

Observatorio Pirenaico del Cambio Climático

Estudio sobre la adaptación al cambio climático en los Pirineos



Fuente: Viet Dominique/CRTMidi-Pyrénées

Perfil de los Pirineos

Mayo 2013



www.opcc-ctp.org

Introducción	5
1 El macizo de los Pirineos: un enfoque dinámico	7
1.1. Características geográficas, relieve e hidrología	7
1.1.1 Un macizo que se extiende del Atlántico al Mediterráneo	7
1.1.2 Los Pirineos: una formación reciente	10
1.1.3 Los Pirineos: una gran fuente de agua	11
1.2. Los climas del macizo	13
1.3. Uso del suelo y medio biótico	15
1.4. Demografía	19
1.5. Estructura administrativa y gobernanza	20
1.6. Actividades socioeconómicas	21
1.6.1. Una agricultura de montaña dominada por la ganadería	23
1.6.2. Gestión forestal y silvicultura	28
1.6.3. Industria, construcción y energía: situaciones que varían en el macizo	31
1.6.4. Turismo: un sector clave enfocado hacia la actividad invernal	34
1.6.5. Transportes: el desafío del relieve	39
1.7. Espacios naturales y de interés ambiental	40
1.7.1. Los Pirineos: un espacio de biodiversidad	40
1.7.2. Una riqueza preservada y valorizada	43
1.8. Riesgos naturales	45
2 Las manifestaciones del cambio climático en los Pirineos	48
2.1. ¿Qué es el cambio climático?	48
2.1.1. Los diversos factores que influyen en el clima	48
2.1.2. El aumento de los gases de efecto invernadero	48
2.1.3. Las emisiones de gases de efecto invernadero y las actividades globales de emisión .	50
2.2. Manifestaciones globales y evolución climática desde principios del siglo xx	52
2.2.1. A escala mundial	52

2.2.2.	A escala europea	55
2.2.3.	A escala de los Pirineos	57
2.3.	Las previsiones de cambio climático	59
2.3.1.	Proyecciones y escenarios.....	59
2.3.2.	A escala mundial.....	60
2.3.3.	A escala europea	64
2.3.4.	A escala de los Pirineos	65
3.	Vulnerabilidad del territorio frente al cambio climático.....	74
3.1.	¿Qué es la vulnerabilidad?	74
3.2.	Agricultura, ganadería, bosques y piscicultura	76
3.2.1.	La agricultura	76
3.2.2.	Los bosques	86
3.2.3.	La piscicultura.....	92
3.3.	Biodiversidad y ecosistemas.....	93
3.3.1.	La migración y la persistencia de especies: dos estrategias de adaptación al cambio climático	94
3.3.2.	La extinción de ciertas especies	96
3.4.	El turismo.....	97
3.4.1.	El confort térmico: evolución del índice de confort turístico (ICT)	98
3.4.2.	La evolución del manto de nieve.....	99
3.4.3.	La disponibilidad de los recursos hídricos.....	103
3.4.4.	Biodiversidad y paisajes.....	104
3.4.5.	Agroturismo.....	104
3.5.	Gestión del agua.....	104
3.5.1.	Los impactos físicos e hidrológicos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y los riesgos de inundación.....	106
3.5.2.	Los impactos del cambio climático sobre la demanda potencial de agua	109
3.5.3.	Impacto sobre los glaciares	110

3.5.4.	Los impactos sobre la calidad del agua	112
3.5.5.	Conclusiones.....	113
3.6.	Industria y energía.....	113
3.6.1.	La vulnerabilidad del sector hidroeléctrico	113
3.6.2.	La vulnerabilidad del sector industrial	114
3.7.	Transporte	115
3.8.	Ordenación del territorio y urbanismo	116
3.8.1.	Exposición a altas temperaturas	116
3.8.2.	Exposición a riesgos naturales de origen climático.....	117
3.9.	Salud humana	119
3.10.	Sector financiero y de los seguros.....	125
4.	Referencias bibliográficas.....	128
4.1.	Libros, artículos y documentos.....	128
4.2.	Sitios de internet consultados.....	135

Introducción

El desarrollo del presente informe se enmarca en la actividad de **"Adaptación" del Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC)**. Esta acción –que tiene como finalidad acompañar las propuestas de adaptación del macizo de los Pirineos al cambio climático– pretende identificar, analizar y desarrollar enfoques de adaptación al cambio climático en el territorio, así como las medidas iniciadas en otros territorios europeos que podrían ser trasladadas al macizo.

El perfil de los Pirineos tiene como objetivo presentar el contexto de aplicación de las medidas de adaptación con el fin de entender cómo responden a ciertos desafíos clave del territorio. Para ello, el perfil del territorio se divide en tres partes:

1. La visión general del macizo y sus actividades socioeconómicas.
2. La presentación del fenómeno del cambio climático y sus impactos en los Pirineos.
3. La presentación de la vulnerabilidad del macizo y sus sectores al cambio climático.

El documento se basa en una amplia revisión bibliográfica, que en la medida de lo posible se ha centrado en los Pirineos, aunque a menudo ha sido necesario completar algunos datos con entrevistas y con otros estudios de carácter más general, de entre los cuales se han seleccionado aquellos aspectos más representativos de las zonas de montaña.

Aunque este ejercicio refleja el estado actual del conocimiento, deberá ser actualizado en los próximos años, especialmente mediante el trabajo que desarrolle el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC).

ALCANCE DEL PERFIL DE LOS PIRINEOS

El documento examina la vulnerabilidad del territorio frente al cambio climático y su relación con los efectos del cambio global. No se tratan en el presente documento:

- Los intercambios de gases de efecto invernadero entre la atmósfera y el territorio (los sistemas humanos y ecosistemas): las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de actividades humanas en los Pirineos, el almacenamiento de carbono, las políticas de mitigación del cambio climático, etc.
- El impacto de la concentración de aerosoles y el ozono troposférico sobre los climas locales. Los fenómenos involucrados, particularmente complejos, puede ser un tema de investigación futuro para el OPCC;
- Los cambios globales (socioeconómicos, los usos de la tierra, etc.) y sus consecuencias sobre el territorio, los ecosistemas y las actividades humanas.

El objetivo de este primer estudio es iniciar la reflexión y animar a los actores en el camino de la adaptación al cambio climático, centrándose en las consecuencias (impactos) de este fenómeno.

ACERCA DEL ÁMBITO DEL PERÍMETRO GEOGRÁFICO DEL PERFIL DE LOS PIRINEOS

El estudio se centra en los Pirineos, aunque igualmente se interesa puntualmente de los territorios relacionados con el macizo (por ejemplo, las cuencas aguas abajo alimentadas por los Pirineos). El contorno de la cordillera ilustrado en los diferentes mapas del documento ha sido definido por los socios de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTP), en el marco de la realización del Atlas de los Pirineos. Sin embargo, el comité de seguimiento del presente estudio decidió incluir a la ciudad de Pamplona, que aparecía como aislada en el Atlas de la CTP.

El perímetro del macizo se define de manera diferente en las distintas jurisdicciones. Se basa en el concepto de "zonas de montaña", caracterizados por limitaciones relacionadas con la altitud, la pendiente y/o el clima¹.

En Francia, el concepto de "macizo" está reconocido como una entidad administrativa para llevar a cabo la política de montaña. El macizo incluye no sólo las zonas de montaña, sino también las zonas que son inmediatamente contiguas: colinas o llanuras, siempre y cuando garanticen la continuidad del macizo. Esta es la zona que marca el límite norte de la cordillera.

En España, este enfoque no existe y ha sido un trabajo colaborativo de las comunidades autónomas de la CTP el que ha permitido la definición de la frontera sur.

¹ Los detalles de estos criterios son establecidos por las comunidades autónomas en España y por el Estado francés.

1 El macizo de los Pirineos: un enfoque dinámico

1.1. Características geográficas, relieve e hidrología

1.1.1 Un macizo que se extiende del Atlántico al Mediterráneo

La cordillera de los Pirineos se extiende sobre 49.850 km² (de este a oeste: 520 km; de norte a sur: 150 km) desde el mar Mediterráneo hasta el golfo de Vizcaya, donde los montes vascos se juntan a la cadena cantábrica. De esto modo, el macizo constituye la unión entre la península Ibérica y la región centroeuropea. La parte central del macizo posee sus cimas más altas (incluyendo al pico Aneto, el punto más alto, a 3.404 metros sobre el nivel del mar).

Con la excepción de los valles catalanes, la mayoría de los valles pirenaicos están orientados de norte a sur (véase la orientación de los cursos fluviales en la Figura 1).



Figura 1 : Relieve del macizo pirenaico (Según © Eric Gaba – Wikimedia Commons user: Sting).

De este a oeste, se diferencian tres áreas montañosas en relación a su altura:

- **El Pirineo occidental (o Atlántico)**, también llamado "**Bajo Pirineo**" por su baja altitud. Se extiende desde el golfo de Vizcaya (Atlántico) hasta el pico de Anie. Las cumbres no sobrepasan los 2.000 metros. La altura de los puertos es también relativamente poco elevada, pero los valles pueden estar muy encajonados.
- **El Pirineo central**, situado entre el pico de Anie y el puerto Puymorens (Ariège), incluye las montañas más altas. En esta zona se encuentran el Aneto, el pico más alto de los Pirineos

(3.404 metros), y el Vignemale (el pico más alto francés, con 3.298 m). Sobre 140 km se extienden todas las cimas de más de 3.000 metros. Estas cimas están cubiertas de nieves perpetuas y neveros (hielos permanentes). Esta es el área donde se encuentran los últimos glaciares.

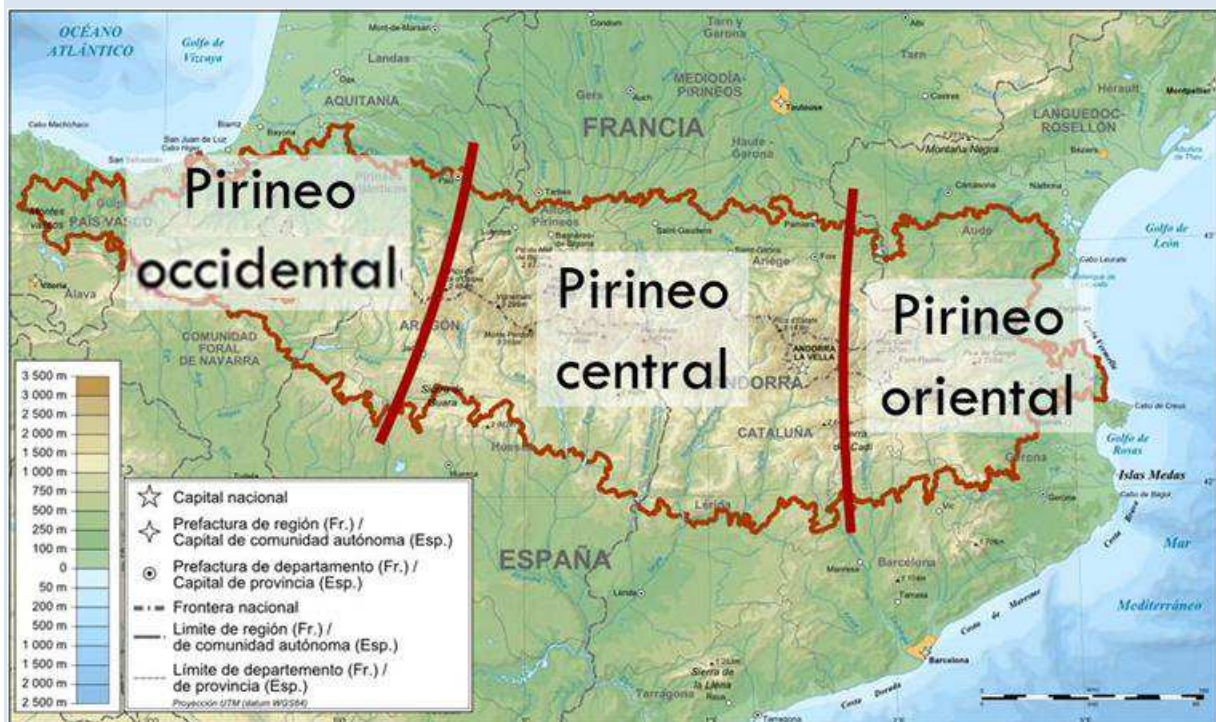
- **El Pirineo oriental**, se extiende desde el col de Puymorens hasta el Mediterráneo. Si bien este área montañosa tiene menor altura que los Pirineos centrales, también incluye altas cumbres (el Carlit, 2.921 m). La montaña experimenta un gran levantamiento hasta el Canigó (2.785 m) y termina abruptamente sobre los llanos del Rosellón y el Empordà.

La cimas que separan las vertientes sur y norte del macizo dibujan aproximadamente la frontera administrativa entre Francia, por un lado, y España y Andorra por el otro. La vertiente sur representa dos tercios de la superficie del macizo. El relieve es, en general, más abrupto en la vertiente norte que en la vertiente sur.

Recuadro 1 : Tres recortes geográficos para entender el territorio.

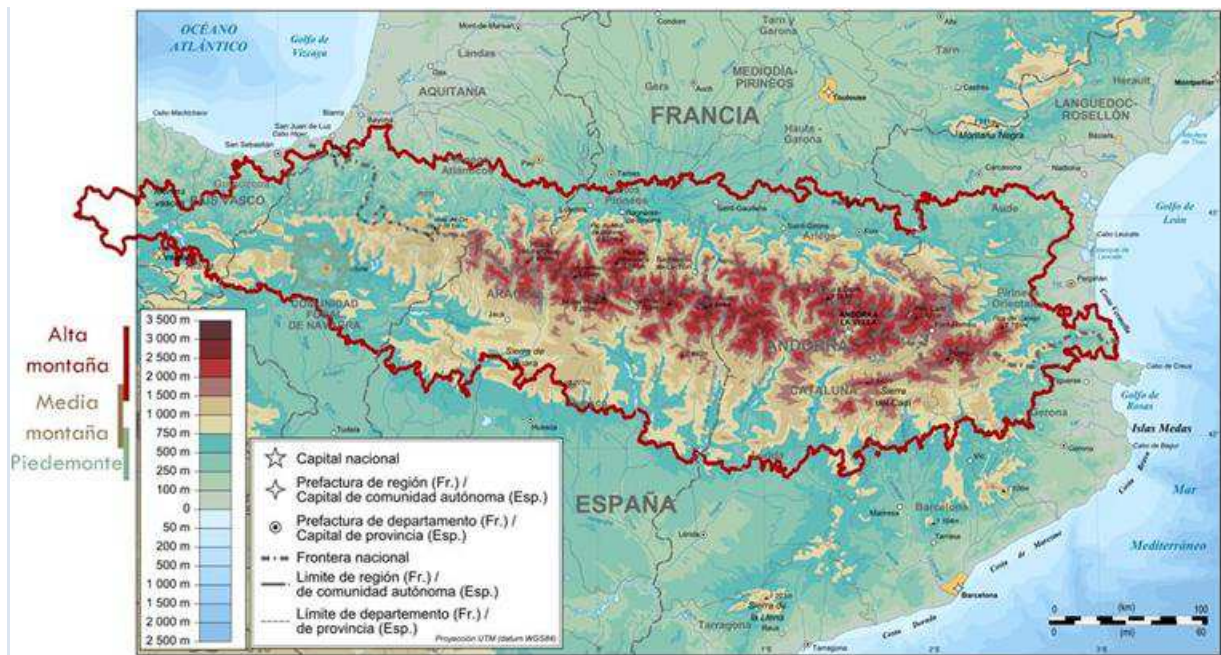
El territorio se analiza en este documento desde tres perspectivas, en base a características geográficas homogéneas:

- Un enfoque de este a oeste del macizo: Pirineo occidental / Pirineo central / Pirineo oriental.



Esta división permite tener en cuenta la heterogeneidad de la morfología y el clima del macizo. El mapa muestra esta división espacial.

- Una aproximación en función de la altitud, identificando zonas de alta montaña/montaña media/piedemonte:



Esta división nos permite tener en cuenta las restricciones de altitud y la pendiente, que ejercen mayor influencia en las actividades humanas y los ecosistemas presentes.

El mapa muestra una representación espacial de estas tres áreas (contrastes de color reforzados). Los límites se basan únicamente en la altitud y, por lo tanto, son aproximaciones.

- La perspectiva hidrográfica: vertiente norte/sur:



Esta división no sólo permite dar cuenta de las diferencias físicas entre las dos partes (morfología, influencias climáticas), sino también de la frontera administrativa existente, que implica una gestión diferente en cada lado. Geográficamente, Andorra está situada entre la vertiente sur y la vertiente norte. La Val d'Aran se sitúa en la vertiente norte, a diferencia de la Cerdaña francesa, que se orienta al sur.

1.1.2 Los Pirineos: una formación reciente

Los Pirineos son una cordillera formada durante la orogenia alpina (hace entre 53 y 33 millones de años), cuando las placas euroasiática e ibérica colisionaron. El acercamiento de las dos placas dio lugar a la formación de una zona de colisión entre el golfo de Vizcaya y el mar Mediterráneo, sometida a procesos de plegamiento que dieron lugar al levantamiento de rocas sedimentarias metamórficas antiguas y granitos.

Sin embargo, la historia geológica de los Pirineos se extiende durante más de 500 millones de años, con los depósitos más antiguos del Ordovícico y la particular presencia de la orogenia herciniana (360 hasta 290 millones de años). Desde su creación, los Pirineos han experimentado varios episodios de intensa erosión, incluyendo una fase relacionada con la presencia de los glaciares cuaternarios que dieron forma a los valles norte-sur "*en forma de U*" que explican el relieve actual.²

Desde el punto de vista geomorfológico se pueden diferenciar tres zonas:

- El **Pirineo axial**, en el centro, formado por materiales de origen paleozoico y precámbrico (en rojo en la Figura 2).
- Dos **bandas subpirenaicas** al norte y sur del Pirineo axial. Están mayoritariamente constituidas por **depósitos calcáreos** mesozoicos y terciarios, plegados durante la orogenia alpina (marrón y naranja en la Figura 2).

