation.

Tabla 3. Porcentaje de la superficie ocupado por las unidades de paisaje antes (1957) y después (1997) de la construcción de la estación ( $\chi^2 = 69,59$ ; 2 grados de libertad -gl-;  $p < 0,001$ ).

Table 3. Percentage of the surface occupied by the landscape units before (1957) and after (1997) the construction of the station ( $\chi^2 = 69,59$ ; 2 degrees of freedom -df-;  $p < 0,001$ ).

		frec. (%)	
		1957	1997
Tipo 1	Bosques	35,59	32,16
Tipo 2	Pastos y matorrales	63,37	51,09
Tipo 3	Zonas con escasa cobertura vegetal	0,99	16,67
TOTAL		99,94	99,92

CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEBIDOS A UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ ALPINO EN EL PIRINEO

Tabla 4. Porcentaje de la superficie ocupado por cada unidad de paisaje en la áreas de control. C1v, C2v, C3v y C4v: Estado anterior a la construcción de la estación, 1957. C1a, C2a, C3a y C4a: Estado tras la construcción de la estación, 1997. C1  $\chi^2 = 32,15$ ; 2 gl;  $p < 0,001$ . C2  $\chi^2 = 0,29$ ; 1 gl;  $p < 0,59$ ; C3  $\chi^2 = 7,07$ ; 1 gl;  $p = 0,008$ . C4  $\chi^2 = 32,16$ ; 2 gl;  $p < 0,001$ .

Table 4. Percentage of the surface occupied by each landscape unit in the control areas. C1v, C2v, C3v and C4v: State before the construction of the station, 1957. C1a, C2a, C3a and C4a: State after the construction of the station. C1  $\chi^2 = 32,15$ ; 2 df;  $p < 0,001$ . C2  $\chi^2 = 0,29$ ; 1 df;  $p < 0,59$ ; C3  $\chi^2 = 7,07$ ; 1 df;  $p = 0,008$ . C4  $\chi^2 = 32,16$ ; 2 df;  $p < 0,001$ .

		frec. (%)		frec. (%)		frec. (%)		frec. (%)	
		C1v	C1a	C2v	C2a	C3v	C3a	C4v	C4a
Tipo 1	Bosques	79,36	83,56	96,49	97,06	58,86	65,34	5,00	9,12
Tipo 2	Pastos y matorrales	13,42	16,41	4,00	3,01	41,13	34,68	91,00	82,65
Tipo 3	Zonas con escasa cobertura vegetal	7,16	0,00					4,32	8,19
TOTAL		99,95	99,97	100,49	100,07	99,99	100,02	100,32	99,96

#### 4.1.2. Comparación de las unidades del paisaje en otras zonas

Hemos analizado la distribución de frecuencias relativas de las distintas unidades del paisaje en los controles C1 a C4 (Tabla 4, Figura 3)

En C1, vemos que los bosques aumentan significativamente, así como los pastos y matorrales, mientras que las áreas con escasa o nula cobertura vegetal desaparecen ( $\chi^2 = 32,15$ ; 2 g.l.,  $p < 0,001$ ). Los cambios en este caso se dan en el sentido contrario a los del ámbito de la estación. En C1 existe una toma de agua y una tubería que se construyeron poco antes del primer vuelo (1957), y que con el paso del tiempo la vegetación ha ido colonizando hasta llegar al bosque denso que se observa en la actualidad.

En C2, la mayor parte de la superficie es forestal y no hay áreas sin cobertura vegetal. Las superficies de bosque y de pasto no muestran diferencias entre las dos fechas ( $\chi^2 = 0,29$ ; 1 g.l.,  $p = 0,59$ ).

En C3, la composición vegetal del paisaje es algo más complicada, ya que muchos bosques de coníferas fueron talados y ahora han crecido bosques caducifolios mixtos dominados por el abedul. En este caso tenemos las mismas dos unidades del paisaje, pero hay diferencias en su área entre fechas ( $\chi^2 = 7,07$ ; 1 g.l.,  $p > 0,01$ ).

En C4, se observa un aumento significativo tanto de los bosques como de la vegetación de roquedo junto con una disminución de pastos y matorrales ( $\chi^2 = 32,16$ ; 2 g.l.,  $p < 0,001$ ). En este caso, se trata de una zona donde predomina la exposición sur, con bastante altitud, y donde los pastos más elevados se confunden fácilmente con las zonas de glera, ya que estos dos tipos de comunidad se encuentran muy imbricados en el piso alpino.

4.1.3. Calidad de los tipos de formaciones vegetales en el área de la estación

Se observa que las zonas que han sufrido reducción de superficie ocupada ( pinares subalpinos, pastos, vegetación higrófila) están catalogadas como Hábitats de Interés Comunitario en la Directiva Hábitats, mientras que la unidad que aumenta significativamente es la de zonas sin apenas vegetación, de carácter ruderal. Esta formación no está considerada dentro de la Directiva Hábitats; además, está compuesta por plantas cosmopolitas, oportunistas, y por lo tanto ampliamente distribuidas.

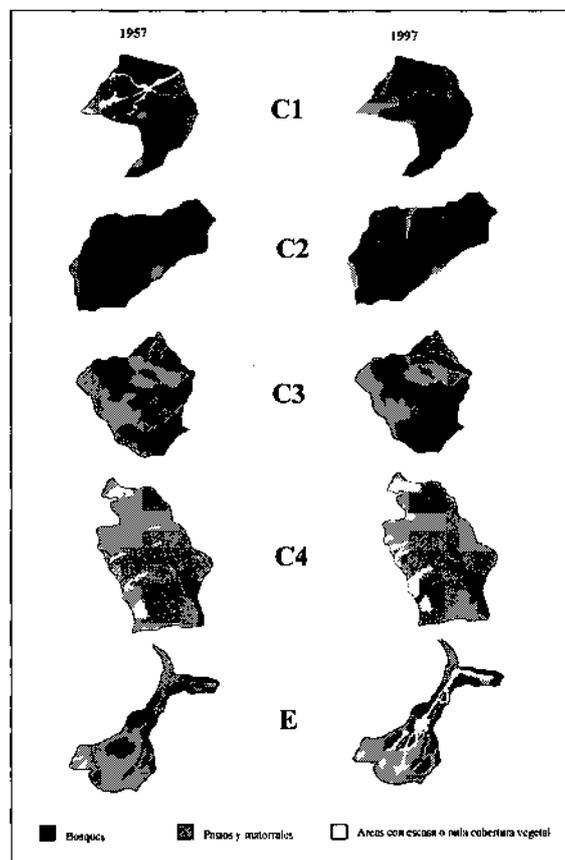


Figura 3. Cartografía de las unidades del paisaje, antes (1957) y después (1997) de construir la estación.