² Según Raymond Mirouse (profesor de la Universidad de Toulouse), en <http://pierre.gruneisen.pagesperso-orange.fr/geolval/>

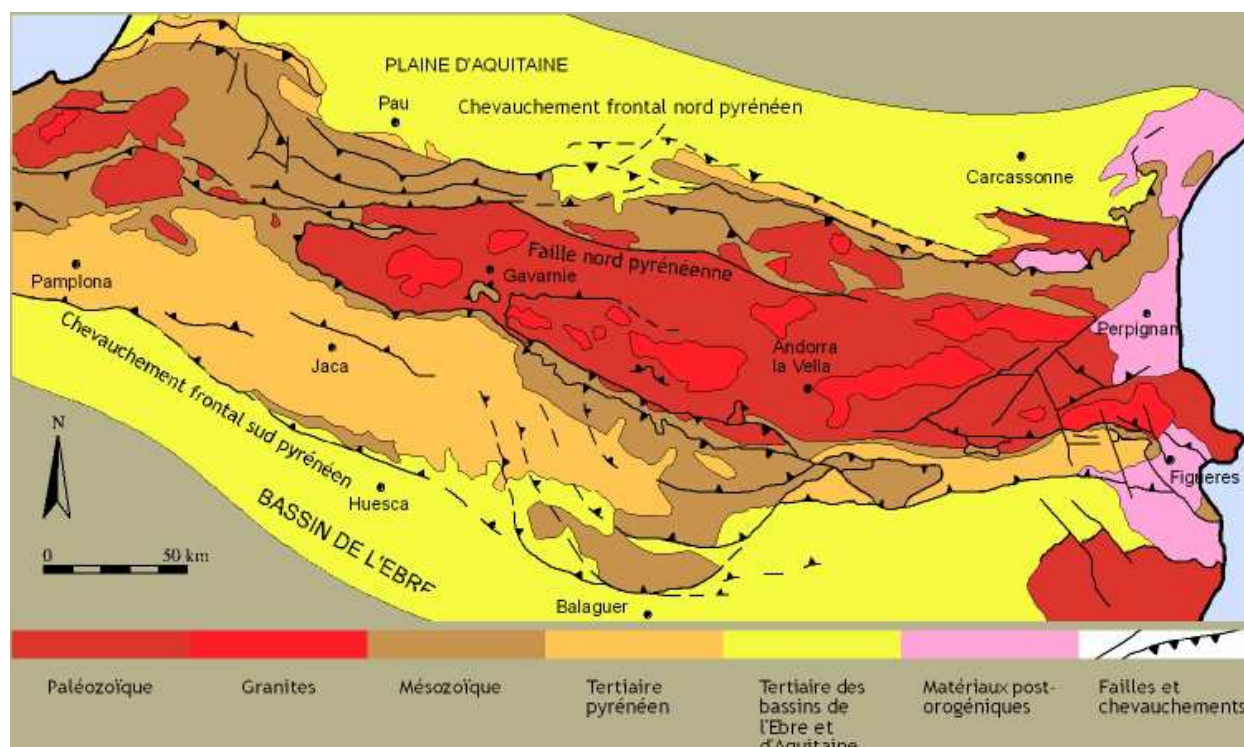


Figura 2 : Mapa geológico del macizo de los Pirineos – © Centro de Estudios de la Nieve y la Montaña de Andorra (CENMA).

1.1.3 Los Pirineos: una gran fuente de agua

La zona de los Pirineos pertenece a cuatro cuencas hidrológicas principales:

- **La cuenca del Ebro** (85.550 km²).
- **La cuenca del Garona** (55.000 km²) **y del Adur** (16.880 km²).
- **Las cuencas internas de Cataluña** (15.500 km²).

Al este y al oeste de la cadena, varias cuencas costeras siguen los valles orientados de este a oeste. En el frente atlántico los principales cursos fluviales son: el Nivelles, el Urumea, el Deba, el Ibaizabal y el Oria; en la vertiente mediterránea se encuentran el Llobregat, el Ter, el Fluvià y la Muga en la parte catalana; el Aude, el Berre, el Agly, el Têt y el Tech en Francia.

Las precipitaciones anuales son abundantes en **las áreas centrales**, particularmente elevadas, y al oeste, con influencia del clima oceánico (véase también la sección 2.2). Por otra parte, la altitud elevada permite el almacenamiento de agua en forma de nieve (temporal) o de glaciares, así como en los numerosos lagos de montaña. Han sido identificados 2.512 lagos de montaña, de los cuales aproximadamente 1.500 tienen más de 50 metros de diámetro y están situados a una altura de entre 1.600 y 2.880 metros, donde los más elevados se encuentran sobre la cresta oriental de los Pirineos (Pica d'Estats). A esta capacidad natural de almacenamiento se añaden los embalses artificiales, que tienen funciones diversas (ver también Figura 15 y Figura 16, p. 34). Por lo tanto, el macizo tiene un papel crucial en el suministro de agua río abajo. Además, los numerosos ríos, lagos y glaciares acogen una gran variedad de ecosistemas acuáticos (SGAR Midi-Pyrénées, 2011).



Figura 3 : Red hidrográfica de los Pirineos (Fuente: ACTeon, a partir de la base HydroSHEDS de la WWF).

El sistema hidrográfico³ **sobre las dos vertientes** se caracteriza por una serie de valles paralelos que descienden desde las altas cumbres. Este tipo de valles genera ríos cortos y torrenciales, con alguna excepción como en Aragón, donde los ríos desarrollan pendientes más suaves y alcanzan mayor longitud.

El caudal de la red hidrográfica es especialmente variable, debido al clima y al relieve. En la parte oriental del macizo los caudales son, probablemente, menos importantes que en el sector occidental, debido a una menor precipitación y a una mayor evapotranspiración.

A lo largo de los siglos, el sistema fluvial ha sido intervenido para responder a las necesidades de la agricultura y la producción energética, lo que explica la complejidad del funcionamiento del sistema hidrológico.

Gran parte del territorio de la CTP está cubierto por cuencas alimentadas por el macizo. Por lo tanto, los posibles cambios en los recursos hídricos no solo afectarán al Pirineo, sino también a todos los territorios que se abastecen de él. Las cuencas del Ebro, el Garona y el Adur tienen un papel particularmente importante, no sólo para las producciones energéticas, sino también para las actividades agrícolas e industriales. En el caso de las cuencas internas de Cataluña, los ríos Ter y Llobregat son la base del abastecimiento urbano de casi 5 millones de personas en la región metropolitana de Barcelona.

³ Fuente: Encyclopedia Britannica; Ibarra, 2002.

1.2. Los climas del macizo

El clima del macizo está influenciado por el océano Atlántico al oeste y por el mar Mediterráneo al este, mientras que el relieve juega un papel importante en los factores de precipitación y temperatura. Las Figura 4 y Figura 5, generadas a través de los datos de WorldCLIM, muestran las temperaturas y precipitaciones medias anuales en el macizo.

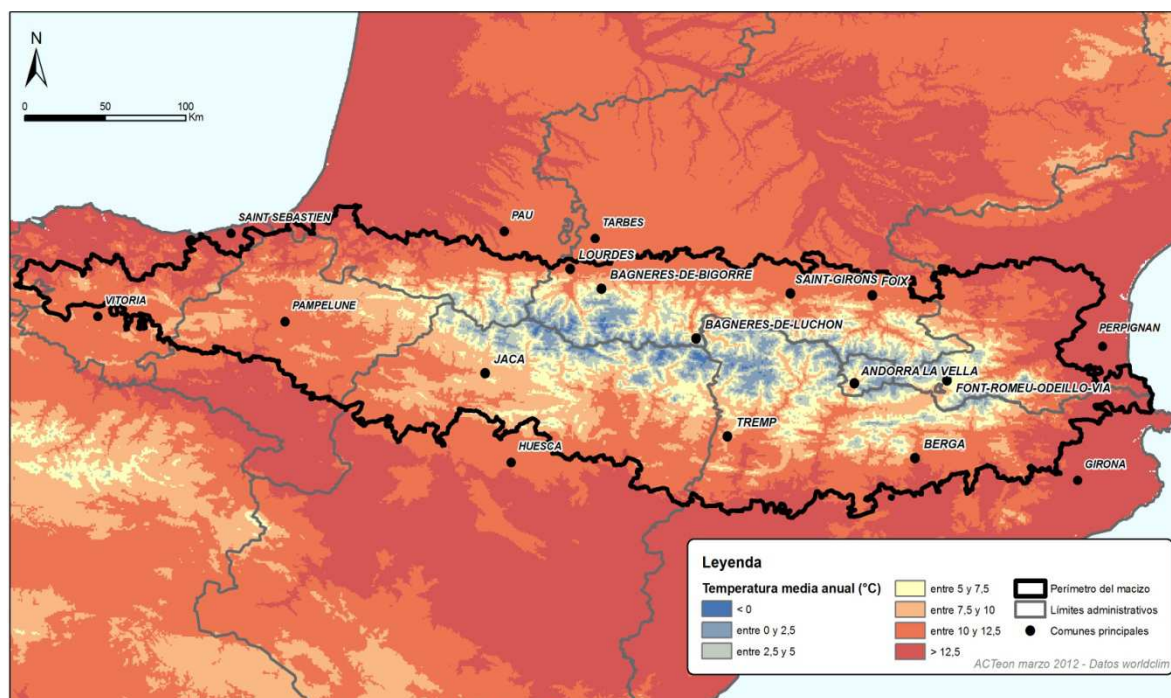


Figura 4 : Temperatura media anual a escala del macizo de los Pirineos (Fuente: ACTeon, 2012 – datos para 1960-1990, resolución 2,5 minutos de arco WorldCLIM⁴).

⁴ Para más información sobre la metodología, consultar Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. [International Journal of Climatology 25: 1965-1978](#).

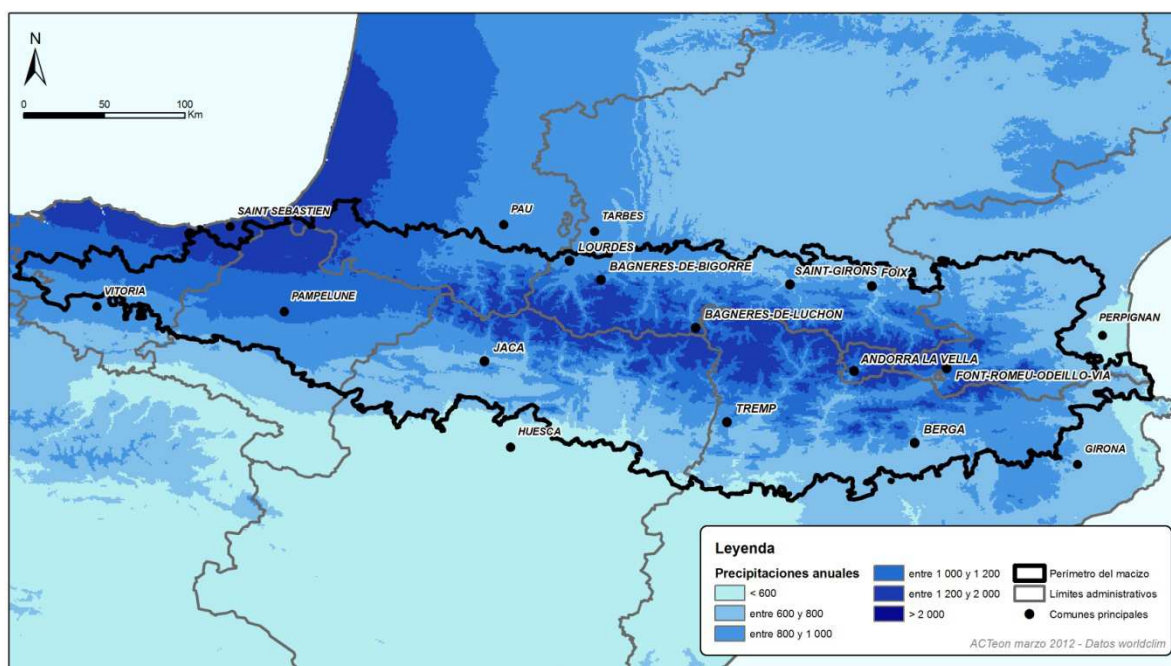


Figura 5 : Precipitación media anual a escala del macizo de los Pirineos (Fuente: ACTeon, 2012 - datos para 1960-1990, resolución 2,5 minutos de arco WorldCLIM).

Desde el punto de vista climático, es posible clasificar la cordillera pirenaica en cinco grandes regiones⁵ (Duquesne, 2008):

- **Clima oceánico: zona occidental del macizo**

Su altitud moderada restringe el efecto barrera, junto con el efecto de la proximidad al océano, de forma que en esta zona se dan las mayores acumulaciones de precipitaciones de todo el Pirineo. La capa de nieve invernal, alimentada por las abundantes precipitaciones, es irregular debido a la relativa suavidad que aporta la proximidad al mar y tiende a mantenerse a más de 1.200 m.

- **Clima sub-oceánico: media montaña de la vertiente norte de los Pirineos centrales**

Esta región climática se extiende desde Ossau hasta Aude occidental. Se encuentra relativamente a salvo de las precipitaciones oeste/sudoeste que se concentran en las zonas altas fronterizas de la cordillera. En cambio, se encuentra muy expuesta a las precipitaciones norte/noroeste, que chocan contra el macizo. La capa de nieve invernal se mantiene a más de 1.200 m.

- **Clima subcontinental con tendencia mediterránea: media montaña de la vertiente sur:**

Esta región climática se extiende desde Ansó hasta el Cadí. Contrariamente a lo que se piensa, la vertiente sur no es más seca que la vertiente norte, al menos en términos de acumulaciones pluviométricas.

La variabilidad térmica anual es mayor en la vertiente sur del macizo con inviernos tan fríos como en el lado francés, pero veranos mucho más cálidos. La capa de nieve invernal se mantiene por encima de los 1.500 metros.

⁵ Fuente : www.opcc-ctp.org

- **Clima sub-oceánico frío: la alta montaña de los Pirineos centrales**

Esta región climática se extiende desde Ossau hasta el Carlit, por encima de los 2.000 metros. Salvo excepciones, en general es una zona muy expuesta a las precipitaciones oeste/sudoeste. Las acumulaciones pluviométricas, sobre todo en forma de nieve, son bastante homogéneas de una vertiente a otra a pesar de que hay un ligero descenso de oeste a este.

La capa de nieve suele mantenerse normalmente entre noviembre y abril a partir de 2.000 metros aproximadamente.

- **Clima mediterráneo con tendencia subcontinental: Pirineos orientales**

Esta región climática es la más heterogénea del macizo y se extiende desde Aude hasta las Alberes y de las Alberes hasta el Cadí.

Las precipitaciones oeste/sudoeste afectan, de manera apreciable, a la sierra del Cadí para después debilitarse en el Puigmal, el Canigó y el Madrès, mientras que las precipitaciones norte/noroeste afectan al Madrès y al Canigó, pero casi no llegan al Cadí.

Las perturbaciones de origen mediterráneo, aunque más raras y muy aleatorias de una vertiente a la otra, son especialmente abundantes al sur del Canigó, donde se registran las acumulaciones anuales más importantes (La Preste, 129 cm/año).

Las temperaturas son similares a las de la vertiente sur, excepto en zonas más próximas al mar, donde la variación de la temperatura anual disminuye. La capa de nieve de invierno se mantiene por encima de los 1.500 metros.

Hay diversos estudios específicos referentes al clima regional en los Pirineos que analizan la tendencia evolutiva de las diferentes variables climáticas, especialmente temperatura y precipitaciones. Por ejemplo en Cataluña, el Servei Meteorològic de Catalunya, entre otros, ha realizado diversos estudios detallados que analizan las variables climáticas para el periodo 1950-2008, así como las tendencias más inmediatas (Barrera y Cunillera, 2010; Turco y Llasat, 2011; Llebot, 2009).

1.3. *Uso del suelo y medio biótico*

La cobertura boscosa cubre el 43% del macizo con dinámicas distintas en las dos vertientes. En la **vertiente norte**, el sector central del macizo es el más boscoso y llega a ocupar un 70% de la superficie. El corazón de los Pirineos franceses tiene la mayor superficie de bosques (187.900 ha), mientras que la frontera occidental (vasca) y oriental (catalana), tradicionalmente muy pastoral, poseen relativamente poca superficie boscosa (menos del 25%). En la **vertiente sur**, las políticas de reforestación emprendidas hace más de un siglo, generaron, en comparación con Francia, que las montañas de Navarra (tasas del 82%)⁶ y Cataluña sean las más forestadas. Tales tasas de cobertura boscosa hacen del País Vasco (66%) y de Cataluña (60%) las comunidades autónomas de los Pirineos

con mayor superficie forestal, como subraya el *Informe de Sostenibilidad en España 2011*, que incluye un capítulo especial sobre bosques con motivo de la celebración del Año Internacional de los Bosques (OSE, 2011).

En Andorra, la proporción de superficie forestal es del 38% (datos 2003), en aumento con respecto al año 1972 (33%).

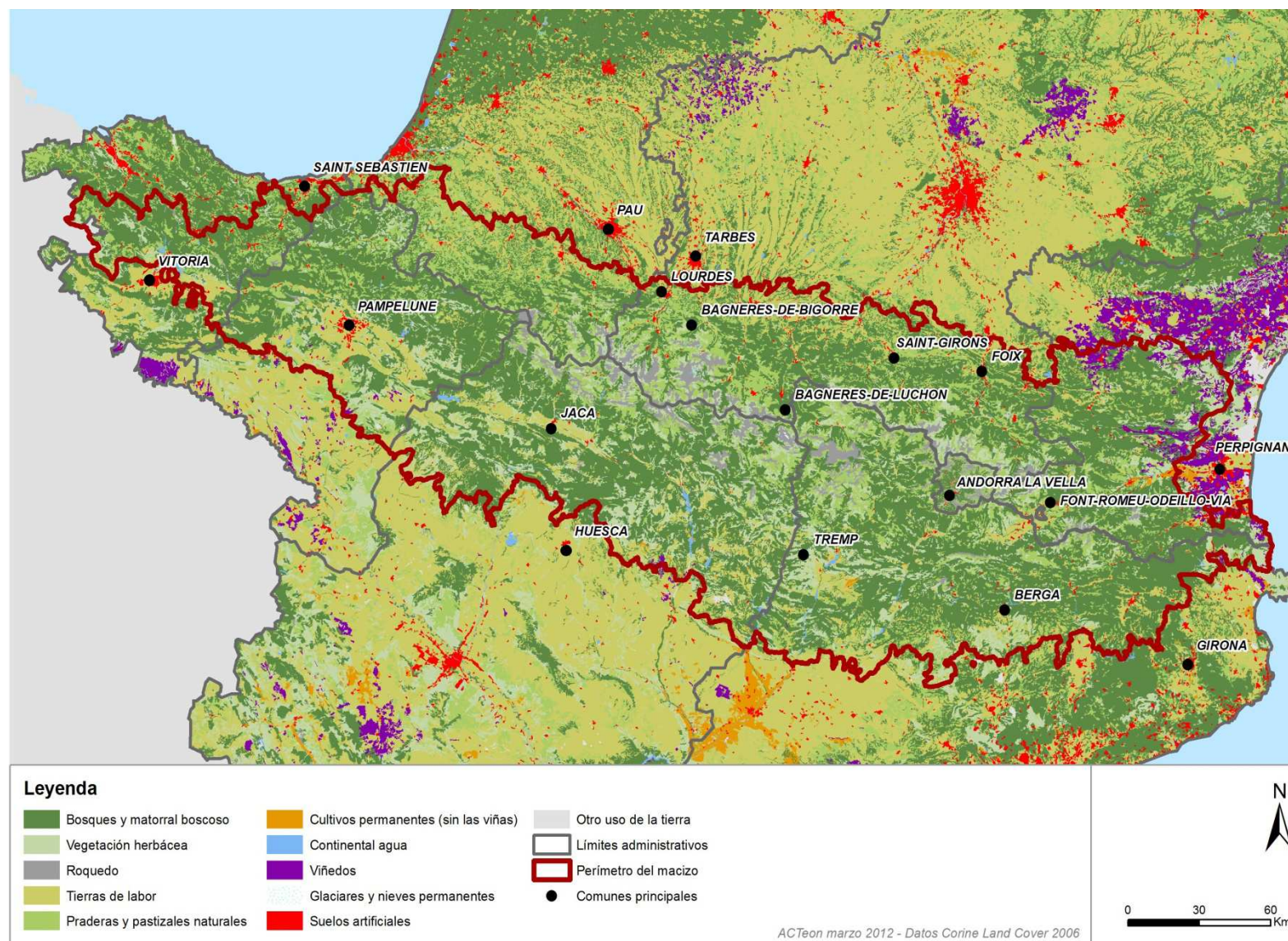


Figura 6 : Uso del suelo en los Pirineos [Fuente: ACTeon, 2011 - datos Corine Land Cover, 2006 [European Environmental Agency] e Institut d'Estudis Andorrans, 1995.

La presentación del medio biótico de las zonas de montaña requiere mencionar en primer lugar los pisos alpinos. Así, se distinguen cinco áreas diferentes para la distribución de las especies vegetales (Lavaud, 2009) en función de la altitud y de la orientación de la vertiente:

- El **piso colino** (desde el nivel del mar hasta 1.000 m en la vertiente sur y hasta 800 m en la vertiente norte) está dominado por robles. Corresponde generalmente a la zona de piedemonte o de áreas **somontanas**, excepto en las zonas conservadas como pastos.
- El **piso montano** (entre 1.000 y 1.900 m en el lado sur y entre 800 y 1.700 m en el lado norte) está dominado por hayas y abetos en la ladera norte, y pino silvestre en la vertiente sur. Corresponde a la zona de media montaña, con excepción de las zonas de pastos.

Los tres pisos de altitud que se muestran a continuación se corresponden generalmente con la alta montaña, donde las limitaciones ligadas a la altura son más importantes:

- El **piso subalpino** (entre 1.900 y 2.600 m en el lado sur y entre 1.700 y 2.300 m en la vertiente norte), está dominado por el pino negro, que se encuentra, principalmente, en la parte central y oriental del macizo.
- El **piso alpino** (entre 2.500 m y 3.000 m) se caracteriza por un período de vegetación de menos de 100 días al año. Se encuentra principalmente cubierto por vegetación herbácea y zonas rocosas con escasa vegetación.
- El **piso nival** (por encima de 3.000 m) se caracteriza por la presencia de líquenes y musgos.

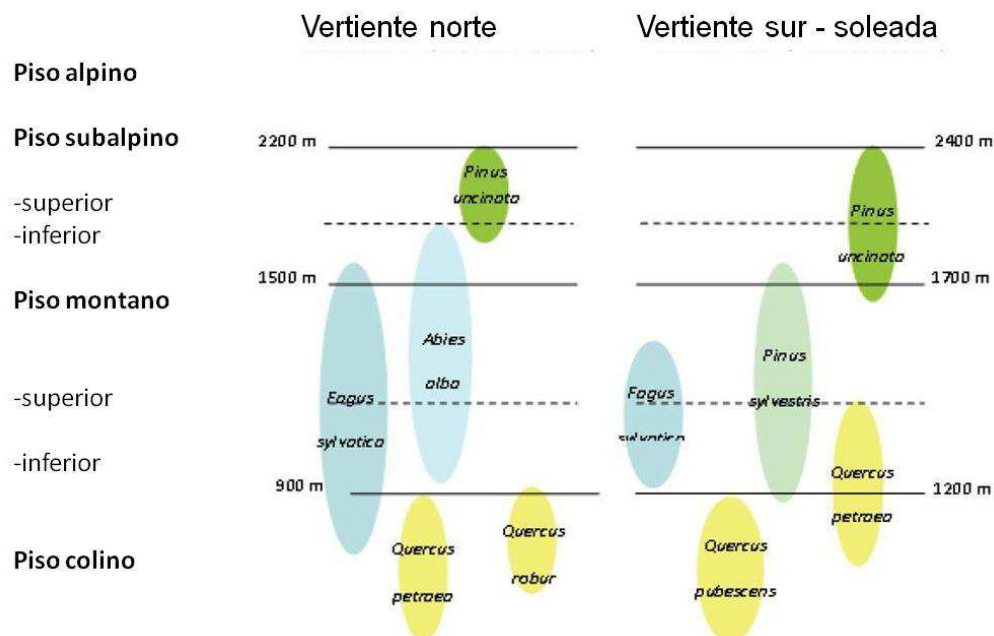


Figura 7 : Distribución altitudinal de especies con interés en el Pirineo Central (Fuente: Vitasse, 2008, traducido por los autores).

1.4. Demografía

En el año 2006, el macizo tenía una población de aproximadamente 1.155.000 habitantes de los cuales 575.000 se encontraban en España, 500.000 en Francia y 80.000 en Andorra (INSEE francés, INE español y el Departament d'Estadística, Govern d'Andorra). A escala del macizo, la población presenta una baja densidad (cerca de 23 hab/km²) y se encuentra repartida de forma desigual en el territorio.

En un macizo generalmente poco poblado, **Andorra** representa una situación excepcional con una densidad alta (182 hab/km²),⁷ resultado del crecimiento demográfico experimentado en las últimas décadas (de 8.400 habitantes en 1960 a más de 85.000 habitantes en 2010). Este aumento ha dado lugar a una urbanización sin precedentes que aún continúa hoy. La población se concentra en torno a dos grandes centros económicos: Andorra la Vella y Escaldes-Engordany. La cuenca de Pamplona⁸ es otra excepción, puesto que contaba con más de 340.000 habitantes en 2011 y una densidad elevada (584 hab/km²).

Fuera de estos dos territorios, la población se concentra principalmente en (ver Figura 8):

- los extremos este y oeste del macizo, por consiguiente en zonas de baja altitud y cerca de la costa;
- las laderas norte del macizo y la zona del Prepirineo;
- los valles y cerca de las vías de comunicación.

Desde un punto de vista global, el macizo no experimenta una demografía dinámica, debido en parte a la proporción importante de personas mayores y a pesar de un balance migratorio positivo (ej. +4.2% entre 1990-2006 sobre la vertiente norte). Esta perspectiva oculta la variabilidad espacial ya que ciertas áreas, como Andorra y la zona urbana de Pamplona experimentan una demografía local dinámica. Los Pirineos orientales también se distinguen, tanto en el sur como en el norte, por poseer un saldo migratorio positivo. En un contexto de cambio climático, el principal desafío demográfico del territorio está relacionado con el envejecimiento de la población pirenaica. (Atlas de la CTP, según datos del IGN, MEGRIN, INSEE, INE 2002)

⁷ Aproximadamente 28 hab/km² en la vertiente norte del macizo y 13 hab./km² en la vertiente sur.

⁸ Unidad administrativa que representanta la aglomeración de Pamplona.

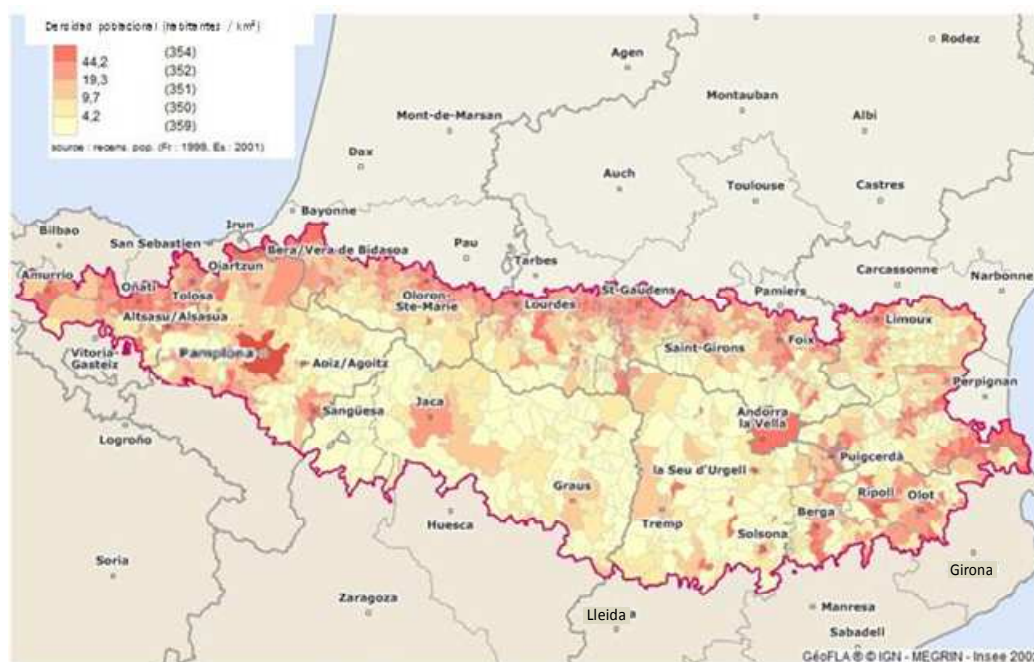


Figura 8 : Densidad poblacional en los Pirineos por municipio (Fuente: Atlas de la CTP, según datos del IGN, MEGRIN, INSEE, INE 2002).

1.5. Estructura administrativa y gobernanza

Más de dos tercios de la superficie del macizo se encuentran en la vertiente sur. Administrativamente, el territorio pirenaico está dividido en tres Estados que tienen todo o parte de su territorio sobre los Pirineos: Andorra, España y Francia. En el nivel administrativo menor, el macizo también se divide en:

- Cuatro comunidades autónomas en España: País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña; y tres regiones en Francia: Aquitania, Midi-Pyrénées y Languedoc-Rosellón.
- Siete provincias españolas: Gipuzkoa (País Vasco), Navarra (Navarra), Huesca y Zaragoza (Aragón), Girona, Barcelona y Lleida (Cataluña) y seis departamentos franceses: Pirineos Atlánticos (Aquitania), Hautes-Pyrénées, Haute-Garonne, l'Ariège, l'Aude (Midi-Pyrénées), el Aude y los Pirineos orientales (Languedoc-Rosellón).
- Siete parroquias en Andorra: Canillo, Encamp, Ordino, la Massana, Andorra la Vella, Sant Julià de Lòria y Escaldes-Engordany.
- 1772 "unidades básicas": 7 Parroquias andorranas, 583 municipios españoles y 1.182 municipios franceses.



ACTeon marzo 2012

Figura 9 : Principales divisiones administrativas del macizo: estados, comunidades autónomas españolas, regiones y departamentos franceses (Fuente: ACTeon, 2011).

1.6. Actividades socioeconómicas

Esta última sub-sección describe la importancia de los diferentes sectores de los Pirineos, su evolución pasada y sus perspectivas futuras. Debe vincularse con la cuarta parte de este informe, que analiza la vulnerabilidad de la zona ante el cambio climático desde una perspectiva sectorial.

El Pirineo es, desde el punto de vista biofísico –pero también socioeconómico–, un área de gran diversidad. Es una cordillera de contrastes y paisajes muy distintos que ha desarrollado actividades económicas similares en las diferentes zonas del macizo (Ibarra, 2002).

Andorra es un país próspero, con un PIB per cápita que se acerca a los 33.000 € (valor del 2011, previsiones del Govern d'Andorra, 2012). El sector servicios es la columna vertebral de la economía andorrana, ya que representa el 80% del PIB del país (26% comercio, turismo y hostelería, 16% sistema financiero y 38% el resto de actividades, 2010). El sector financiero, que consiste principalmente en banca y seguros, es uno de los más dinámicos y se encuentra a la cabeza de la economía andorrana. En noviembre de 2011 el sistema financiero, la actividad inmobiliaria y los servicios a empresas concentraban el 15,7% del total de trabajadores.

Andorra recibe 8,4 millones de visitantes por año (dic.2010-dic.2011), alcanzando en 2004 el récord de 11,7 millones, lo que muestra la vocación turística del país.

Andorra tiene un déficit comercial continuo, aunque con una marcada desaceleración desde el año 2000. En 2011 el déficit se redujo en un 0,77% a 1.100 millones de euros. Los principales socios de Andorra son los Estados miembros de la Unión Europea, donde se comercializan más del 89% de sus exportaciones: España representó cerca del 60% de las exportaciones en 2011, Francia, cerca del 23% y Alemania el 2,7%. Las importaciones provienen de Europa en un porcentaje superior al 99%: España concentró el 78.3% de las importaciones andorranas en 2011, Francia el 19,7%, Alemania el 0,35% y Portugal el 0,35%.

La agricultura es una actividad poco desarrollada, principalmente debido al terreno montañoso. La superficie agrícola ocupa el 4,2% de la superficie total, es decir, unos 20,5 km² y representa el 0,4% del PIB de Andorra y el 0,48% de la población total.

En **España**, la distribución de las actividades socioeconómicas en el Pirineo es desigual. Aragón es la comunidad autónoma más enfocada al sector terciario (59,8%) en contraposición al País Vasco (46,9%) y Navarra (46,2%), que presentan porcentajes de actividad en este sector más moderadas (Tabla 1). Además, es en estas dos comunidades autónomas donde más concentración y diversificación industrial existe (en el País Vasco el 42,3% y en Navarra el 31.9%).

Tabla 1 : Porcentaje de población activa por sector en Andorra, de las distintas regiones y comunidades autónomas por sector. Partes de estos territorios pertenecen al macizo⁹ para el año 2000 (Fuente: atlas.ctp.org).

	Agricultura	Industria	Construcción	Servicios
Andorra	0,4%	3,1%	17,1%	79,4%
Aragón	12,8%	13,4%	14,0%	59,8%
Cataluña	7,2%	25,4%	14,0%	53,4%
Navarra	10,2%	31,7%	11,6%	46,6%
País Vasco	3,0%	42,3%	7,8%	46,9%
Aquitania	15,2%	20,0%	7,6%	57,2%
Languedoc-Rosellón	10,7%	10,1%	6,5%	72,6%
Midi-Pyrénées	6,9%	15,2%	7,1%	70,7%

⁹ La cuenca de Pamplona no fue incluida en el perímetro del Atlas de la CTP.

Respecto al **sector primario** las divergencias se acentúan. Por un lado, la participación de la economía aragonesa en este sector es alta, alcanzando el 12,8%. Lo mismo ocurre con la franja navarra-pirenaica, que tiene un porcentaje de actividad agraria del 10,3%. El País Vasco, sin embargo, apenas cuenta con una participación del 3% en este sector.

Por último, atendiendo al sector de la construcción, los comportamientos son más homogéneos, destacando Cataluña y Aragón con porcentajes de actividad del 14%, y siendo el País Vasco el menos dependiente, con una participación del 7,8%.

En cuanto a la evolución de la actividad entre 1990 y 2000, se observa un retroceso en la agricultura y en la industria a favor de la construcción y de los servicios. Pese a no contar con datos específicos de la zona pirenaica para la última década, cabe esperar que esta evolución haya continuado hasta la fecha, perdiendo importancia la actividad agraria a favor de la construcción y los servicios.

En **Francia**, se distinguen tres sistemas socioeconómicos en el macizo: el **sistema vasco-bearnés** al oeste del territorio y caracterizado por una economía productiva importante, dónde la agricultura y la industria están bien desarrolladas; el **sistema central**, conformado por los departamentos del Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne, l'Ariège y Aude, una zona que sigue siendo muy dependiente de la ciudad de Toulouse y en la que las transferencias del estado en materia de gasto social representan aproximadamente el 10% de los ingresos, aunque posee un sector turístico bien desarrollado; finalmente, el **sistema catalán**, situado en el departamento de los Pirineos-Orientales, constituye un área altamente especializada en la economía residencial y turística. Más del 50% de los ingresos provienen de la actividad turística.

1.6.1. Una agricultura de montaña dominada por la ganadería

A pesar de la dificultad del relieve, los Pirineos han logrado valorizar sus tierras mediante el desarrollo de una agricultura basada principalmente en la ganadería y, en menor proporción, en los cultivos permanentes. La agricultura pirenaica, principalmente extensiva, se sustenta en procesos de calidad para reforzar su posicionamiento en un mercado muy competitivo (véase el recuadro).

Recuadro 2 : Algunos ejemplos de productos con compromiso de calidad en los Pirineos.

A continuación se incluyen algunos de los productos que disponen de una denominación de origen protegida (DOP) o de una Indicación geográfica protegida (IGP), que demuestran el compromiso de la agricultura pirenaica con la calidad:

- Quesos y lácteos: Ossau Iraty, DOP Queso y Mantequilla de l'Alt Urgell y la Cerdanya, DOP Idiazabal, DOP Roncal.
- Vinos y otras bebidas: Costers del Segre DOP, Ratafia Catalana DG, DOP Catalunya, DOP Cava, DOP Empordà, Banyuls, Banyuls Grand Cru, Rivesaltes, Muscat de Rivesaltes, Maury, Irouléguy, Jurançon, DOP Vino de Navarra, IGP Pacharán Navarro, DOP Txakoli de Getaria, DOP Somontano.
- Carnes : IGP Carn d'Andorra, AOC mouton Barèges-Gavarnie, DOP Ternera de los Pirineos catalanes, IGP Ternera y Cordero de Navarra, DOP Ternasco de Aragón, IGP Carne de Vacuno del País Vasco.
- Otros : IGP Espárrago de Navarra, DOP Manzana de Girona, DOP Pera de Lleida, IGP Pimiento de Gernika.

NB: a estos ejemplos se añaden otros IGP.

Las diferentes divisiones geográficas del macizo son aquí útiles para entender la diversidad del clima (oriental, central, oeste), del relieve (piedemonte, montaña y alta montaña) y del contexto socioeconómico (tanto a nivel estatal como regional). Esta diversidad se ha representado en la Figura 10.

1.6.1.1. Tendencias en la producción: el predominio de la ganadería

La ganadería, aunque presenta una cierta variabilidad de los sistemas de producción, está presente en todo el macizo y ocupa más del 80% de la superficie agrícola. A medida que la altitud aumenta, la proporción de la agricultura dedicada a la ganadería aumenta casi hasta la exclusividad. En la zona **norroeste** del macizo predomina la ganadería ovina lechera. Las ovejas pastan durante todo el año y trashuman en verano. En la zona norte-central, aunque no siempre es el caso, las ganaderías ovina o bovina aprovechan también las praderas de altitud y preservan parte del recurso forrajero para la producción mecanizada del forraje de invierno. En la zona **sur**, la trashumancia fue abandonada poco a poco, a pesar de algunas iniciativas de promoción. Las explotaciones de ganado vacuno también han ido sustituyendo gradualmente a las explotaciones de ovino. La cría está menos presente en la zona **norroeste**, aunque hay fincas que usan grandes pastizales improductivos. Las razas utilizadas se adaptan a las condiciones climáticas, la altitud y los métodos de gestión (trashumancia) específicos de los Pirineos.

La atenuación del relieve en el lado sur condujo al desarrollo de **cultivos anuales** en la parte de piedemonte del macizo, también desarrollado localmente en los valles, cerca de centros urbanos y en Andorra (producción tradicional de tabaco, entre otros cultivos). Fuera del macizo, los cultivos anuales son mayoritarios, con predominancia de las superficies de cereal. Una parte significativa de estos cultivos depende del riego y de las cuencas de los ríos Garona y Adur al (norte) y del Ebro (al sur).

Los **cultivos permanentes** están ocasionalmente presentes en la periferia del macizo (por ejemplo, en la provincia de Huesca), pero se concentran en las grandes cuencas vinícolas y frutícolas de la parte oriental (ver recuadro 2).