Figure 3. Map of the landscape units, before (1957) and after (1997) the ski resort was built.

CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEBIDOS A UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ ALPINO EN EL PIRINEO

Tabla 5. Formaciones vegetales y unidades de paisaje en la zona de estudio (E, C1, C2, C3 y C4) y su correspondencia con Hábitats de Interés Comunitario catalogados en el anexo I de la Directiva Hábitats.

Table 5. Vegetal formations and landscape units in the study area (E, C1, C2, C3 and C4) and their correspondence with the Habitats of Community Interest included in Annex I of the Habitats Directive.

Código	Hábitat	Tipo de formación vegetal	Unidad del paisaje
6212	Pastizales y prados xerofíticos basófilos cántabro-pirenaicos ( <i>Bromion erecti</i> : <i>Mesobromenion</i> , <i>Potentillo-Brachypodienion pinnati</i> )	Pastos montanos	2. pastos, prados y matorrales
6140	Pastizales silicícolas mesofíticos subalpinos y alpino-inferiores de <i>Festuca eskia</i>	Pastos mesófilos subalpinos	2. pastos, prados y matorrales
6141	Pastizales silicícolas mesofíticos subalpinos y alpino-inferiores de <i>Festuca eskia</i>	Pastos alpinos	2. pastos, prados y matorrales
4060	Matorrales y brezales enanos alpinos, subalpinos y oromediterráneos	Matorrales subalpinos	2. pastos, prados y matorrales
8130	Pedregales de las montañas mediterráneas y cántabro-pirenaicas	Roquedos y gleras	3. zonas sin cobertura vegetal
8212	Vegetación casmofítica: subtipos calcícolas ( <i>Saxifragion mediae</i> )	Roquedos y gleras	3. zonas sin cobertura vegetal
8220	Vegetación casmofítica: subtipos silicícolas	Roquedos y gleras	3. zonas sin cobertura vegetal
9430	Bosques de <i>Pinus uncinata</i>	Pinares subalpinos densos y aclarados	1. bosques
7230	Turberas de cárices básicas	Vegetación higrófila de alta montaña	2. pastos, prados y matorrales

#### 4.2 Nivel comunidad

##### 4.2.1. Cobertura

Hay diferencias muy significativas en el porcentaje de cobertura total entre los tres ambientes de pastos estudiados (Prueba de Kruskal-Wallis: 46,23; 2 g.l.,  $p < 0,001$ ). En el pasto donde no se esquía (T1) y en la pista vieja (T3) la cobertura es mayor que en la pista reciente (T2) (Tabla 6). T2 tiene mayor proporción de suelo expuesto a la erosión que T3 y ambos mayor que T1. No hay diferencias significativas entre los bosques estudiados (T4 y T5, ver tabla 6) a nivel de cobertura total (U de Mann-Whitney: 24,5, 1 g.l.,  $p \approx 1$ ).

##### 4.2.2. Profundidad del suelo en los pastos

Existe una gran variabilidad en la profundidad del suelo dentro de cada cuadrado, a pesar de medirse en un área de un sólo m<sup>2</sup>. Retirando esta varia-

ción con el análisis, se aprecian diferencias significativas entre los tres tratamientos. Éstas no se encuentran entre T1 y T2 (Prueba *a posteriori* de Tukey  $p = 0,433$ ) ni entre T1 y T3 (Prueba *a posteriori* de Tukey  $p = 0,087$ ) sino que son debidas a las diferencias significativas entre T2 y T3 (Prueba *a posteriori* de Tukey  $p = 0,003$ ) (Figura 4 y Tabla 7).

Tabla 6. Cobertura total media en cada uno de los transectos.

DT: desviación típica. N: número de muestras.

Table 6. Average total cover in each transect.

DT: Standard deviation. N: Sample size.

Transecto	Cobertura	DT	N
T1	0,96	0,03	20
T2	0,04	0,03	20
T3	0,91	0,08	20
T4	0,95	0	7
T5	0,93	0,08	7

Tabla 7. Tabla del ANOVA jerárquico para la profundidad del suelo medida en cm. gl: grados de libertad. F de Fisher. p probabilidad asociada.

Table 7. Nested ANOVA table for the soil deepness in cm. gl: degrees of freedom. F from Fisher. p associated probability.

Fuente de variación	Media cuadrática	gl	F	p
Transectos	1065,61	2	5,92	0,004
Cuadrados (Transectos)	364,26	57	2,02	0,004
Error	179,82	60		

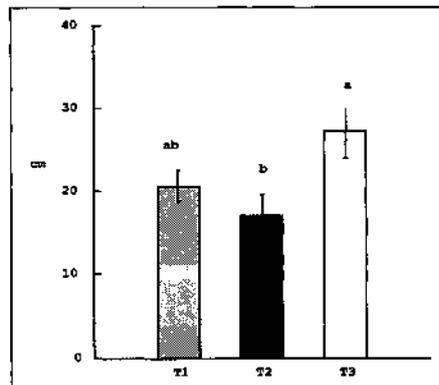


Figura 4. Profundidad del suelo en los transectos de pasto. T1: transecto en pastos fuera de la estación; T2: transecto en pista recientemente remodelada y T3: transecto en pista antigua.

Figure 4. Soil deepness in the pastureland transects. T1: transect in the pastureland outside the ski resort; T2: transect in an ski-run recently modified; T3: transect in an old ski-run.

#### 4.2.3. Estructura del bosque

En la figura 5 se muestran las estructuras de T4 y T5. Éstas se expresan como el porcentaje medio de cobertura de cada estrato en los 7 inventarios de cada ambiente. La suma de todos los estratos no tiene que ser necesariamente 100% ya que puede haber solapamiento en la cobertura entre estados, zonas de suelo desnudo o ambos procesos a la vez. Se han encontrado diferencias significativas entre las estructuras de los dos ambientes ( $\chi^2 = 10,826$ ; 4 g.l.,  $p = 0,028$ ). La mayor diferencia se encuentra en el estrato arbóreo, con mayor cobertura en T5.