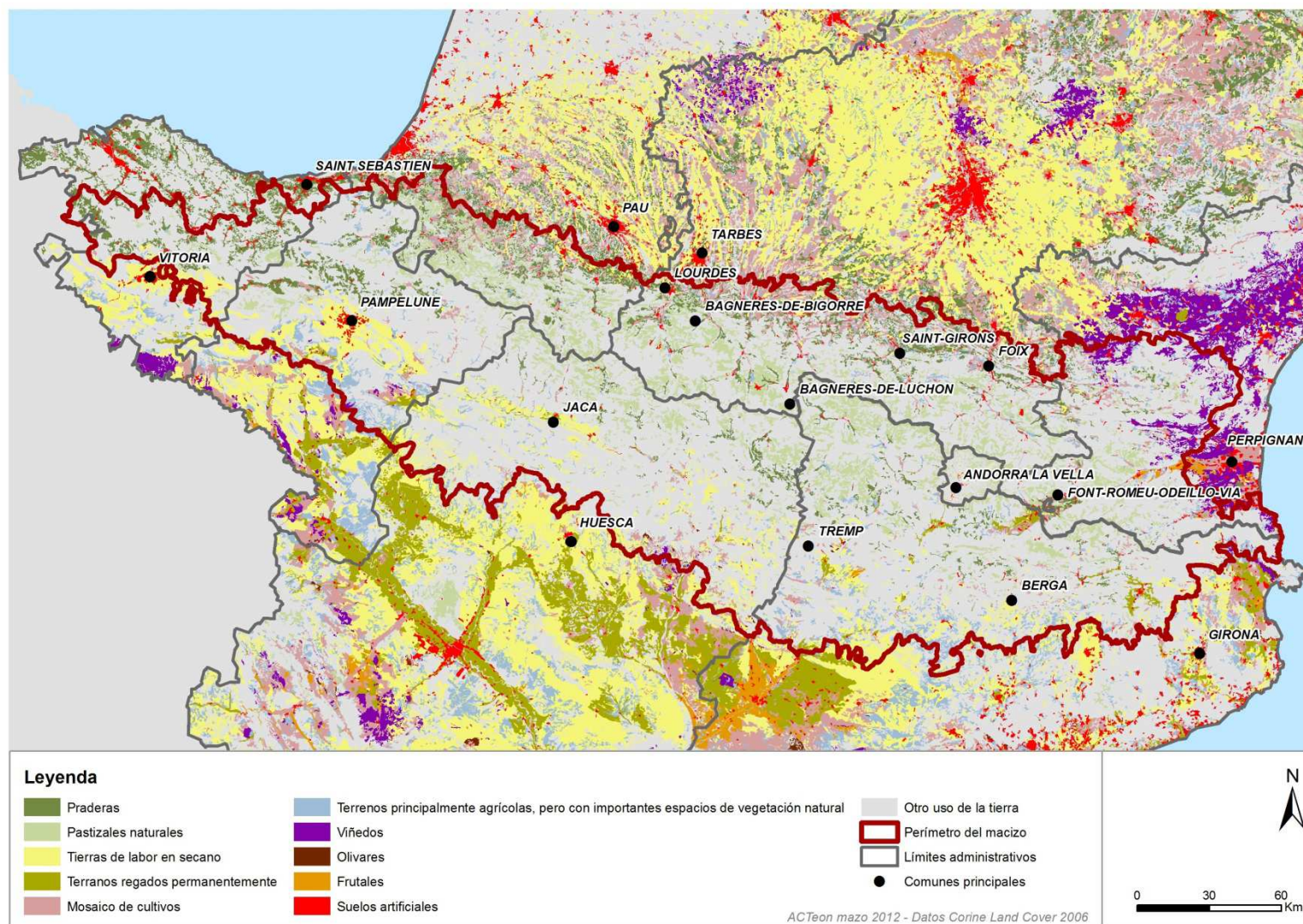


Figura 10 : Superficie agrícola y tipología de explotaciones a escala del macizo (Fuentes: ACTeon – datos Corine Land Cover, 2006 e Institut d'Estudis Andorrans, 1995).

1.6.1.2. Un sector agrícola en constante cambio

Los diferentes contextos históricos, culturales o también políticos de los tres países explican las distintas evoluciones. La agricultura y la ganadería representan sectores relativamente importantes de la economía del macizo (según las estadísticas nacionales, a excepción de Andorra). Sin embargo, estos sectores están disminuyendo con menos activos, y en el lado sur se observa ya una sustitución de pastizales por bosques. El declive de la agricultura en las últimas décadas afecta principalmente a las pequeñas explotaciones. La competencia cada vez más feroz, y los fenómenos meteorológicos extremos en los últimos años (las sequías en 2003, 2005, 2006, 2008 e invierno de 2011), son las principales causas de las dificultades a las que se enfrentan los agricultores (Fuente: CISO).

En **España**, el proceso de éxodo rural que se inició a finales del siglo XIX, se acentuó a mediados del siglo XX y conllevó la sustitución de cereales por prados y la reforestación de parcelas abandonadas principalmente con coníferas. Actualmente, la superficie agraria reducida ha disminuido en un 75% y el espacio cultivado se reduce a los fondos de valle, con suaves pendientes y suelos fértiles, próximos, además, a núcleos de población y fácilmente mecanizables (Lasanta, 2002).

La evolución de la **ganadería** durante el último siglo ha sido muy similar a la observada en la agricultura. A comienzos del siglo XX la base de la ganadería se fundamentaba en torno al ganado ovino, llegando a formar grandes explotaciones. Las fuertes diferencias entre invierno y verano en los recursos disponibles para la alimentación y supervivencia del ganado, motivaban la práctica de la trashumancia: el ganado salía durante el verano hacia los pastos supraforestales y de noviembre a mayo volvía a los valles. Con el proceso de éxodo rural, y los cambios surgidos en las prácticas agrarias, se abandonó la trashumancia, se redujo el tamaño del ganado para poder adaptarlo a los recursos disponibles de la zona y se mermó la presencia del ganado ovino en favor del ganado vacuno, con una estabulación más sencilla y con menor necesidad de mano de obra.

En la **vertiente norte**, el sector agrícola está relativamente bien desarrollado. En el 2010, representaba 17.000 empleos, un 8% del empleo total de la vertiente norte del macizo, comparado con el 3,5% que representa el sector a nivel nacional francés (INSEE). Las fincas son más numerosas en los extremos este y oeste de los Pirineos. Entre 1988 y 2000 el número de explotaciones disminuyó en un 31% (RGA).

A pesar de la disminución de la actividad agrícola, la oferta que se ha desarrollado en las últimas décadas ha otorgado especial importancia a la calidad de los productos. La demanda de productos más respetuosos con el medio ambiente también se ha incrementado. Según la *Agence Bio*,¹⁰ los productos de agricultura ecológica representaron el 2% del mercado total de alimentos en 2011, frente a solo el 1,1% en 2005. El sector de la agricultura ecológica y los sellos de calidad se han fortalecido, sobre todo en la zona este del macizo.

Además, han surgido formas alternativas de comercialización (circuitos cortos¹¹ y procesamiento en finca) y también la valorización del patrimonio agrícola (agroturismo). En el año 2000, el 48% de los agricultores de los Pirineos tenían una segunda actividad (RGA). Aunque su expansión se ve limitada

¹⁰ www.agencebio.org

¹¹ El concepto de circuito corto busca reducir el número de intermediarios entre productores y consumidores así como su distancia geográfica. El concepto puede abarcar distancias distintas según las áreas y los productos comercializados.

por la demanda local, es probable que se desarrollen estos nuevos sistemas agrícolas en el futuro (agricultura ecológica, circuitos cortos, agroturismo...) (RA 2010, RGA).

La actividad agrícola de Andorra ocupa una superficie de 20,5 km² y ocupa a 400 personas. El estatuto del sector primario ha cambiado poco a poco en el país. La ley sobre Agricultura y Ganadería (junio 2000) permitió la adopción de políticas de reconversión del sector primario hacia una mayor integración con distintos sectores productivos del país, en el sentido de que las ayudas concedidas proporcionan beneficios a toda la comunidad. Los beneficios reconocidos y retribuidos son la conservación de la naturaleza, del territorio, del paisaje, reconociendo así la aportación del sector primario a los sectores turísticos y comerciales del país.

La agricultura de [Andorra](#), hasta el año 2000, se basaba casi exclusivamente en la industria del tabaco y un sector ganadero poco estructurado. El desarrollo de la Ley de Agricultura y Ganadería se ha centrado en:

- Estructurar la industria cárnica: en 2012, Andorra obtuvo de la Unión Europea el sello de calidad IGP «Carn d'Andorra» para la comercialización de la carne de raza rústica “bruna de Andorra”, criada según criterios específicos.
- Diversificar la producción agrícola: se llevaron a cabo varios programas de investigación: viabilidad del cultivo de plantas aromáticas, adaptación de las variedades de patata a las condiciones edafo-climáticas y culturales del país, introducción de nuevas variedades forrajeras, desarrollo de la elaboración de vino y cultivo de la trufa.

1.6.2. Gestión forestal y silvicultura

El bosque tiene un papel importante en el macizo y cubre casi la mitad del espacio pirenaico. En Andorra, la proporción de bosques es ligeramente menor con un 38% del territorio en 2003 (un 33% en 1972). Las zonas boscosas ocupan así 25.900 Km² en todo el macizo pirenaico, de las cuales el 66% se ubican sobre la vertiente española. El recurso es abundante y ofrece varios servicios.

Los bosques de madera dura dominan los extremos este y oeste así como el lado norte hasta cierta altitud, en la que las condiciones ya no les resultan favorables. La vertiente sur de los Pirineos centrales y las zonas altas (hasta el alpino) están dominadas por bosques de coníferas, también favorecidos por las políticas de reforestación en España (ver figura más adelante)

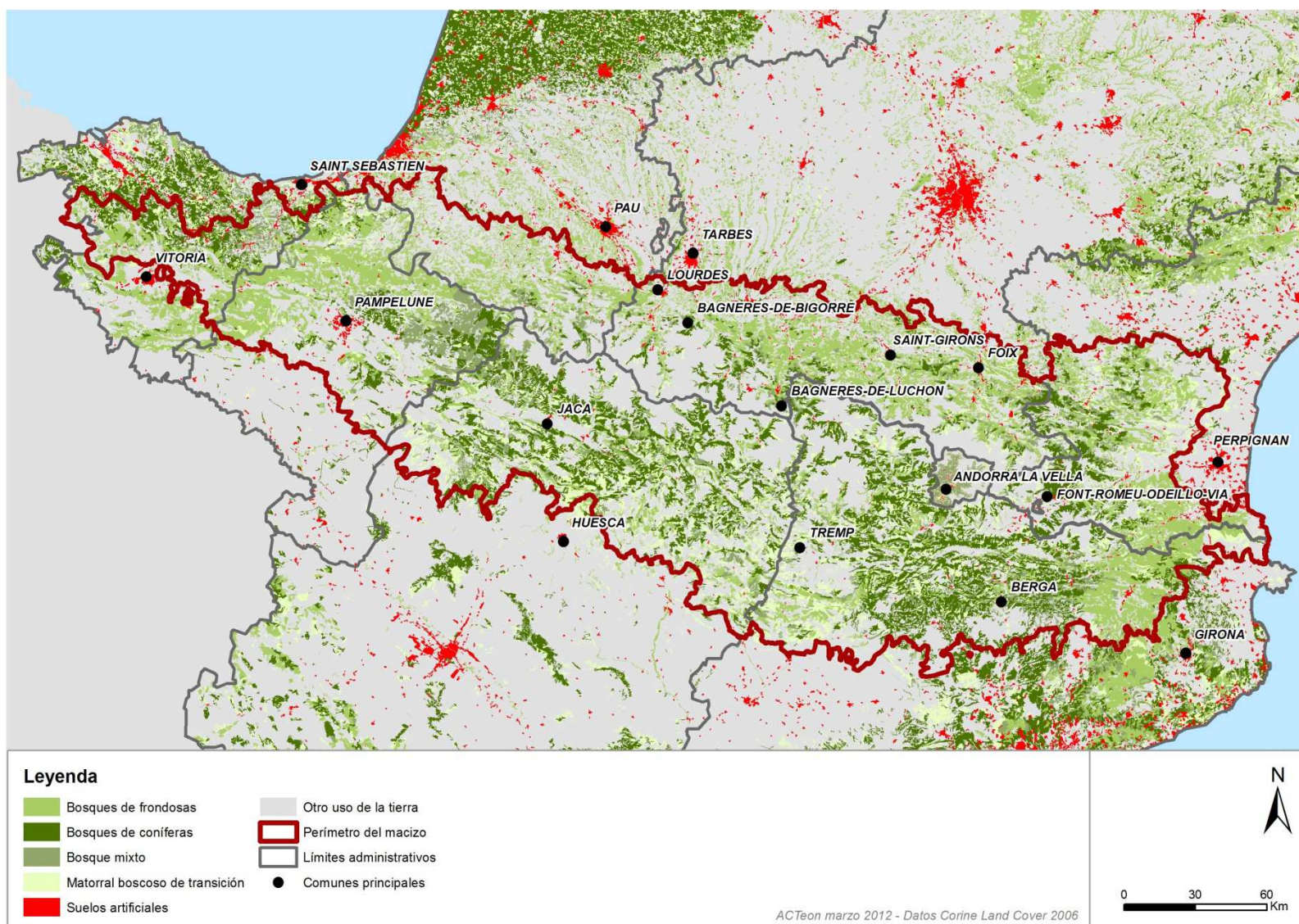


Figura 11 : Superficie forestal y tipo de bosques a escala del macizo (Fuente : ACTeon, 2012 - datos Corine Land Cover, 2006 e Institut d'Estudis Andorrans, 1995).

Sin embargo, una gestión forestal poco adecuada, combinada con la debilidad de la industria de la madera, no ha permitido su desarrollo, particularmente en Francia y en Cataluña, donde la mayoría de bosques son de propiedad privada.¹² De hecho, muchos propietarios privados no tienen experiencia en la gestión adecuada de los bosques o, a veces, desconocen sus derechos de propiedad. Esto impide el desarrollo de las funciones ambientales de estos hábitats y ecosistemas (reservorio de biodiversidad, servicios recreativos y de paisaje, gestión del riesgo). A excepción de Cataluña y el País Vasco, la mayoría de los bosques españoles son de titularidad pública.

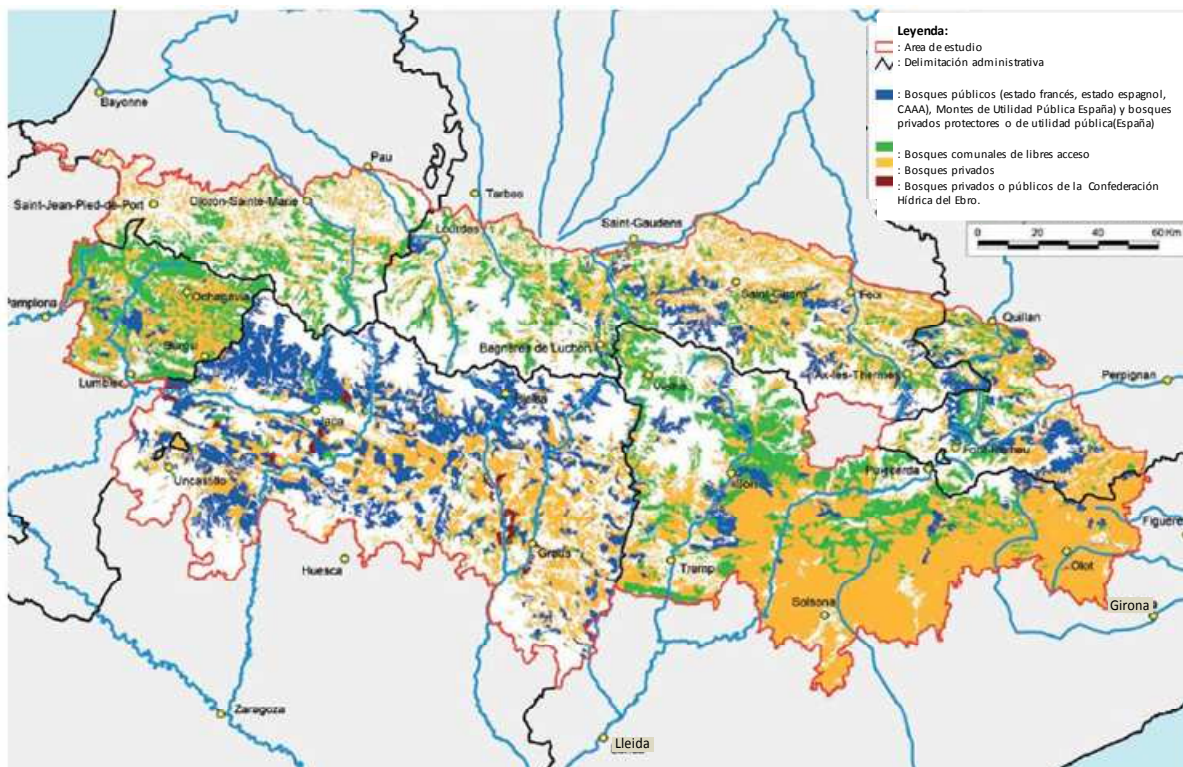


Figura 12 : Titularidad de los montes en la zona pirenaica (Fuente : Daubet B. & De Miguel Macaña S. & Maurette A. *Livre blanc des forêts pyrénéennes*, 2007, GEIE Forespir).

El sector maderero se enfrenta a dificultades económicas importantes, visibles con la caída de los aserraderos, que se han visto reducidos a un tercio a escala del macizo en 20 años.¹³ Estas dificultades están ligadas a:

- las limitaciones físicas de explotación que impiden al sector ser competitivo;
- las consecuencias indirectas de las tormentas de 1999 (aunque no hayan afectado a los Pirineos directamente, generaron inestabilidad en el mercado);
- la diversidad de especies y calidades complica el desarrollo de una oferta masiva y homogénea que responda a las necesidades de la industria.

Sin embargo, los agentes de la industria de la madera están buscando desarrollar oportunidades de mercado para la madera de la construcción y el sector energético (Fuente: OPCC). Esta constatación

¹² En la vertiente norte, el 55% del bosque es privado (en las zonas del borde del macizo y especialmente en las áreas de baja altitud), municipal en el 31% y estatal al 14%¹² (Figura 12).

¹³ Rapport d'état des lieux sur le massif forestier des Pyrénées, octobre 2007, le livre blanc des forêts pyrénéennes, GEIE Forespir, mars 2007, Inventaire Forestier National - IFN

debe matizarse para la zona catalana del macizo, donde la producción de envases y embalajes de madera ha dinamizado al sector (Daubet, De Miguel Macaña y Maurette, 2007, p. 32).

A escala del macizo, el abandono de los cultivos situados fuera de los valles ha permitido que la zona boscosa se extendiera de forma natural. Además, la Administración del Estado español impulsa la reforestación, desde 1940 fundamentalmente con coníferas, al objeto de incrementar los recursos forestales, restaurar la dinámica hidrológica natural de la zona y frenar la erosión de los suelos (Lasanta, 2002).