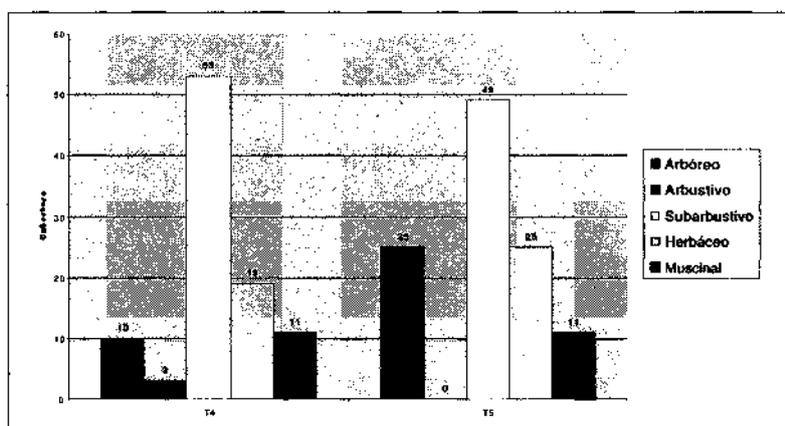


Figura 5. Estructura del bosque, porcentaje de cobertura de cada estrato en los transectos de bosques. T4, bosque entre pistas. T5, bosque fuera del dominio esquiable.

Figure 5. Percentage cover in each layer in the forest transects. T4, forest between ski runs. T5, forest outside the ski area.

#### 4.2.4. Biodiversidad (véase Apéndice I)

El número de especies por  $m^2$  es diferente en los tres ambientes de pasto estudiados (ANOVA de 1 vía;  $F = 134,69$ ; 2, 57 g.l.,  $p < 0,001$ ). Resulta mayor en la pista antigua que en el pasto no esquiable y, a su vez, en ambos ambientes es mayor que en la pista reciente (Figura 6A). Se encuentran las mismas diferencias y en el mismo sentido al analizar el índice de Shannon-Wiener entre los tres ambientes (ANOVA de 1 vía;  $F = 188,15$ ; 2, 57 g.l.,  $p < 0,001$ ) (Figura 6B). Sin embargo no hay diferencias significativas entre los dos ambientes forestales, ni en el número de especies por inventario (U de Mann-Whitney: 27,5, 1 g.l.,  $p = 0,700$ ; Figura 6C) ni en el índice de Shannon-Wiener (U de Mann-Whitney: 23,0, 1 gl,  $p = 0,848$ ; Figura 6D).

## 4.2.5. Papel ecológico de las especies

En el pasto se aprecia que la práctica totalidad de las especies presentes en T1 son asignables a pastos (acidófilos, calcícolas o de suelos profundos). También la mayoría de las plantas que se encuentran en T2 son de pastos pero en este caso hay un importante porcentaje de plantas de juncales y humedales. En T3 encontramos una flora de origen más variado; a pesar de estar bien representadas las plantas de los pastos hay que destacar la presencia de plantas de bosque subalpino y de megaforbios. Estas especies forestales no aparecen o son muy raras en las otras dos zonas. También se aprecia que las especies ruderales, siendo siempre escasas, sólo aparecen en los transectos T2 y T3.

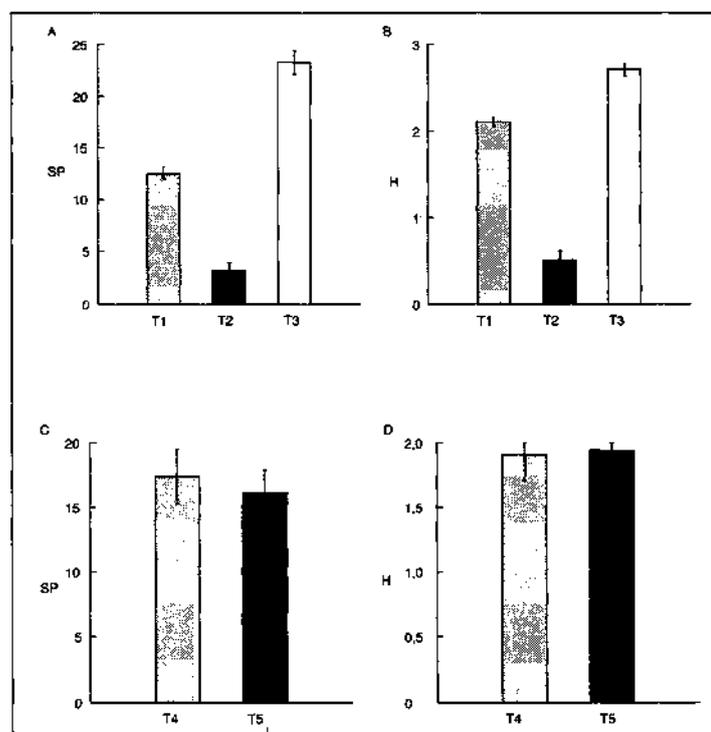


Figura 6. Diversidad en los transectos de muestreo. A. Número de especies por  $m^2$  (SP) en los pastos. B. Índice de Shannon-Wiener (H) en los pastos. C. Número de especies por  $m^2$  (SP) en los bosques. D. Índice de Shannon-Wiener (H) en los bosques. La barra representa un error típico alrededor de la media.

Figure 6. Biodiversity within the transects. A. Species number by  $m^2$  (SP) in pasturelands. B. Shannon-Wiener Index (H) in pasturelands. C. Species number by  $m^2$  (SP) in forests. D. Shannon-Wiener Index (H) in forests. The vertical line shows a typical error around the mean value.

Comparando las unidades de vegetación a las que pueden asignarse cada especie se aprecian diferencias muy significativas entre los tres transectos ( $\chi^2 = 204,60$ ; 10 g.l.,  $p < 0,001$ ). También entre T1 y T3, si se elimina T2 debido al menor número de especies encontradas en él ( $\chi^2 = 67,84$ ; 5 g.l.,  $p < 0,001$ ). Las plantas de pastos dominan en T1, aparecen unas pocas (17%) de más de una unidad y son anecdóticas las de ambientes forestales. En T2 también predominan las plantas de pastos si bien en menor porcentaje, casi un tercio son de juncuales y también hay un número destacado de plantas eurioicas. El grupo más importante en T3 son de nuevo las plantas de los pastos, aunque en mucha menor proporción que en T1. En este caso toman importancia las plantas forestales así como las que se pueden encontrar en más de una unidad y aparecen especies ruderales (Figura 7).