1.6.3. Industria, construcción y energía: situaciones que varían en el macizo

1.6.3.1. Una industria relativamente poco desarrollada

El sector industrial está relativamente poco representado en el macizo debido, principalmente, a las limitaciones físicas. El sector de la construcción es, sin embargo, muy dinámico, especialmente en ciertas zonas.

En [Andorra](#) se contaban en el 2010 unos 1.200 establecimientos en el sector industrial (industria, producción eléctrica y construcción), la mayoría en el sector de la construcción (70,9%), impulsado por el fuerte crecimiento demográfico y el desarrollo urbano.

Sobre [la zona francesa](#), el sector industrial está poco desarrollado. Más del 80% de las empresas (excluyendo la agricultura) se encuentran en el sector terciario (Figura 13). La construcción constituye la actividad externa al sector terciario con mayor presencia en términos de número de empresas en los Pirineos.

A pesar de su moderado peso en la economía de los Pirineos, el sector industrial sigue siendo dinámico. La industria aumentó su actividad casi un 10% entre 2008 y 2009 (Figura 13). Al mismo tiempo, la construcción ha aumentado en más del 11%, lo cual está muy por encima de la evolución media nacional francesa.

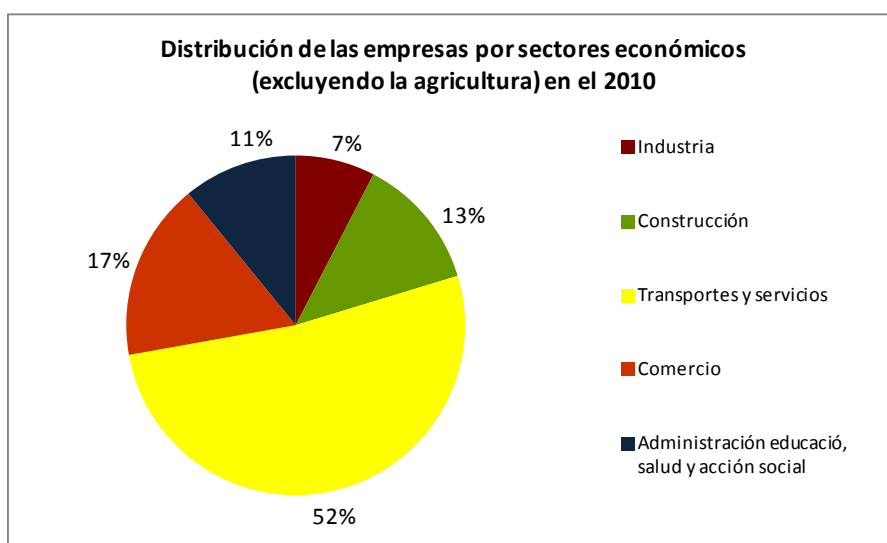


Figura 13 : Distribución de las empresas por sectores económicos en la zona francesa (excluyendo la agricultura) en el 2010 (Fuente: INSEE).

Sobre la **zona española**, dadas sus características, las dificultades del relieve y las deficientes comunicaciones, la industria se localiza sobre todo en las zonas periféricas del Prepirineo, especialmente en el País Vasco y Cataluña. En las zonas centrales la industria agroalimentaria es la que tiene una mayor difusión.

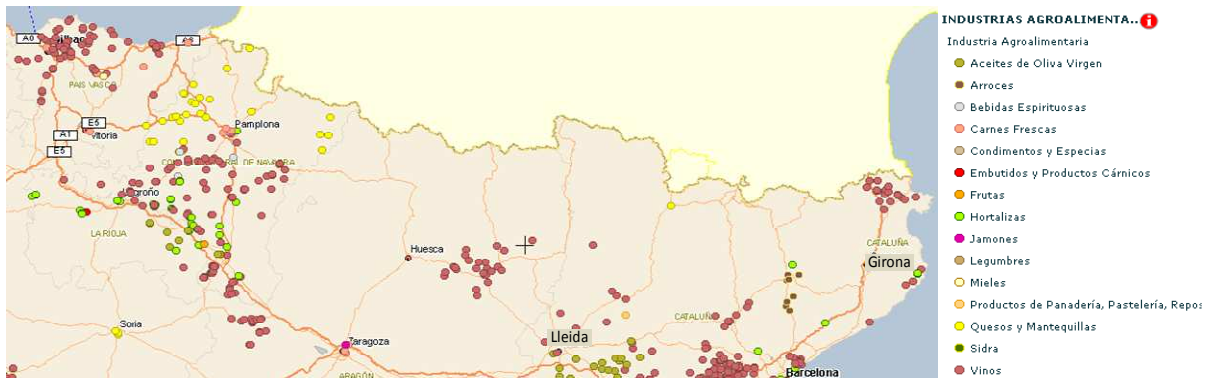


Figura 14 : Localización de industrias agroalimentarias en la vertiente sur del Pirineo (Fuente: MARM).

1.6.3.2. Energía: un papel importante en la producción energética

***NOTA:** se presentan aquí los sub-sectores del sector energético susceptibles de ser afectados por el cambio climático y no el conjunto del sector energético en los Pirineos –que supera el alcance de este documento.*

El sector energético en los Pirineos se enfrenta a dos retos principales:

- La producción hidroeléctrica;
- el sistema eléctrico de Andorra.

En el corazón de los Pirineos, **Andorra** tiene que hacer frente a un reto en relación con su modelo energético. De hecho, el sistema eléctrico de Andorra se encuentra exclusivamente en los Pirineos, mientras que el resto del macizo forma parte de los sistemas español y francés. El equilibrio entre la producción y el consumo tiene un significado crítico para Andorra. El país es importador de energía eléctrica en la actualidad y por lo tanto depende de la producción de sus vecinos. Hasta ahora, su producción estaba basada en una central hidroeléctrica con una capacidad de 47 MW (dos turbinas de 15 MW y una de 17 MW) que produjo 78,9 GWh en 2011 (13,4% de las necesidades energéticas de la electricidad del país en 2011). Sin embargo, existen planes de implantación de nuevas plantas de generación que aumentarían la capacidad instalada hasta los 59 MW (llegando a ser de hasta 74 MW en total, si se incluyen las obras de funcionamiento reversible o *STEP*, que permiten el almacenamiento de energía por acumulación y bombeo).

Además de la producción hidroeléctrica, una planta de tratamiento de residuos produjo 12,3 GWh en 2011 (2,1% de las necesidades de electricidad del país en 2011), complementando la producción nacional. El déficit de energía se compensa mediante la compra de energía eléctrica a Francia y España (84,5%).

El resto del macizo juega un papel importante en los sistemas eléctricos español y francés para garantizar el equilibrio entre la producción instantánea y de temporada, por un lado, y el consumo de electricidad, por otro. Las instalaciones hidroeléctricas poseen la capacidad de almacenar agua en los embalses y pueden iniciar la producción rápidamente.

La capacidad de producción se distribuye principalmente en ambas vertientes del macizo en las zonas central y occidental. También se produce energía en la zona oriental sur. La actividad hidroeléctrica está compuesta de numerosas plantas pequeñas y sólo algunas construcciones de gran tamaño (referirse a la Tabla 2, Figura 15 y Figura 16).

Las cuencas del Garona y el Ebro, ambas dependientes de los recursos de agua provenientes de los Pirineos, también juegan un papel importante en la generación eléctrica:

- la cuenca Adur-Garona proporciona el 20% de la producción hidroeléctrica francesa y el 11% de la producción de energía nuclear nacional francesa;
- En relación con la producción de las centrales eléctricas públicas de servicio público en España, la cuenca del Ebro produce el 32% de la energía nuclear, el 21% de la hidroeléctrica y el 11% de la energía termoeléctrica convencional.

Tabla 2 : Capacidad de producción hidroeléctrica en los Pirineos: por comunidad autónoma en España; para Andorra; por departamento en Francia (Fuente : elaborado por los autores a partir de IDAE, 2004; Ministère du Tourisme et de l'Environnement d'Andorre; DREAL Languedoc-Roussillon ; ORECCA;¹⁴ OREMIP¹⁵).

Territorio	Capacidad instalada (MW)
Aragón	194
Cataluña	232
Euskadi	55
Navarra	161
Andorra	47
Pyrénées-Atlantiques*	568*
Hautes-Pyrénées	751
Haute-Garonne	293
Ariège	900
Aude	131
Pyrénées-Orientales	54

**Para los Pyrénées-Atlantiques, la capacidad instalada sólo está disponible a escala de la región (Aquitania).*

¹⁴ Observatoire Régionale Energie Changement Climatique Air en Aquitaine.

¹⁵ Observatoire de l'énergie en Midi-Pyrénées.

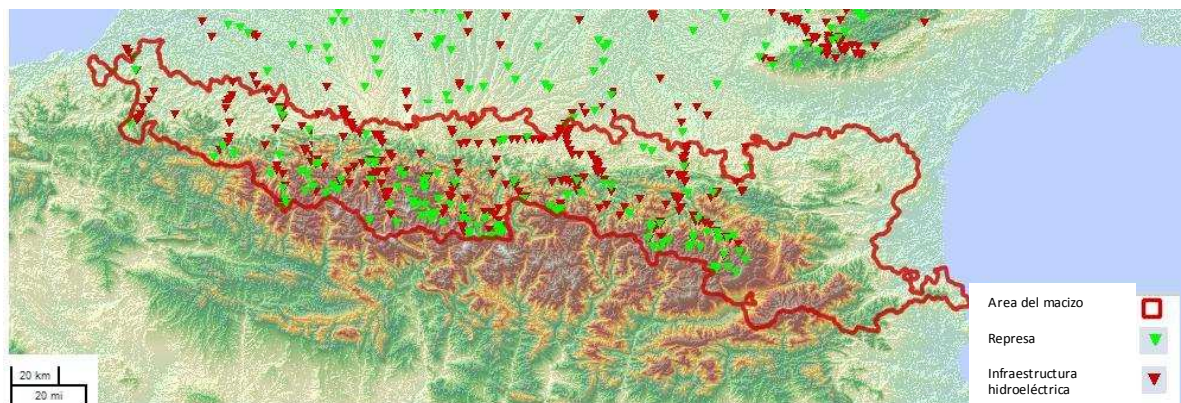


Figura 15 : Presas y centrales hidroeléctricas en los Pirineos franceses (Fuente : www.sig-pyrénées.net).

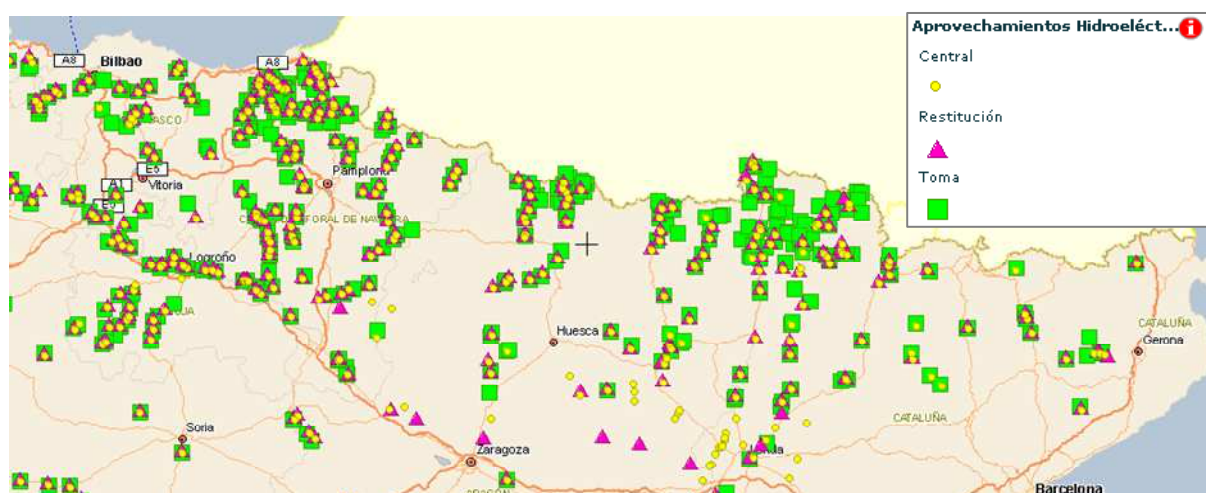


Figura 16 : Aprovechamientos hidroeléctricos en la vertiente sur pirenaica (Fuente: MARM).

1.6.4. Turismo: un sector clave enfocado hacia la actividad invernal

1.6.4.1. Situación del sector

El sector turístico es un sector clave en la economía de los Pirineos. Impulsado por la economía de la nieve (dependiente de factores climáticos), ha sabido explotar los recursos naturales y culturales que ofrece el macizo para reforzar su atractivo durante todo el año, a través de una oferta diversificada (balnearios, senderismo, rutas históricas, parques naturales, deportes acuáticos, etc.).

Las estaciones se encuentran principalmente en el Pirineo central y en altitud. Las zonas de alta montaña son muy dependientes de las actividades de invierno, que han sido responsables de su desarrollo y han permitido la presencia de una población local permanente. Las cifras de frecuentación son muy variables en función de las diferentes estaciones de esquí (ver Recuadro 3).

Recuadro 3 : Afluencia a las estaciones de esquí en los Pirineos

En cuanto a la temporada de esquí 2010/2011, los dos dominios de esquí alpino del Pirineo andorrano, Grandvalira y Vallnord, ocuparon el primer y tercer lugar en el *ranking* de días de esquí vendidos (1,5 millones y 755.000, respectivamente). La estación catalana de esquí de Baqueira-Beret se encuentra entre las dos anteriores, con 776.000 días vendidos. Las estaciones del Domaine du Tourmalet, Formigal y Saint-Lary (Aragón y Midi-Pyrénées), les siguen en este orden con más de 500.000 días vendidos cada uno. El análisis de este indicador para cada uno de los ocho territorios del macizo aporta los siguientes resultados (en millones).

Tabla 3 : Número de *forfaits* vendidos (días de esquí, en millones) en España, Andorra y los Pirineos franceses (fuente: <http://www.nevasport.com>, consultado el 2012). (Nota: no se dispone de datos acerca de los Pirineos españoles, solo los datos agregados por el país en su conjunto).

Zona	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Toda España	7 millones	6,1 millones	5,5 millones
Andorra	2,5 millones	2,5 millones	2,2 millones
Pirineo francés	5,5 millones	5,5 millones	4,9 millones
Total	15 millones	14,1 millones	12,6 millones

1.6.4.2. Importancia del turismo para los territorios

El turismo ocupa un lugar importante en la economía de **Andorra**. Como se ha indicado anteriormente, los ingresos del sector de los servicios son claves para la economía y representan el 80% del PIB del país (26% comercio, turismo y hostelería, 16% sector financiero y 38% resto de actividades, en 2010). La economía turística posee importantes instalaciones comerciales y hoteleras: más de 37.000 camas en 332 establecimientos en el 2010. En total, fueron aproximadamente 8,6 millones de visitantes en el 2010 (con un máximo de 11,7 millones en 2004). La mayoría de las personas que visitaron Andorra en 2008 provenían de España o Francia. El turismo comercial y el turismo relacionado con los deportes de invierno (2 estaciones de esquí alpino: GrandValira y Vallnord, y 1 una estación de esquí nórdico, Nautlandia, con un total 315 km de pistas) son los pilares del turismo en Andorra, aunque los visitantes también valoran el patrimonio natural y cultural.

En **la zona francesa**, el turismo constituye alrededor del 34% de los ingresos del macizo (Figura 17), lo que hace del Pirineo una zona relativamente dependiente de este sector.

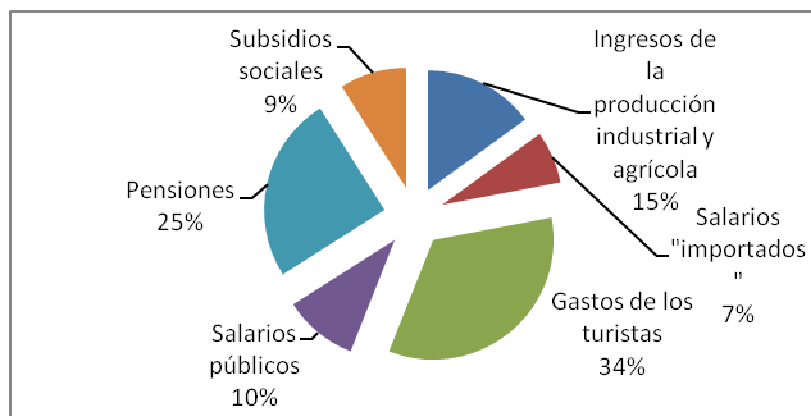


Figura 17 : Composición de los ingresos de los Pirineos de la zona francesa (Fuentes: a partir INSEE, DGI, UNEDIC, Ministère du Tourisme).

El sector turístico de los Pirineos franceses está organizado en torno a 19 polos. Estos se ubican principalmente en la zona de alta montaña de la parte centro-oriental, coincidiendo con las estaciones de montaña. Hay 38 estaciones de esquí con una capacidad máxima de 366.000 esquiadores/hora de esquí alpino y 21 balnearios termales (Fuente: Confédération Pyrénéenne du Tourisme). La producción de nieve en 2004 representa más de 500 hectáreas de pistas cubiertas de nieve, con una capacidad instalada de cerca de 30.000 kW (Fuente: SEATM).

El turismo de invierno generó el 44% del total de pernoctaciones de 2010 (Confederación de Turismo de los Pirineos), lo que refleja un cierto equilibrio entre el verano y el invierno. La estación veraniega se basa en la oferta termal, el ecoturismo o las actividades al aire libre (senderismo, bicicleta, deportes acuáticos, etc.). Estas actividades hacen de los Pirineos un territorio turístico atractivo en cualquier estación y permiten también repartir los ingresos y las necesidades de empleo todo el año. Estas zonas de montaña son de gran interés natural, particularmente valorizados, en el caso francés por el Parque Nacional de los Pirineos y dos parques naturales regionales del macizo (PNR des Pyrénées Ariégeoises y PNR des Pyrénées Catalanes, a los cuales hay que sumar los parques naturales de Andorra, uno de ellos patrimonio cultural de la UNESCO).