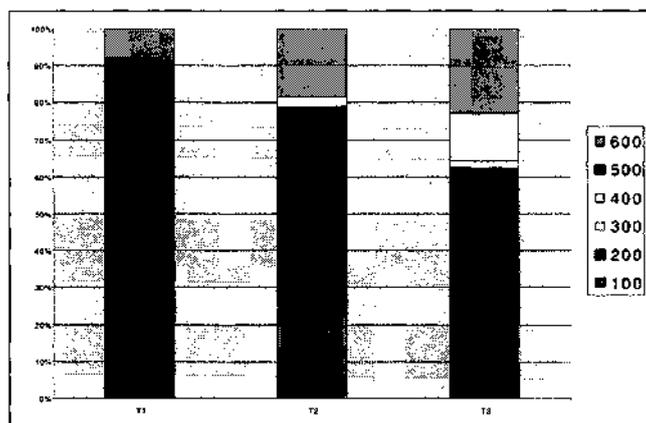


Figura 7. Porcentaje de especies presentes, respecto al total de cada transecto, de cada grupo ecológico en los transectos de prados. 100: vegetación higrófila, 200: pastos, 300: zonas pedregosas, 400: bosques, matorrales y comunidades forestales, 500: vegetación ruderal y 600: más de una comunidad.

*Figure 7. Percentage of present species –in relation with the total number of each transect– for each ecological group within pastureland transects. 100: hygrophilous vegetation, 200: pastureland, 300: stony areas, 400: forests, scrub and forestal communities, 500: ruderal vegetation and 600: more than one community.*

Sin embargo, estas diferencias no aparecen entre los transectos del bosque ( $\chi^2 = 1,18$ ; 3 g.l.,  $p = 0,76$ ; Figura 8). En ambos casos dominan las plantas de bosque, seguidas por las de los prados. Aproximadamente la cuarta parte son plantas eurioicas, es decir asignables a más de una unidad fitosociológica, mientras que las especies de lugares pedregosos tienen una presencia mucho menor.

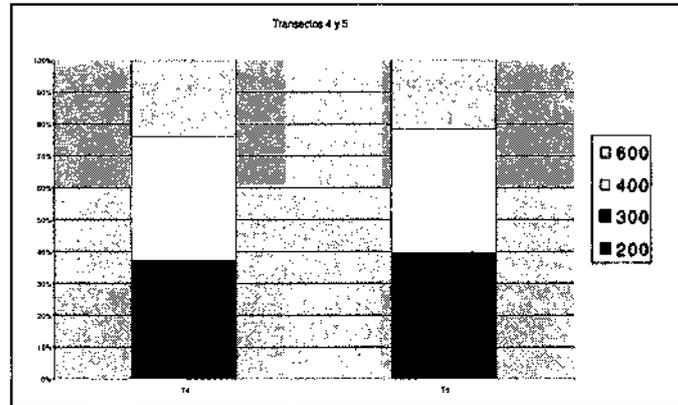


Figura 8. Porcentaje de especies presentes, respecto al total de cada transecto, de cada grupo ecológico en los transectos de bosques. 100: vegetación higrófila, 200: pastos, 300: zonas pedregosas, 400: bosques, matorrales y comunidades forestales, 500: vegetación ruderal y 600: más de una comunidad.

Figure 8. Percentage of present species –in relation with the total number of each transect- for each ecological group within forest transects. 100: hygrophilous vegetation, 200: pastureland, 300: stony areas, 400: forests, scrub and forestal communities, 500: ruderal vegetation and 600: more than one community.

## 5. Discusión

### 5.1 Efectos sobre el paisaje

Los resultados obtenidos tras el análisis de los mapas de vegetación nos confirman las hipótesis propuestas inicialmente, en el sentido de que la presencia de una estación de esquí provoca importantes cambios en los patrones de la vegetación.

En cuanto a los efectos de la construcción y mantenimiento de la estación de esquí, se confirma que el paisaje vegetal se ve afectado por un gran aumento de superficie sin cobertura vegetal y una disminución de la vegetación original de bosques y pastos. Esta degradación afecta especialmente al bosque de pino negro, no tanto por la disminución de superficie sino por la gran fragmentación que se produce, que es una de las causas de pérdida de diversidad más importante en los ecosistemas (FARINA, 1998).

Algunos elementos fundamentales del paisaje tradicional de la montaña pueden llegar a reducirse drásticamente, como ocurre en este caso con la pradería, unidad paisajística de gran heterogeneidad y riqueza (PUIGDEFÁBRE-

GAS & FILLAT, 1986), que es ocupada por edificios de apartamentos, vías de acceso y áreas recreativas en la base de la estación. Algunas unidades pueden llegar a desaparecer localmente como las comunidades higrófilas, anegadas por un embalse sometido a continuas fluctuaciones y utilizado como reserva de agua para la producción de nieve artificial.

El análisis diacrónico de la vegetación en el entorno de la estación indica o bien que no hay cambio o bien se aprecia una ligera recuperación del bosque. Las zonas se mantienen con su vocación tradicional, separándose principalmente en zonas de pastos y zonas forestales. Esta estabilidad de bosques y pastos concuerda con otros estudios (VICENTE SERRANO *et al.*, 2000). Consideramos que los cambios del paisaje debido al abandono de los usos tradicionales no se percibe en nuestro área de estudio ya que se trata del piso subalpino, y la mayor importancia de esos cambios se produce en el piso montano, en los sistemas de pradería y pastos montanos, como han señalado los autores citados.

La tendencia señalada por estos autores hacia una mayor naturalidad del paisaje se ve reflejada en el caso del área C1. Aquí las áreas desprovistas de vegetación debidas a unas obras de canalización de aguas en los años 50, se han visto sustituidas por bosques y pastos. Esta tendencia de aumento del bosque en zonas con una importante pendiente ha sido observada también en la cabecera de la cuenca del Ribera Salada, en una comarca algunos kilómetros al sur de nuestra zona de estudio (UBALDE *et al.*, 1999). Esto indica que el período de recuperación de la cobertura forestal no es superior a 40 años (en este lugar y con una perturbación de esa escala). Sin embargo, en las estaciones de esquí, se realizan mejoras frecuentemente, por lo que nos encontramos con una dinámica en la que el intervalo de perturbación es mucho menor que el tiempo de recuperación y esta recuperación no es posible (FARINA, 1998).

El otro caso en el que vemos cambios significativos de la vegetación entre 1957 y 1997 se produce en el control C4, una zona predominantemente pascícola. Estos cambios consisten en un aumento del roquedo y de los bosques frente a una disminución del pasto. El aumento del bosque se produce en la zona baja y se da por abandono del pasto, mientras que el aumento del roquedo en la zona de mayor altitud es probable que sea debido a problemas de definición e interpretación en la fotografía aérea (al ser las zonas de mayor pendiente, el cálculo de área resulta menos exacto), ya que los escarpes de roca se consideran los elementos más estables del paisaje (VICENTE SERRANO *et al.*, 2000).

De los tipos de vegetación estudiados, todos los de los pisos subalpino y alpino se componen de comunidades que se encuentran en la Directiva Hábitas: bosques, matorrales, pastos, gleras y roquedos. En el piso montano

encontramos dentro de esta protección los pastos y prados, pero no los bosques. La vegetación de zonas desnudas artificialmente carece prácticamente de valor, por no poderse asignar a ninguna comunidad autóctona y presentar bajísimos valores de diversidad, estructura, naturalidad, etc. Por lo tanto, como se planteaba en la hipótesis inicial, la calidad del paisaje vegetal es deteriorada por la existencia de la estación de esquí ya que el valor de conservación de las comunidades que son favorecidas es menor que el de las perjudicadas.

### 5.2 Efectos sobre las comunidades

La creación de nuevas pistas de esquí en la zona subalpina que conlleve movimientos de tierras supone un drástico cambio en todas las variables de la vegetación estudiadas. Ello supone un fuerte impacto negativo y transformación sobre las comunidades que allí se asentaban. En una pista recientemente creada la cobertura es significativamente inferior, se pierde suelo rápidamente, hay un fuerte descenso de la biodiversidad medida tanto en número de especies como por el índice de Shannon-Wiener y además el tipo de especies que se pueden encontrar en ellas es muy diferente de las de los pastos naturales.

La menor cobertura encontrada en la pista recientemente construida la hace muy sensible a la erosión debido a las fuertes precipitaciones de la zona. La menor profundidad del suelo así lo indicaría y podría ser debida a las obras de remodelación de las pistas. La primera parte del suelo que se pierde es la capa superficial y su fracción orgánica. WATSON (1985) destaca su importancia en la fertilidad y la lentitud de su recuperación. La pérdida de un recurso tan importante como el suelo también afecta a la calidad de los arroyos y ríos de montaña, ya que se incrementa el volumen de sedimentos arrastrados (MESSERLI & IVES, 1997; TSUYUZAKI, 1993). Esta erosión en laderas como la estudiada también da lugar a depósitos que cubren la vegetación natural que se encuentra más abajo, fenómeno fácilmente observable en el bosque localizado junto y bajo las nuevas pistas en la estación estudiada. Este fenómeno también ha sido señalado en Escocia por BAYFIELD (1974) y WATSON (1985), quienes señalan efectos negativos sobre la vegetación a partir de 10 cm de enterramiento.

Para intentar evitarlos se han realizado ensayos de revegetación, pero no es fácil predecir su efectividad en el freno de la erosión o en la facilitación para que se instalen las especies de los pastos de los alrededores. No hemos estudiado este fenómeno, pero la importancia de la revegetación en estos medios es discutida (BAYFIELD, 1980). En el Ártico las especies alóctonas sembradas dificultaron el establecimiento de las autóctonas (DENSMORE,

1992). El uso de especies foráneas en este proceso tampoco parece apropiado en otros lugares (BAYFIELD, 1980; WATSON, 1985; TITUS & TSUYUZAKI, 1998) o su éxito depende de la altitud (TSUYUZAKI, 1993; DELARZE, 1994). En cualquier caso se prefiere el uso de especies autóctonas (URBANSKA, 1994), aunque existen algunas excepciones en Estados Unidos (TITUS & TSUYUZAKI, 1998) o Canadá (THOMPSON & HUTCHINSON, 1986) donde las plantas foráneas son útiles reteniendo el suelo.

De cualquier forma, junto con la siembra se necesitan estructuras que sujeten el sustrato y las semillas, actuando como lugar seguro para la implantación de las nuevas plántulas; en otras palabras, el reclutamiento de nuevos ejemplares dentro de estas nuevas pistas estaría limitado en mayor medida por la disponibilidad de microambientes adecuados para ello que por la disponibilidad de semillas u otros propágulos (URBANSKA, 1997). En este contexto, DENSMORE (1992) señala que la revegetación con plantas foráneas actúa como un factor que disminuye el número de microambientes adecuados para la germinación (*safe-sites*) de las especies autóctonas, a pesar de su posible utilidad en el control de la erosión.

Respecto a las pistas más antiguas, hay que señalar que cuando no se han realizado movimientos de tierras, como lo atestiguan los tocones de árboles que todavía perduran en las pistas, y hay un pastoreo en ellas, pueden recuperarse en buena medida. Sin embargo no se puede remediar la pérdida de superficie forestal que supone y, según TITUS & TSUYUZAKI (1998), la perturbación aún se aprecia en la vegetación de pistas viejas (40 años) y no muy fuertemente impactadas. Hay que destacar el papel clave del ganado en el mantenimiento de una alta cobertura y diversidad en las pistas, ya que en estas variables la pista antigua donde hay ganado y no se modificó la parte superior del suelo no está peor que el pasto no alterado. Además, el mantenimiento de un pasto de baja altura puede suponer beneficios para el mantenimiento de la nieve en la pista y la práctica del esquí.

Cuando las pistas se abren dentro del bosque subalpino, como en la estación tomada como modelo, suponen una merma de este delicado medio, con funciones tan importantes como la protección de la erosión, refugio de fauna, etc. En Japón (TSUYUZAKI, 1993) y en Estados Unidos (TITUS & TSUYUZAKI, 1998) la mayoría de las pistas también se han creado en ambientes forestales. Esto supone una mayor modificación del paisaje y transformación de los ecosistemas. La destrucción de parte del bosque para trazar pistas de esquí es un efecto similar a la apertura de claros forestales. En Argentina, PUNTIERI (1991) encontró que en pistas trazadas en el bosque y rodeadas por éste la mayoría de las especies encontradas en las pistas están presentes en los bosques que las rodean. Estos nuevos ambientes creados se ven afectados por el efecto borde, lo que supone una mayor diversidad que

en este caso se refleja tanto en el número de especies por metro cuadrado como en el índice de Shannon-Wiener (Figura 6). También se aprecia que este aumento de la diversidad está causado en buena parte por el mayor porcentaje de especies forestales y eurioicas que se encuentran en la pista antigua, aunque también hay un mayor número de especies de los pastos. Un proceso similar se ha observado en Argentina (PUNTIERI, 1991). Además siempre y cuando no haya habido movimientos del sustrato y pérdida de suelo, puede recuperarse el bosque, como lo atestiguan la presencia de algunos pinos pequeños en algún cuadrado de muestreo de la pista vieja (T3). Pero hay que insistir: no debe emplearse maquinaria pesada y se necesita un largo periodo de tiempo para esta recuperación, algo también señalado por otros autores (URBANSKA, 1994, 1997)

El aparente aumento de la diversidad de la pista antigua no es más que un efecto borde ya que se está creando un claro artificialmente. Además de la disminución y fragmentación del bosque ocurre una banalización de las especies que se encuentran, apareciendo las ruderales en torno a las construcciones de la estación.