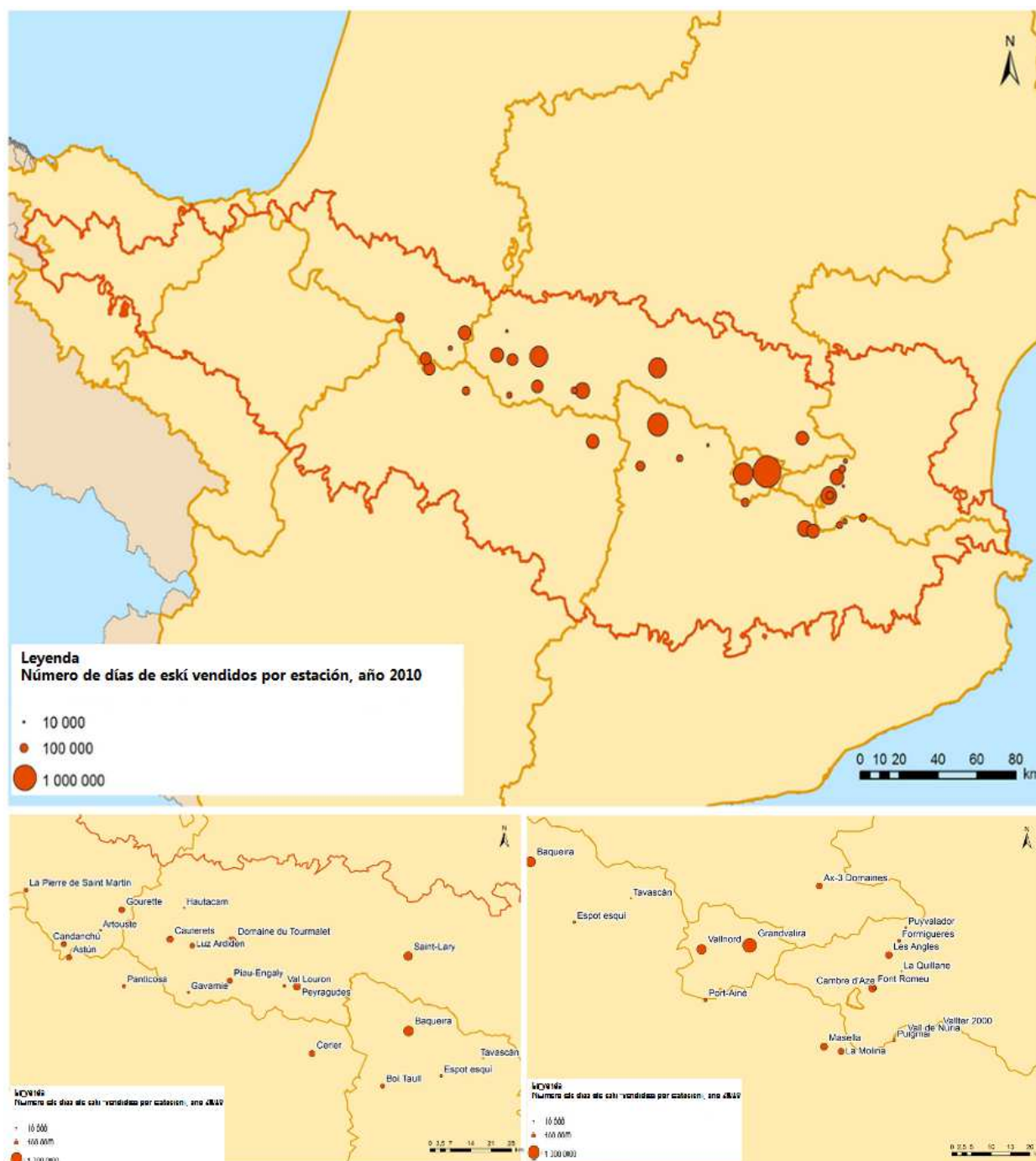


Figura 18 : Distribución y ventas de *forfaits* de esquí en los Pirineos (Fuente: ACTeon, 2012 con el apoyo de Govern d'Andorra – según <http://www.nevasport.com/noticias/art/33854/Ranking-de-estaciones-por-forfaits-vendidos-2010-2011/>).

Sin embargo, el impacto económico del turismo de invierno es más importante con respecto al de verano, debido al mayor gasto de los turistas en la estación fría (paquetes, alquiler de equipos, etc.). Para la temporada de invierno de 2010, la facturación generada por la actividad de los remontes fue de 96 millones de euros (según la Confédération Pyrénéenne du Tourisme), en la parte francesa de la cordillera.

En la **vertiente sur**, el sector servicios es en la actualidad el que ocupa a la mayor parte de la población de la zona, principalmente en la hostelería y el turismo.

El sector turístico empezó a desarrollarse a mediados del siglo xx, como respuesta al débil rendimiento del sector primario y con el objetivo de generar una fuente de ingresos complementaria. El turismo pirenaico ha atravesado tres grandes etapas de transformación al igual que ha ocurrido en otras zonas de Europa, pasando de una etapa de turismo de élite a otra masificada y agresiva durante la década de los sesenta y por último, tras la crisis turística de los ochenta, a una etapa de un turismo más sostenible y de calidad (Bielza de Ory, 2001).

Como en la vertiente norte, los Pirineos españoles se consideran un enclave con un fuerte potencial turístico, orientado a los deportes de invierno, al turismo rural y al deporte de aventura. Además, es una zona con un gran interés ambiental que cuenta con diversos espacios protegidos, entre los que destacan el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido o el Parque Nacional de Aigüestortes, así como los parques naturales andorranos. También existen termas y balnearios, como los que pueden encontrarse en la Val d'Aran, la Vall de Boí o Benasque, y Andorra (Caldea/Inúu), así como un importante legado cultural en las iglesias románicas.

Respecto al turismo de invierno, existe un gran número de estaciones de esquí en la vertiente pirenaica española: Candanchú, Astún, Formigal, Panticosa-Los Lagos, Cerler, Boí-Taüll Resort, Baqueira Beret, Port-Ainé, Port del Comte, Espot Esquí Parc, Tavascan, La Molina, Masella, Vall de Núria, Vallter 2000, San Joan de l'Erm, Lles-Aransa y Tuixent. Además, en la Seu d'Urgell se encuentra el Centro de Tecnificación de Esquí Nórdico de la Federación Española de Esquí. La construcción de las estaciones de esquí constituyó un gran impulso del turismo en la zona, y el cambio definitivo del modelo productivo desde uno eminentemente primario hacia otro claramente orientado al sector terciario. En muchos casos las estaciones de esquí fueron consideradas buenas oportunidades de negocio y han contribuido a reducir la pérdida de población y el envejecimiento de los municipios del Pirineo central. Diferentes estudios muestran que esto ha sido así, aunque el efecto no ha sido homogéneo y los principales beneficiarios han sido los municipios muy próximos a las estaciones de esquí. En estos municipios sí que se ha observado un incremento poblacional, mientras que en el resto se ha continuado experimentando despoblación (Lasanta et al., 2007).

El desarrollo de otras ofertas turísticas ha permitido que surjan nuevas actividades de montaña, tales como senderismo, piragüismo, rafting, escalada y descenso de cañones. Estas actividades han tenido una buena aceptación entre los turistas, lo que ha ocasionado un notable aumento de la oferta hotelera y su diversificación (hoteles, casas rurales, campings y chalets). La estación de esquí de La Molina (Cataluña), es un buen ejemplo de la conversión hacia el turismo sostenible y de cuatro estaciones. De hecho, en cuanto al turismo rural, Cataluña fue en 2009 el segundo destino de turismo rural del Estado, acogiendo el 12,9% del total de turistas de esta categoría; y por zonas turísticas, el Pirineo catalán fue el destino preferido con 489.210 pernотaciones (IET, 2010). La zona pirenaica en su conjunto se encuentra entre los 10 primeros destinos de turismo rural (INE, 2011).

Tabla 4 : Ocupación en alojamientos de turismo rural en el Pirineo (Fuente: elaboración propia a partir de la Encuesta de Ocupación en Alojamientos de Turismo Rural 2010 del INE).

Zonas	Viajeros	Pernoctaciones	Establecimientos	Capacidad (nº plazas)	Grado de ocupación (por plazas)
Pirineo aragonés	66.980	238.394	563	4.248	15.07
Pirineo catalán	137.555	425.221	759	5.720	20.04
Pirineo navarro	99.412	322.936	507	3.587	24.19
Pirineo vasco	32.399	90.891	119	1.216	20.05

Nota: el número de viajeros y pernoctaciones es la suma de residentes en el Estado español y visitantes extranjeros. Los datos son anuales y corresponden a 2010.

1.6.5. Transportes: el desafío del relieve

Respecto al sistema de comunicaciones, la situación del relieve hace difícil la construcción de infraestructuras de transporte para la mayor parte del territorio. De este modo, son las zonas del Prepirineo, que enfrentan menos limitaciones geográficas (con altitud inferior, menores desniveles, y con un mejor acceso) las que vertebran las redes de transporte y abren el paso hacia el Pirineo central.



Figura 19 : Red de infraestructuras de carretera de la zona pirenaica (Fuente: Ministerio de Fomento, 2010).

En el **lado español**, las redes viales principales (autopistas), se localizan en los extremos este y oeste del territorio. El Pirineo central es poco accesible, comunicado a través de carreteras convencionales, algunas de ellas aún en construcción. El contraste es menos marcado **en el lado francés**, que también tiene conexiones por autopista para llegar a los Pirineos centrales que son menos distantes de los límites del macizo. Destaca la existencia de múltiples túneles como el de Somport (8,6 km), Bielsa (3 km), Vielha (5 km), o Cadí (5 km) para comunicar los valles del interior pirenaico y las vertientes norte y sur. Además, en la actualidad existen 27 enlaces de carretera de diferentes categorías que unen España y Francia, a los cuales hay que sumar el enlace por Andorra, la mayoría a través de los Pirineos, pese a que el 35 % del tráfico transfronterizo diario se realiza a través de las autopistas costeras.

Por otro lado, en el transporte por ferrocarril se observa una misma tendencia. Las vías dobles existentes y las de alta velocidad previstas o en construcción, como el corredor del Mediterráneo, se sitúan en el perímetro del Prepirineo, mientras que la zona del Pirineo central no permite cruces transfronterizos. La Seu d'Urgell, la capital de la comarca más poblada del Pirineo Catalán donde se ubican dos centros de tecnificación de deporte de élite (esquí náutico y piragüismo en aguas bravas), no dispone de transporte por ferrocarril.



Figura 20 : Red ferroviaria en el área pirenaica (Fuente: Ministerio de Fomento 2010).

1.7. Espacios naturales y de interés ambiental

1.7.1. Los Pirineos: un espacio de biodiversidad

Los Pirineos se encuentran en una encrucijada entre las regiones biogeográficas atlántica, continental, alpina y mediterránea (Figura 21). Esta riqueza en las condiciones climáticas, ecológicas y geológicas es la causa principal de su importante biodiversidad. Por otro lado, la diversidad de

hábitats del macizo (pastizales, matorrales, bosques, humedales, acantilados, cuevas, etc.) es un componente esencial de la riqueza natural del territorio.

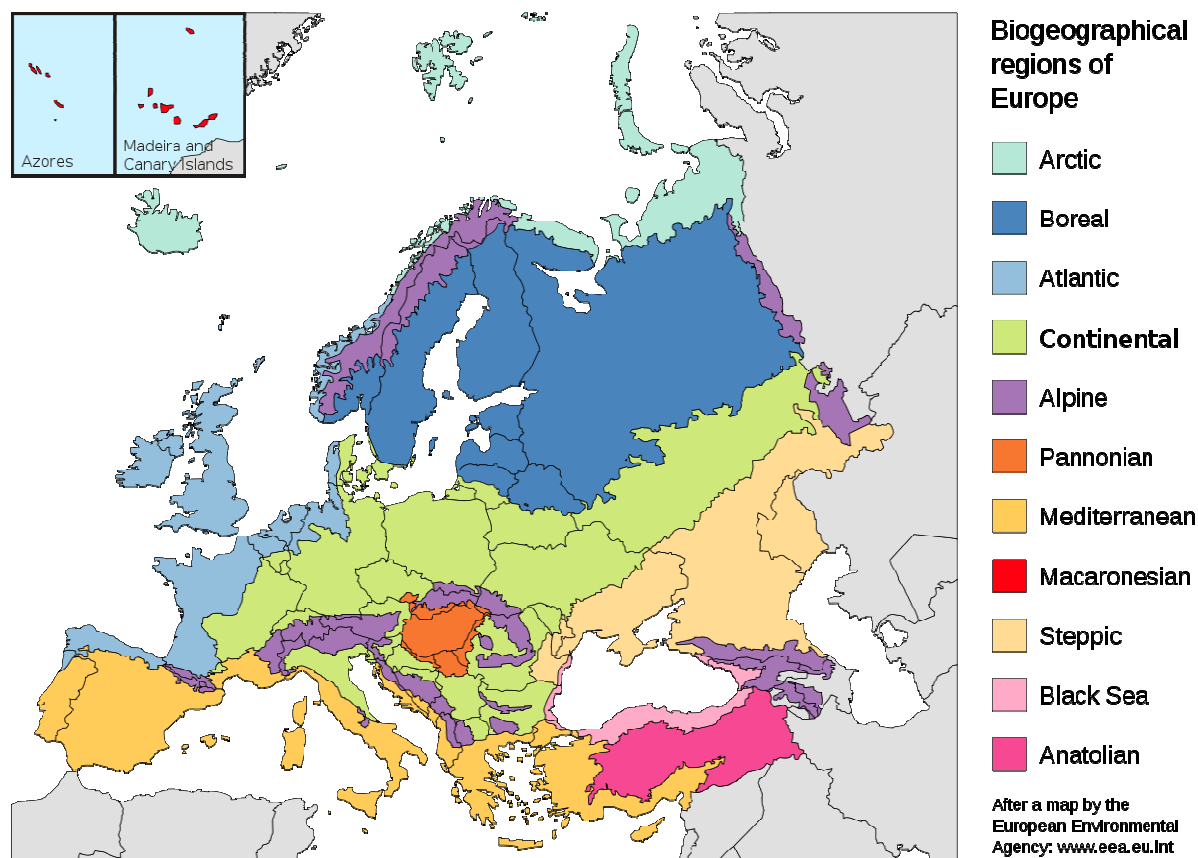


Figura 21 : Regiones biogeográficas de Europa (Fuentes: EEA y Wikipedia, 2006).

Respecto a la diversidad de la flora, los **Pirineos** cuentan con unas 3.500 plantas de las cuales 200 son especies endémicas (Villar y Dendaletche, 1994). La diversidad faunística es también importante: existen 75 especies de mamíferos, de las que varias son endémicas: el tritón pirenaico (*Euproctus asper pyrenaicus*), la rana pirenaica (*Rana pyrenaica*), o subespecies como el rebeco pirenaico o sarrio (*Rupicapra pyrenaica*). Se recalcan también otras especies que son emblemáticas del macizo, como el oso, así como la recepción esporádica de la visita de un gran carnívoro, el lobo. La avifauna cuenta con más de 300 especies de las que varias son emblemáticas de la zona, como el quebrantahuesos, el urogallo o la perdiz pardilla. Muchas de las plantas y animales catalogados existen en ambas vertientes, así como numerosas especies endémicas.

Es de resaltar que cada una de las **comunidades autónomas españolas** dispone de información específica sobre sus territorios (**Tabla 5**). Se presentan, también, las fuentes francesas, así como las andorranas.

Tabla 5 : Referencias de información disponibles sobre biodiversidad en el macizo.

Territoire	Information	Web
Andorra	Información sobre flora y fauna de Andorra (Govern d'Andorra, Institut d'Estudis Andorrans)	www.siba.ad www.gbif.ad
Aragón	Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón. Atlas de flora vascular de Aragón	http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AreasTematicas/MA_Biodiversidad?channelSelected=4ab736552883a210VgnVCM100000450a15acRCRD
Cataluña	Hàbitats (Portal de la Generalitat de Catalunya) Sistema de Información de Biodiversidad de Catalunya	http://biodiver.bio.ub.es/biocat/ http://www20.gencat.cat/portal/site/dmah/menuitem.1f64984433a93acf3e9cac3bb0c0e1a0/?vgnextoid=21513f43432f7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=21513f43432f7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextftmt=detall&contentid=7a66a2a2c62f7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD
Navarra	Guía de Recursos Ambientales de Navarra, Área Biodiversidad Información sobre flora y fauna de Navarra (Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente)	http://www.navarra.es/home_es/Gobierno+de+Navarra/Organigrama/Los+departamentos/Desarrollo+Rural+y+Medio+Ambiente/Organigrama/Estructura+Organica/Medio+Ambiente/Acciones/Fauna+y+Flora/ http://guiaderecursos.crana.org/es/categorias/tema:biodiversidad
País Vasco	Catálogo de Fuentes de Datos Ambientales Información sobre flora y fauna de Navarra (Departamento de Medio Ambiente y Agua)	http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-u95/es/contenidos/informacion/u95/es_1088/introduccion.html http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-cfda/es/contenidos/informacion/cfda/es_cfda/indice.html
Pirineos franceses	Mission « connaissance » du Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées Inventaire national du patrimoine naturel	http://www.cbnpmp.fr http://inpn.mnhn.fr/accueil/index



Figura 22 : Corona de rey (*Saxifraga longifolia*), planta endémica del Pirineo (Fuente: Wikipedia).

1.7.2. Una riqueza preservada y valorizada

Andorra cuenta con tres áreas protegidas dentro de sus fronteras, lo que representa una protección de 26,7% de su territorio:

- El **valle del Madriu-Parafita-Claror** que es de origen glaciar (41,0 km², 82,5 km² si se considera la zona de amortiguamiento). Situado al sureste de los Pirineos, está formado por la cuenca del Madriu y sus afluentes, los ríos Perafita y Claror, que constituyen la segunda cuenca más grande de Andorra. Está inscrito como Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en la categoría de paisaje cultural;
- El **Parque Natural del Valle de Sorteny**, al norte con más de 700 especies de flores y plantas, algunas endémicas de los Pirineos (10,8 km²);
- El **Parque Natural de los Valles del Comapedrosa**, situado al noroeste de Andorra, se caracteriza por los paisajes de alta montaña (15,4 km²).

En **la vertiente norte**, hay 17 áreas protegidas. El centro del macizo es particularmente rico en biodiversidad y posee varias áreas protegidas, incluyendo el **Parque Nacional de los Pirineos**: creado en 1967 y situado entre Pyrénées-Atlantiques y Hautes-Pyrénées, el área central abarca 45.707 hectáreas y la zona periférica 206.352 hectáreas.

La reciente creación de dos **parques naturales regionales** (PNR), ubicados en Ariège y en el Pirineo oriental, ofrece una mejor protección para las áreas naturales del territorio.

Las reservas naturales se encuentran en el Pirineo oriental (sur de Prada de Conflent) y en los Altos Pirineos. Los **sitios inscritos y los paisajes clasificados, así como las zonas de interés ecológico, faunístico y florístico (ZIEFF)** se concentran también en el centro y el este del macizo. Los sitios **Natura 2000** están presentes en los lugares de mayor altitud de la zona fronteriza con España. Algunas de las áreas protegidas no están listadas en la **Figura 23**, incluyendo los **sitios de conservación regional de espacios naturales de Aquitania y Midi-Pyrénées**.

Cabe recalcar que una **estrategia pirenaica de valorización de la biodiversidad** fue validada por el Comité de macizo en enero del 2012. Se trata de un documento de referencia para la valorización coherente y concertada de la biodiversidad del macizo.

En **el lado español** existen 18 espacios protegidos,¹⁶ a los que hay que sumar las reservas naturales de Navarra y los lugares de Importancia comunitaria (LIC) y las zonas de especial protección para las aves (ZEPA) incluidos en la Red Natura 2000 (ver Figura 23).