Desde otro punto de vista, al ser la composición florística de estas pistas más variada y formada en menor proporción por especies de pastos, son de menor calidad pascícola que los no afectados por la estación donde predominan claramente las especies de este medio.

Respecto a los bosques que quedan entre las pistas, éstos también se ven afectados. Además de encontrarse más fragmentados, con los problemas que ello pueda suponer para especies típicamente forestales (PRIMACK, 1995), se observa un cambio en su estructura que se refleja en una menor cobertura del estrato arbóreo. Ahora bien, no hay diferencias en la diversidad ni en el espectro de las especies según su papel ecológico.

## 6. Conclusiones

Como conclusión, podemos decir que la creación de una estación de esquí supone un fuerte impacto negativo en el paisaje, disminuyendo el área ocupada por las comunidades más interesantes y con mayor necesidad de protección y desapareciendo algunas, en nuestro caso las comunidades fontinales. Este cambio en la superficie de pradería, bosques y pastos o no ocurre o tiene signo contrario en otras zonas donde actúan otros factores no relacionados con la estación, por ejemplo la ganadería. Otro efecto negativo es el aumento de la fragmentación de las comunidades más maduras. Su capacidad de recuperación se ve sobrepasada por la intensidad y frecuencia de las perturbacio-

nes asociadas a los actuales criterios de gestión de las estaciones de esquí, como por ejemplo la creciente utilización de maquinaria pesada.

Si se desea que la gestión de una estación de esquí suponga un impacto menor y asumible sobre las comunidades vegetales y las especies que las componen, deben de seguirse algunos criterios como son: no trazar pistas ni remontes en zonas de bosques, evitar el uso de maquinaria pesada que afecte al suelo y manejar el ganado como agente de recuperación de los ecosistemas de pasto.

**Agradecimientos.** La realización de este estudio fue financiada por el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya. Queremos agradecer a César Pedrocchi y José María Martínez su colaboración en el proyecto y haber constituido un cómodo puente con el Instituto Pirenaico de Ecología (C. S. I. C.). También a Daniel Gómez y a Federico Fillat, del mismo Instituto, así como a dos evaluadores anónimos, por sus valiosos comentarios.

### Referencias

- ANÓNIMO (1992). *Directiva 92/43/CEE de 21 de Mayo Conservación de los HABITATS naturales y de la fauna y flora silvestres*. DO, 206 de 22-7-1992.
- BAYFIELD, N. G. (1974). Burial of vegetation by erosion debris near skilifts on Cairngorm, Scotland. *Biological Conservation*, 6(4): 246-251.
- BAYFIELD, N. G. (1980). Replacement of vegetation on disturbed ground near ski lifts in the Cairngorm Mountains, Scotland. *Journal of Biogeography*, 7: 249-260.
- BOLÓS, O. de, VIGO, J., MASALLES, R. M. & NINOT, J. M., (1990). *Flora manual dels Països Catalans*. Ed. Pòrtic, Barcelona.
- BRIAND, F., DUBOST, M., PITT, D. & RAMBAUD, D. (1989). *Les Alpes. Un système sous pression*. ICALPE, Le Bouget-du-Lac.
- CARMEL, Y. & KADMON, R. (1999). Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, 145/2: 243-254.
- CARRILLO, E. & NINOT, J. M. (1998). *Mapa de vegetació de Catalunya. Estèrri d'Àneu 181 (33-9)*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- DELARZE, R. (1994). Dynamique de la végétation sur les pistes ensemencées de Cras-Montana (Valais, Suisse). Effects de l'altitude. *Botanica Helvetica*, 104: 3-16.
- DENSMORE, R. (1992). Succession on an Alaskan tundra disturbance with and without assisted revegetation with grass. *Arctic and Alpine Research*, 24(3): 238-243.

- FARINA, A. (1998). *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Chapman & Hall, London.
- HUEBNER, C. D., VANKAT J. L. & RENWICK W. H. (1999). Change in the vegetation mosaic of central Arizona USA between 1941 and 1989. *Plant Ecology*, 144: 83-91.
- MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona.
- MESSERLI, B. & IVES, J. D. (Eds.) (1997). *Mountains of the world. A Global Priority*. The Parthenon Publishing Group, New York, London.
- NINOT, J. M. (1998). *Memòria. Mapa de vegetació de Catalunya. Estèrri d'Àneu 181 (33-9)*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- PAN, D., DOMON G., BLOIS S. & BOUCHARD A. (1999). Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology*, 14: 35-52.
- PRICE, M. F. (Ed.) (1995). *Mountain Research in Europe. Overview of MAB Research from the Pyrenees to Siberia*. Man and Biosphere Series. UNESCO & The Parthenon Publishing Group, Paris.
- PRIMACK, R. B. (1995). *A primer of conservation biology*. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts.
- PUIGDEFÀBREGAS, J. & FILLAT F. (1986). Ecological adaptation of traditional land-uses in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 6/1 : 63-72
- PUNTIERI, J. G. (1991). Vegetation response on a forest slope for a ski-run with special reference to the herd *Alstroemeria aurea* Graham (*Alstroemeriaceae*), Argentina. *Biological Conservation*, 56: 207-221.
- SELINGER-LOOTEN, R.; GREVILLIOT, F. & MULLER, S. (1999). Structure of plant communities and landscape patterns in alluvial meadows of two flood plains in the north-east of France. *Landscape Ecology*, 14: 213-229.
- THOMPSON, J. D. & HUTCHINSON, I. (1986). Cohabitation of species in an artificial grass-legume community on ski-slopes on Whistler Mountain, British Columbia, Canada. *Journal of Applied Ecology*, 23: 239-250.
- TITUS, J. H. & TSUYUZAKI, S. (1998). Ski slope vegetation at Snoqualmie Pass, Washington State, USA, and a comparison with ski slope vegetation in temperate coniferous forest zones. *Ecological Research*, 13: 97-104.
- TSUYUZAKI, S. (1993). Recent vegetation and prediction of the successional serie on ski ground in the highlands of Hokkaido, Northern Japan. *Biological Conservation*, 63: 255-260.
- TURNER, M. G. & RUSCHER, C. L. (1988). Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, 1: 241-251.
- UBALDE, J. M., RIUS, J. & POCH, R. M. (1999). Monitorización de los cambios de uso del suelo en la cabecera de la cuenca de la Ribera Salada

CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEBIDOS A UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ ALPINO EN EL PIRINEO

- mediante fotografía aérea y S. I. G. (El Solsonés, LLeida, España). *Pirineos*, 153-154: 101-122
- URBANSKA, K. M. (1994). Ecological restoration above the timberline: Demographic monitoring of whole trial plots in the swiss alps. *Botanica Helvetica*, 104: 141-156.
- URBANSKA, K. M. (1997). Restoration ecology research above the timber line: colonization of safety islands on a machine-graded alpine ski run. *Biodiversity and Conservation*, 6: 1655-1670.
- VICENTE SERRANO, S. M., LASANTA, T. & CUADRAT, J. M. (2000). Transformaciones en el paisaje del Pirineo como consecuencia del abandono de las actividades económicas tradicionales. *Pirineos*, 155: 111-133.
- VILLAR, L. (1999). Espacios Naturales Protegidos del Pirineo. In VILLAR, L., (Ed.) *Espacios Naturales Protegidos del Pirineo. Ecología y Cartografía*: 13-18. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Huesca.
- WATSON, A. (1985). Soil erosion and vegetation damage near ski lifts at Cairngorm, Scotland. *Biological Conservation*, 33: 363-381.

Anexo

En las tablas que se presentan a continuación aparecen las especies identificadas en el muestreo de las comunidades. Las tres primeras tablas pertenecen a los transectos realizados en pastos y la cuarta a los de bosque. La numeración del encabezamiento indica el número de transecto y el cuadrado o parcela correspondiente dentro del mismo. El número de cada casilla es el número de subcuadrados en los que se anotó la presencia de cada especie en cada cuadrado, con un máximo de 25.

Transecto 1 (pasto)

CUADRADOS DE MUESTREO	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20
<i>Agrostis rupestris</i>	5	12	10	11	15	9	21	12	13	19	17	4	21	8	12	9	9	2	18	19
<i>Alchemilla alpina</i>						2	1	3	4			2	4		5				4	3
<i>Androsace carnea</i>																			1	2
<i>Antennaria dioica</i>	1					2		3												
<i>Carex caryophyllen</i>	21	21	21	25	22	21	24	20	19	23	19	13	23	23	16	21	14	22	20	13
<i>Cerastium alpinum</i>	1		1																	
<i>Euphrasia minima</i>		8	1			1	1						9	1		1				
<i>Festuca gr. ovina 1</i>	23	18	15		4	9	5	9	9		11	1	3	3	11	1	3		1	3
<i>Festuca gr. ovina 2</i>																				
<i>Festuca sp.</i>				20	17	8	15	16	22	19	15	8	7	21	12	10	15	17	7	3
<i>Galium pumilum subsp. pinetorum</i>																			1	11
<i>Gentiana acaulis subsp. acaulis</i>	1				22		3	10	5	7	21	1			3	1		8	1	
<i>Gentianella ciliata</i>																1				
<i>Hieracium sp. 1</i>		3	2						3	1		1								
<i>Juncione laevis</i>																2				1
<i>Juncus trifidus</i>						1		3		2	14		5	3	12	18	8			6
<i>Koeleria pyramidata</i>									1	2										1
<i>Leontodon pyrenaicus subsp. pyrenaicus</i>	1				4	20	16	14	8	14	2	6	2	10	7	13	8	15	12	
<i>Luzula multiflora</i>							1													
<i>Luzula spicata subsp. mensignatica</i>													1							
<i>Nardus stricta</i>																				8
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>	1	1	1		1			4					3	12	9	6	2	10	10	4
<i>Plantago monosperma</i>	1	1				1	6	8	11	3	8	2	1		1	2				5
<i>Poa alpina</i>												2								
<i>Poa sp.</i>	3	2	5	1	1	1	3	5	2	1	2	1								
<i>Polygonum viviparum</i>									22	21										
<i>Potentilla crantzii</i>									1	2										
<i>Primula integrifolia</i>																		1	2	2
<i>Rhododendron ferrugineum</i>														1						
<i>Seseli nigrum</i>	1		2	1	21	2	11		1	2	7							3	5	1
<i>Silene acaulis</i>		2				3		1	3		3		3							
<i>Silene ciliata</i>	1																			
<i>Soldanella alpina</i>																				4
<i>Thesium alpinum</i>		20		25					22						25					
<i>Thymus serpyllum subsp. nervosus</i>								4		1					1					4
<i>Trifolium alpinum</i>	25		25		24	24	24	20	23		24	19	25	24	24		25	22	25	25
<i>Vaccinium uliginosum</i>							3		10		11		1				24	24		
<i>Liquen</i>		1												2	1					

CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEBIDOS A UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ ALPINO EN EL PIRINEO

Transecto 2 (pasto)

CUADRADOS DE MUESTREO	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19	2.20
<i>Ajuga pyramidalis</i>										1					3					
<i>Androsace carnea</i>		2																		
<i>Campanula scheuchzeri</i>	5	2																		
<i>Cardamine resedifolia</i>																				
<i>Carduus cartimoides</i>		1																		
<i>Carex caryophylla</i>	4	1																		
<i>Galium pumilum</i> subsp. <i>pinetorum</i>				1																
<i>Hiernium</i> sp. 1	1																			
<i>Leontodon pyrenicus</i> subsp. <i>pyrenicus</i>		1		1																
<i>Linaria alpina</i>	2																			
<i>Lotus corniculatus</i>					1															
<i>Luzula multiflora</i>			3																	
<i>Meum albanicum</i>	18									1										
Poaceae	20	24	25	24	25	25	25	25	25	24	25	25	25	25	25	25	5	12		1
<i>Polygonum viviparum</i>	1	1																		
<i>Pulsatilla alpina</i>	4																			
<i>Ranunculus gonanii</i>					1															
<i>Sagina saginoides</i>															1					
<i>Soldanella alpina</i>		1																		
<i>Trifolium alpinum</i>	19	1	1	7																
<i>Trifolium repens</i>		11			2	10	1	6	6	6	2	1	4	6	3					
<i>Vaccinium myrtillus</i>	1																			
<i>Vaccinium uliginosum</i>	4																			
Indeterminada 1		1			2							1				1				
Briofito							1					1								