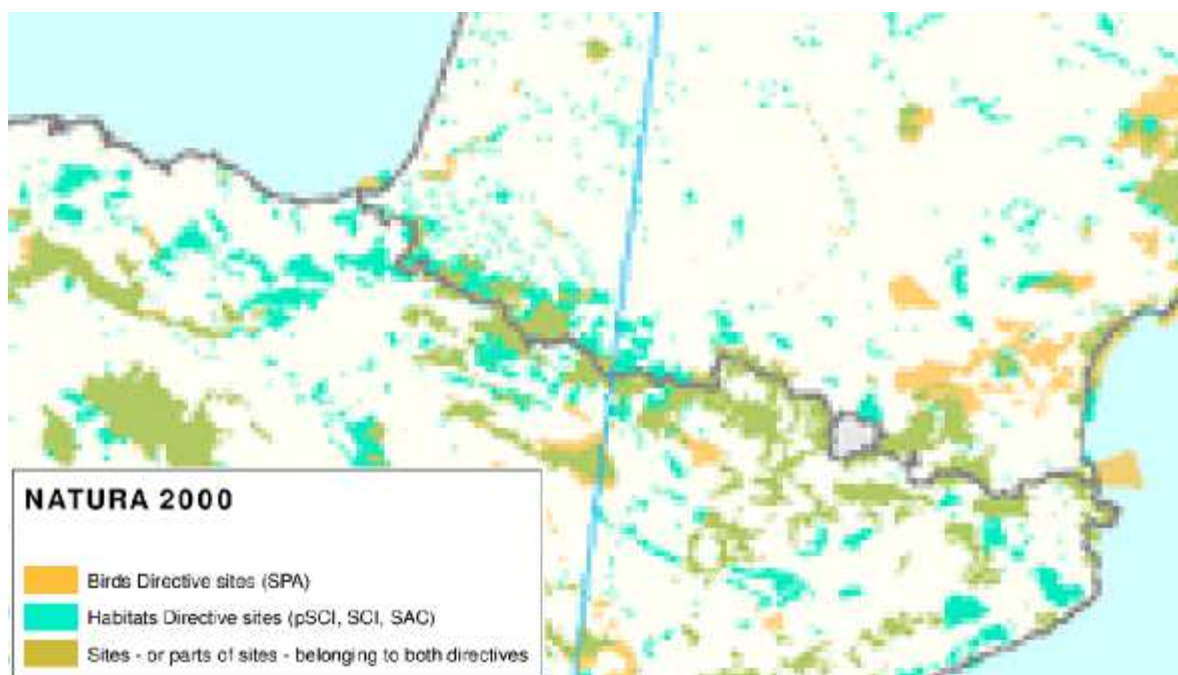


Figura 23 : Áreas cubiertas por la Directivas Hábitat y Aves (Fuente : European Environmental Agency, 2010).

¹⁶ Se han considerado parques naturales, biotopos y monumentos naturales.

1.8. Riesgos naturales

Recuadro 4 : Definiciones ligadas al concepto de riesgo natural

Un riesgo es la combinación de la vulnerabilidad con una amenaza:

$$\text{amenaza} \times \text{vulnerabilidad} = \text{riesgo}$$

Se denomina **amenaza** a un “acontecimiento físico, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental” (UNISDR, 2003).

Se denomina **vulnerabilidad** a las “condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas” (UNISDR, 2003).

Por ejemplo, una inundación en un área no poblada, sin infraestructura y sin un uso específico del suelo no constituye un riesgo mayor porque la vulnerabilidad es muy baja o nula

Un **riesgo mayor** es un acontecimiento excepcional y de gran gravedad desde un punto de vista humano, material o ambiental.

Los **riesgos naturales** se refieren a los acontecimientos provocados por fenómenos de origen natural (principalmente geológicos o meteorológicos).

El macizo pirenaico es una zona afectada por cierto tipo de riesgos naturales.

En primer lugar, el territorio está expuesto a fenómenos gravitacionales (aludes, deslizamientos de tierra, caída de rocas, etc.), en particular en zonas de media y alta montaña. Sin embargo, los efectos del cambio climático sobre este riesgo siguen siendo poco conocidos e inciertos.

En segundo lugar, las zonas de montaña están expuestas a riesgos susceptibles de evolucionar en el contexto del cambio climático, aunque no estén necesariamente relacionados con el relieve:

- Los **riesgos de inundación**: mayoritariamente causados por acontecimientos de precipitación intensa. La exposición al riesgo de inundaciones depende de varios factores tales como la topología, intervenciones sobre ríos y arroyos o cobertura del suelo. Los Pirineos se ven afectados principalmente por inundaciones de tipo torrencial con un área de exposición particularmente importante en las zonas bajo la influencia del clima mediterráneo (Pirineos orientales y vertiente sur de los Pirineos centrales).
- El **riesgo de incendio**: en función del tipo de vegetación, de las condiciones climáticas (sequías, altas temperaturas, viento) y la presencia o ausencia de una fuente de ignición (natural o humana). En general, el riesgo disminuye con la altitud pero es particularmente alto en los Pirineos orientales. Sin embargo, el equipamiento y las rutas de acceso son menos numerosos en la media y alta montaña.
- El riesgo relacionado con **los suelos arcillosos expansivos** (dilatación-contracción): las variaciones en la cantidad de agua en algunos suelos arcillosos producen dilatación (período

húmedo) y asentamientos (períodos secos). Se trata de deslizamientos de tierra lentos y continuos que pueden afectar a las infraestructuras. La mayor parte del macizo está expuesto a esta amenaza, pero el riesgo se considera sólo en las áreas pobladas.

Los mapas constituyen una herramienta de gestión de riesgos de particular importancia. Elaborados a escalas distintas según la vulnerabilidad y el tipo de riesgo, juegan un papel informativo y permiten la implementación de la normativa (especialmente en materia de planificación urbana). Si bien las fuentes de información son numerosas, no ha sido posible reunir una referencia cartográfica homogénea sobre los riesgos a escala del macizo. En este sentido y, dada la importancia del turismo y la alta densidad de población en Andorra, su Gobierno no escatima en esfuerzos para la prevención y la protección frente a los riesgos naturales, como los geológicos, la prevención de avenidas y la gestión de aludes, entre otros. En este contexto, la información cartográfica de detalle es de una importancia relevante y es un referente en el macizo (ver Tabla 8).

Tabla 6 : Referencias y fuentes de información para acceder a información cartográfica más detallada.

Territorio	Fuente de información
Andorra	http://www.ideandorra.ad/geoportal/
Aragón	http://sitar.aragon.es/
Francia	Portal cartográfico sobre riesgos mayores : http://cartorisque.prim.net/ La CRISPY : Cartografía informativa sobre los eventos de riesgos naturales de la cordillera de los Pirineos (<i>Cartographie informative des phénomènes à risques naturels sur la chaîne des Pyrénées</i>) (inundaciones, crecidas, aludes, deslizamientos de tierra, caída de rocas, avalanchas).
Cataluña	Publicaciones sobre riesgos de aludes, deslizamientos e inundaciones de la Generalitat de Catalunya : http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informespecials/2008/el_risc_dallaus_a_catalunya.pdf http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informespecials/2008/el_risc_desllavissades_a_catalunya.pdf http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informespecials/2008/el_risc_dinundacions_a_catalunya.pdf Planificación de espacios fluviales de la Agencia Catalana del Agua (incluye cartografía de zonas inundables): http://aca-

	web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1203954461208200489918			
Navarra	Riesgo meteorológico de iniciación y propagación de incendios http://meteo.navarra.es/estaciones/mapasindiceincendios.cfm Riesgo de aludes (información no cartográfica): http://meteo.navarra.es/predicciones/index.cfm?s=p Infraestructura de datos espaciales de Navarra (incluye cartografía de zonas inundables): http://idena.navarra.es/navegar/			
País Vasco	Cartografía	Inundabilidad	(Agencia	URA):
	http://www.uragentzia.euskadi.net/appcont/gisura/?mapid=2			
España (Estado)	Instituto Geológico y Minero (IGME): Visor de información geocientífica (incluye capa sobre fallas activas y movimientos del terreno): http://www.igme.es/infoigme/visor/			

2. Las manifestaciones del cambio climático en los Pirineos

2.1. *¿Qué es el cambio climático?*

Esta sección es un breve recordatorio del origen del fenómeno del cambio climático.

2.1.1. Los diversos factores que influyen en el clima

El clima ha variado a lo largo de la historia de la Tierra como consecuencia de diferentes fenómenos. Entre los factores que influyen en el clima cabe destacar (Sciama y Mazilu):¹⁷

- la radiación solar, que varía con la actividad solar;
- la astronomía, incluyendo cambios en la posición e inclinación del eje de rotación de la Tierra y de su órbita alrededor del sol (ciclos de Milankovitch);
- la actividad volcánica: la liberación masiva de gases a la atmósfera puede causar anomalías temporales en la temperatura a escala regional, incluso hasta 2 ó 3 años;
- la tectónica puede afectar a escala geológica (millones de años), por la presencia de los continentes en los polos, la formación de cadenas montañosas;
- la circulación de las corrientes oceánicas y atmosféricas;
- fenómenos como El Niño, que se caracteriza por la aparición de agua fría del océano en el Pacífico tropical y puede generar cambios en el clima a corto plazo y a escala regional;
- la composición química de la atmósfera y los aerosoles presentes en la misma;
- la cobertura vegetal, tipo de suelo, presencia de nieve, etc.;
- las actividades humanas, incluido el factor principal que es la emisión de gases de efecto invernadero, así como la deforestación.

2.1.2. El aumento de los gases de efecto invernadero

El efecto invernadero, relacionado con la composición química de la atmósfera, es un fenómeno natural que permite que la temperatura de la superficie de la Tierra se mantenga a 15 °C, en lugar de -18 °C que se estima habría sin el efecto invernadero.

¹⁷ ClimObs.fr



Figura 24: Mecanismo del efecto invernadero (Fuentes: adaptado de Okanagan University College, Universidad de Cambridge, Universidad de Oxford, USEPA, el IPCC, el PNUMA y la OMM Cambridge University Press, 1996. Diseñador: Philippe Rekacewicz, el PNUMA / GRID-Arendal).

Las actividades humanas, que modifican el flujo de intercambio de gases y aerosoles con la atmósfera cambian la composición de la atmósfera y contribuyen especialmente al aumento de la concentración de las emisiones de gases de efecto invernadero. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) identifica tres gases de efecto invernadero como principales contribuidores al efecto invernadero y su proporción en las emisiones globales anuales: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O).

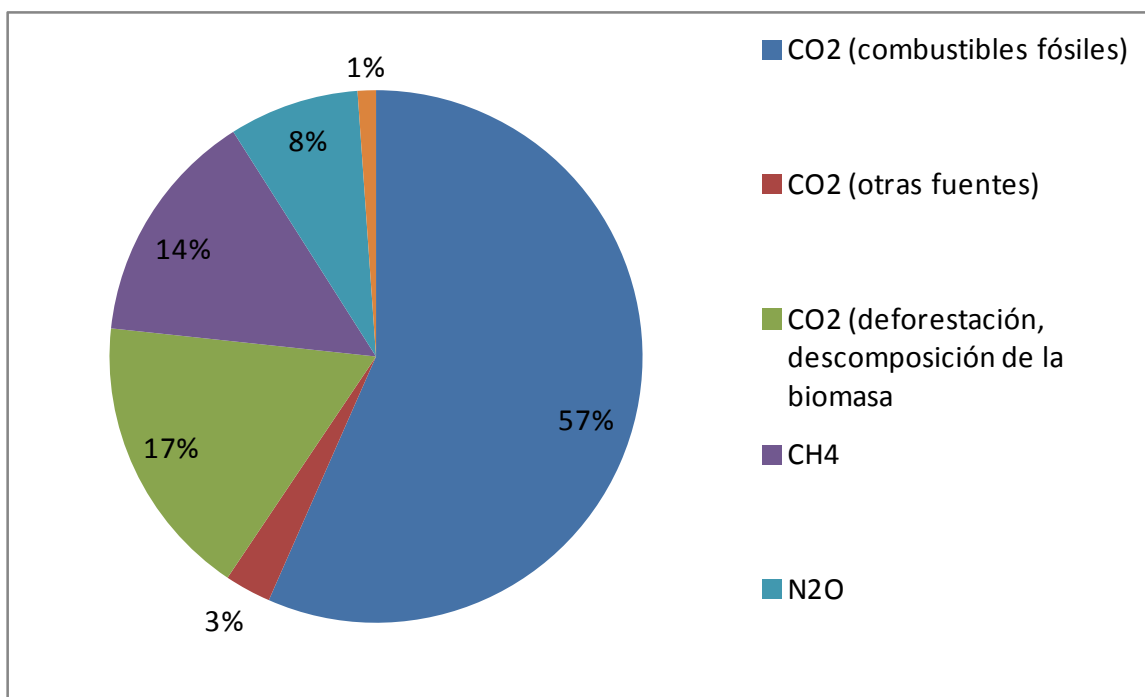


Figura 25: Porcentaje de los principales gases de efecto invernadero en las emisiones globales para el año 2004 (Fuente: IPCC, 2007).

Estos gases, cuya concentración ha ido aumentando en la atmósfera como consecuencia de la actividad antrópica, aumentan el efecto invernadero y contribuyen al incremento de la temperatura en la superficie de la tierra (baja atmósfera). Este fenómeno de calentamiento global, aunque de origen natural, recibe actualmente una importante contribución antropogénica que lo ha acelerado, y es lo que se conoce como **cambio climático**.

2.1.3. Las emisiones de gases de efecto invernadero y las actividades globales de emisión

Las actividades que basan su desarrollo en el consumo de combustibles fósiles, tales como las industrias, el transporte, la construcción de edificios o la generación de energía, son las principales fuentes que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero. Los procesos de combustión consiguen devolver a la atmósfera las reservas de carbono fijado durante millones de años. La deforestación, al reducir la capacidad de almacenamiento de carbono de la biosfera, es también una actividad emisora importante. La aportación de las diversas actividades humanas a la emisión antrópica de gases de efecto invernadero se muestra en la figura 26

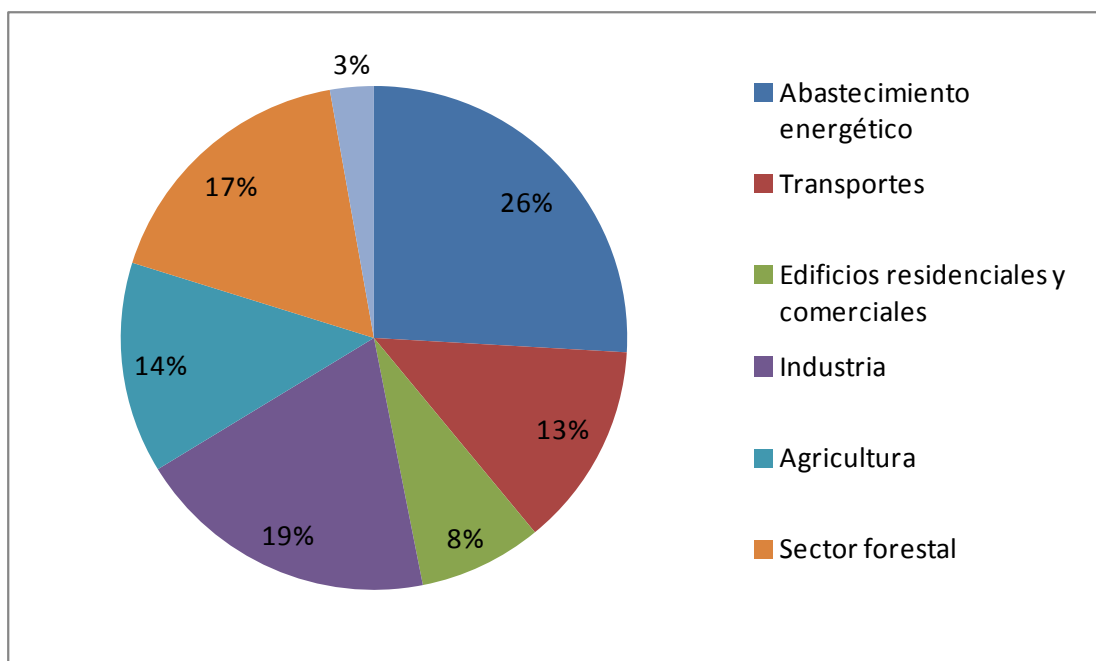


Figura 26: Contribución de distintas actividades humanas a las emisiones globales de gases de efecto invernadero en 2004 (fuente: IPCC, 2007).

Las emisiones globales de gases de efecto invernadero de origen antropogénico han aumentando de forma importante desde la revolución industrial. Entre los años 1970 y 2004, aumentaron en un 70% (ver Figura 27).

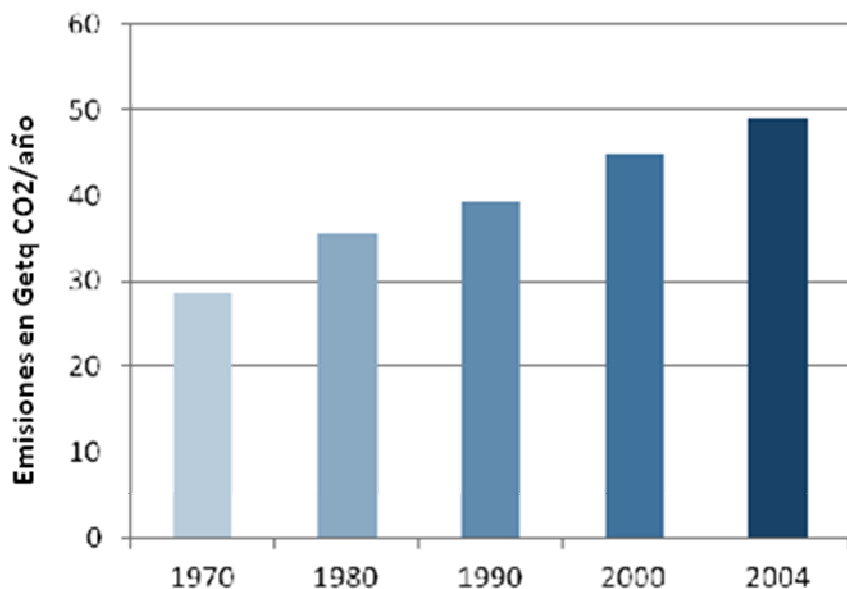


Figura 27: Evolución de las emisiones globales de gases de efecto invernadero de origen humano entre 1970 y 2004 en gigatoneladas de CO₂ equivalente (Fuente: IPCC, 2007).

Las consecuencias de este aumento de las emisiones y la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera han sido estudiadas principalmente a partir de la década de 1980 con la creación en 1987 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (conocido por sus siglas en

inglés, IPCC). La función del IPCC consiste en analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y mitigación del mismo. El resultado de esta evaluación se recoge en informes que se publican cada seis años (el próximo informe está previsto que se publique en 2013-2014).

2.2. Manifestaciones globales y evolución climática desde principios del siglo XX

2.2.1. A escala mundial

La **temperatura del planeta**, el primer indicador de cambio climático, tiene una primera subida entre 1910 y 1940. A continuación, se da una etapa de estabilidad o incluso un ligero enfriamiento de treinta años, seguido de un rápido aumento desde la década de 1970 hasta el presente (Figura 29). El aumento total en el siglo XX es de **0,75 °C**. De este incremento, alrededor del 0,55 °C ha tenido lugar desde la década de 1970.