Transecto 3 (pasto)

CUADRADOS DE MUESTREO	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20
<i>Agrostis alpina</i>			1	17	12	1	6	23	5	9	5	2		15	1	4	11	5	3	2
<i>Agrostis rupestris</i>	1	6		8	2	1	4	4	15					1	1					
<i>Ajuga pyramidalis</i>	2													1	2					
<i>Alchemilla alpina</i>								1	11											
<i>Alchemilla subellata</i>											11									
<i>Antennaria dioica</i>		1	1																	2
<i>Arabis serpyllifolia</i>											1									
<i>Botrychium lunaria</i>									2											
<i>Brachypodium pinnatum</i> subsp. <i>rupestris</i>														5					4	
<i>Campanula scheuchzeri</i>		2	4	2				4	1	2	6	1	2	5	5	3	2	3	6	1
<i>Cardamine resedifolia</i>		1	1		1					1										
<i>Carex caryophylla</i>				11			9		3	7	8	3	1							
<i>Cerastium alpinum</i>											3	3			1					
<i>Cerastium arvense</i>								1												
<i>Chenopodium bonus-henricus</i>								7	2											
<i>Crucifera globosa</i>						2								19					4	
<i>Deschampsia flexuosa</i>		2					1						1	8	7	3	7		2	1
<i>Dianthus deltooides</i>								1												
<i>Epilobium angustifolium</i>															1		11		8	4
<i>Euphrasia minima</i>	10	15	7	6	11	3			15	8	1	14	1	9	1	6	22	10	10	16
<i>Festuca eskia</i>	9	4	9	3	20	24		1			7	12	1	9						
<i>Festuca gr. ovina</i> 1							11			20	16	11	5	12	11	7	13	19	21	17
<i>Festuca gr. ovina</i> 2	10	20	15	6	5		1	13							1					



CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEBIDOS A UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ ALPINO EN EL PIRINEO

Liquen	4	1	1	6	2	7	1	1
Indeterminada 1			2	1				
Briofito				1			1	
Indeterminada 2	1							
<i>Taraxacum</i> sp 1	2		1	4	19	7	4	2
Indeterminada 3		9						
<i>Taraxacum</i> sp 2			1	7	7	4	5	10
<i>Rubus</i> sp					1		1	

Transecto 4 y 5 (bosque)

PARCELA DE MUESTREO	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7
<i>Agrostis alpina</i>												1		
<i>Agrostis rupestris</i>				5		5		1						
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	5	1				1						1	5	
<i>Betula pendula</i>						5	1							
Briofito	5	1	5						25					35
<i>Campanula scheuchzeri</i>	5	1	5	1	1	1		5			1	1	1	1
<i>Cerastium fontinum</i> subsp. <i>vulgare</i>				1										
<i>Cruciatia globosa</i>								5		5				5
<i>Deschampsia flexuosa</i>	5		5	5	5	5	5		1	5	5			5
<i>Dianthus hyssopifolius</i>														5
<i>Epilobium angustifolium</i>							1							
<i>Euphorbia cyprarissias</i>													5	
<i>Euphrasia minima</i>	5				1	1	1					1		
<i>Festuca 2</i>								5						
<i>Festuca eskii</i>	25	5				5				15	15			1
<i>Festuca gr. rubra</i>	5								5					
<i>Festuca gr. rubra 2</i>	5	5	5	1	5	5	5							
<i>Galium pumilum</i> subsp. <i>pinetorum</i>	5					1	1	5		1	1		1	5
<i>Galium rotundifolium</i>												5	5	
<i>Galium verum</i>												1	5	
<i>Gentiana acaulis</i> subsp. <i>acaulis</i>												1		
<i>Geranium sylvaticum</i>												1		
<i>Hepatica nobilis</i>								1		5			1	5
<i>Hieracium murorum</i>	5	1				1	1	1						
<i>Hieracium</i> sp 2										1				1
<i>Homogyne alpina</i>			5	1	1	1	5							
<i>Jasione lanceolata</i>						1								
<i>Kranzia dipsacifolia</i> subsp. <i>arvernensis</i>												5		
<i>Leontodon pyrenaicus</i> subsp. <i>pyrenaicus</i>	5		1	1	1	1	1	1				1	1	5
<i>Linaria alpina</i>	5							1						
<i>Linaria repens</i>										5				
<i>Lotus corniculatus</i>												5		
<i>Luzula campestris</i>	5	5	5	1	1	5								
<i>Luzula multiflora</i>		1	1											
<i>Luzula sylvatica</i>	5						5	1				1	1	
<i>Melampyrum pratense</i>	5				1	1		1			1		1	1
<i>Meum athamanticum</i>								5						
<i>Nardus stricta</i>	5													
<i>Oxalis acetosella</i>			5	5			1		15	5				5
<i>Phleum alpinum</i>			1				1				1			
<i>Phleum pratense</i>				1										
<i>Pinus uncinata</i>	25	20	5	35	10	15	20	5	45	5	75	30	20	1
<i>Poa cenisia</i> subsp. <i>sardoa</i>												1		
<i>Poa</i> sp	5													

PIRINEOS 156

<i>Poligala vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>						1										1
<i>Ranunculus gouanii</i>							1								1	5
<i>Rhinanthus mediterraneus</i>						1										1
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	25	45	65	85	45	45	75	75	85	25	45	35	25	55		
<i>Rosa pendulina</i>				1												
<i>Rubus idaeus</i>				5	1	1										
<i>Scrophularia alpestris</i>															5	
<i>Setum rupestre</i>																1
<i>Silene rupestris</i>	5			1		5		1		5						
<i>Silene vulgaris</i>						1					1					
<i>Sorbus aucuparia</i>				1	1		1		1							
<i>Stellaria holostea</i>									5	1	1	5	5	1	5	
<i>Thesium alpinum</i>	5								1							
<i>Thymus serpyllum</i> subsp. <i>praecox</i>															1	5
<i>Thymus serpyllum</i> subsp. <i>praecox</i>																
<i>Trifolium alpinum</i>	5				1		5			5						
<i>Vaccinium myrtillus</i>	15	5	5	5	5	15	5	15	5	15	5	25	25	5		
<i>Vaccinium uliginosum</i>	5															
<i>Veronica portae</i>																1
<i>Viola rupestris</i>															1	1 5
<i>Viola</i> sp.	5					1			1							