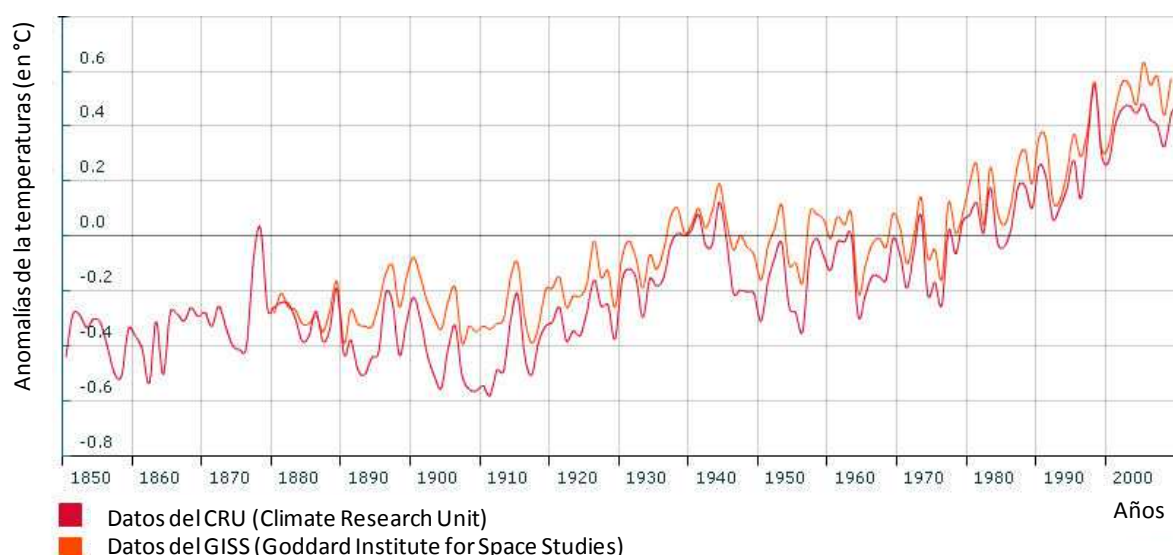


Figura 28: Anomalías en la temperatura media global por encima del promedio entre 1951/1980 (fuente: CRU, GISS, se lleva a cabo por climObs.fr).

El paralelismo existente entre las curvas calculadas por los principales laboratorios es una muestra de la credibilidad de los datos. El proyecto *Berkeley Earth Surface Temperature*, publicado en octubre de 2011, propuso un nuevo análisis de las temperaturas superficiales a partir de 39.000 estaciones, independientes de las utilizadas por otros laboratorios. Los resultados muestran, para las temperaturas continentales, resultados muy similares a los de los principales laboratorios.

A diferencia de la temperatura, el total anual promedio de las **precipitaciones** no muestra una tendencia clara en su evolución a lo largo del siglo XX (**Figura 29**). Una parte de la explicación radica en la naturaleza más local de las precipitaciones. Es por lo tanto más a escalas regionales y estacionales

y hasta diarias que ya se observan señales (todavía débiles), como por ejemplo la reducción del número de días de lluvia en algunas zonas de las latitudes medias durante el verano.

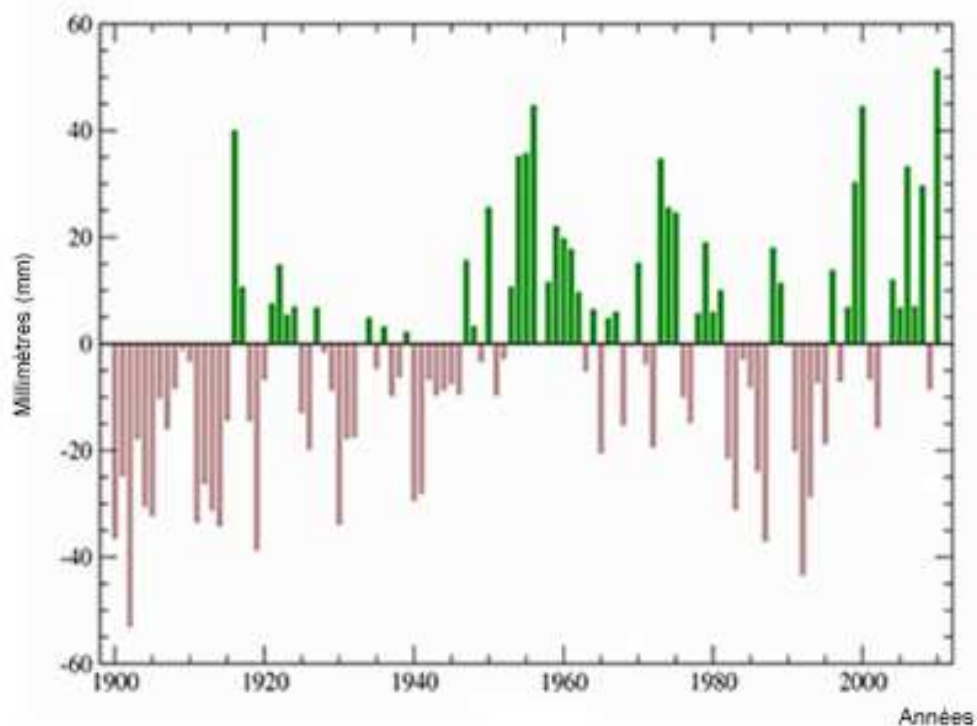


Figura 29: Anomalías en la precipitación media anual global durante el siglo xx en mm (Fuente: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Observation)).

La **tasa de la sequía** es, también, un indicador útil para observar la evolución del clima sobre la superficie terrestre. El índice de Palmer considera tanto la temperatura como la precipitación, con el fin de obtener un indicador de sequía. La tendencia a un aumento de situaciones de sequía es heterogénea: África, Australia y la cuenca mediterránea están en alto riesgo, mientras que el sur de América Latina se ha vuelto más húmedo.

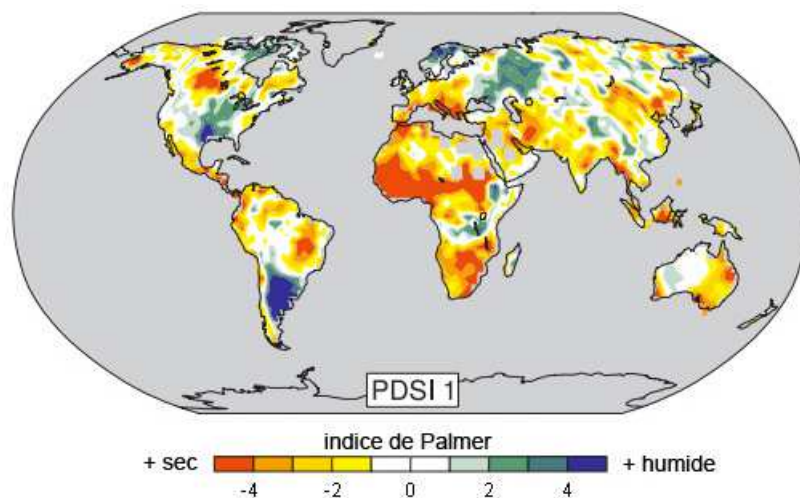


Figura 30: Evolución del índice de Palmer desde 1900 a 2002 (fuente: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)).

El aumento del **nivel del mar** registrado desde 1880 es, al mismo tiempo, un indicador y un efecto del cambio climático (figura 32).

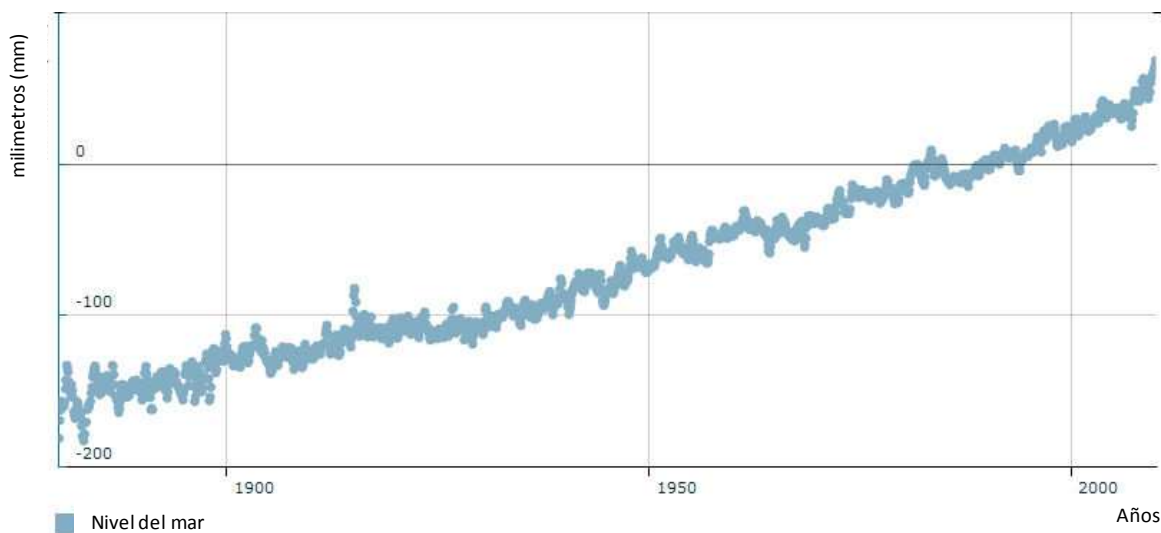


Figura 31: Reconstrucción del nivel del mar a partir de datos de mareógrafos¹⁸ desde 1880 hasta 2001 (fuente: Iglesia, JA Blanco y Nueva Jersey, 2011).

Los factores que contribuyen al aumento del nivel del mar son el deshielo de los casquetes polares y la expansión térmica del océano profundo y la superficie del océano, todo ello como consecuencia del calentamiento global.

¹⁸ Un mareógrafo es un dispositivo conectado al fondo del mar o en la costa, y que por diferentes técnicas mide la altura de la columna de agua.

2.2.2. A escala europea

Al igual que a escala mundial, en el período 1850-2000 se registró un aumento de la temperatura media (+1 °C), tal y como se muestra en la **Figura 32**. El aumento de la temperatura es más importante entre 1976 y 2006.

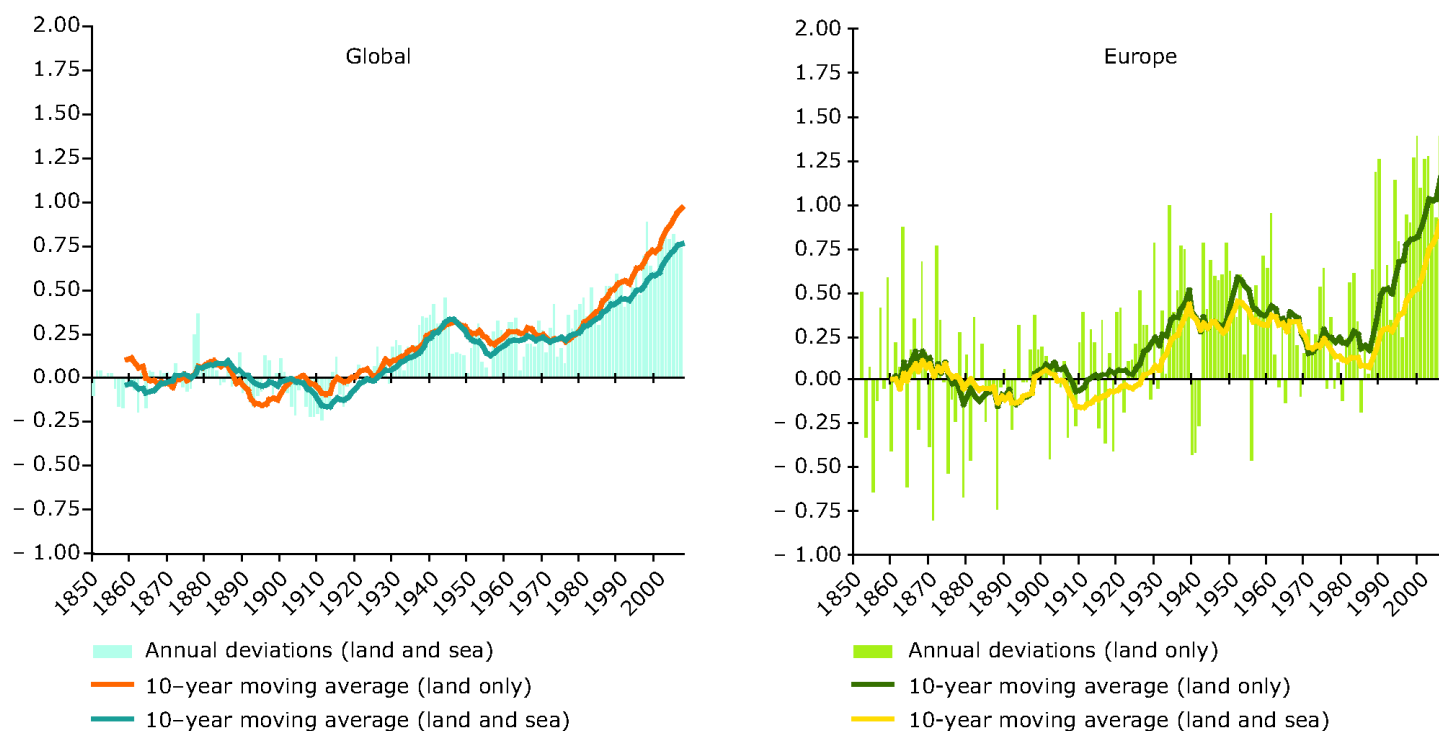
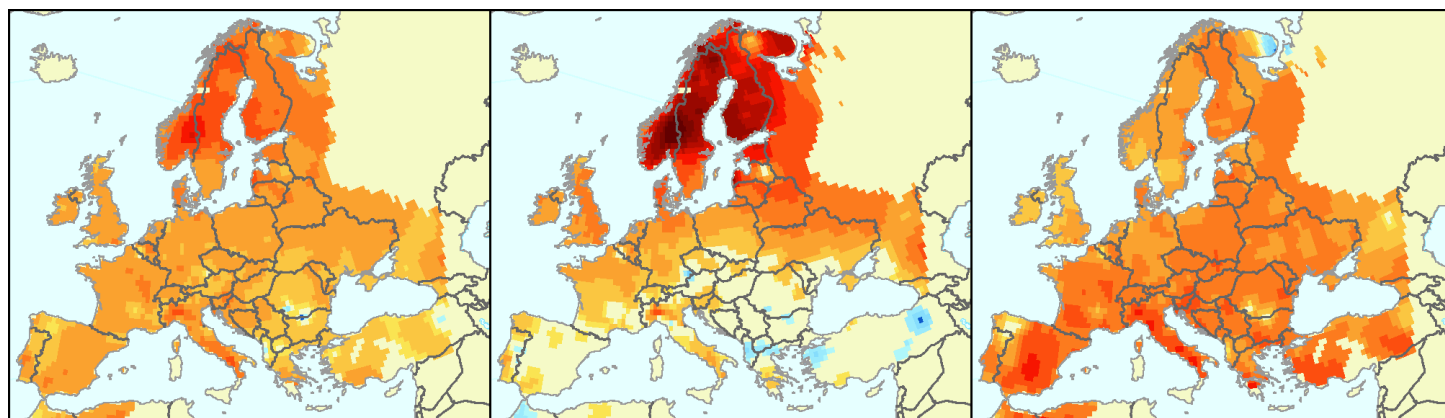


Figura 32: Anomalía de la temperatura media global (izquierda) y europea (derecha) en comparación con el promedio 1850-1899 (Fuente: Unidad de Investigación Climática¹⁹ (izquierda) y KNMI²⁰).

Como se muestra en la **Figura 33**, este aumento de la temperatura es mayor en el norte durante el invierno, mientras en el sur el incremento es mayor en verano.

¹⁹ <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.

²⁰ <http://climexp.knmi.nl/>.



Observed temperature change over Europe during the period 1976–2006

Left: annual mean; middle: winter (DJF); right: summer (JJA)



Figura 33: Evolución de la temperatura en Europa durante el periodo 1976-2006 (Fuente: Proyectos ENSEMBLES²¹ y ECA&D²²).

Durante el período de 1961-2006, se ha producido un cambio en la precipitación anual en Europa, tal y como se muestra en la **Figura 34**. Una disminución de esta variable se observa claramente en la parte sur de Europa, incluido el territorio de los Pirineos.

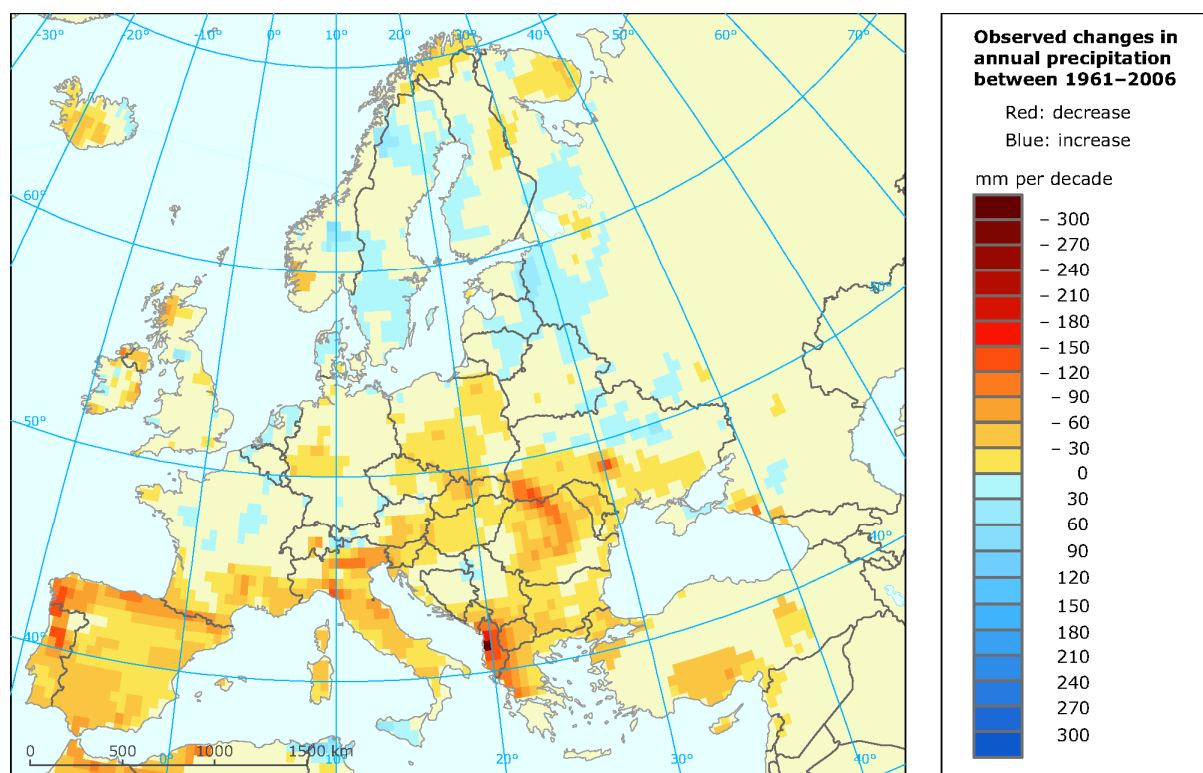


Figura 34: Evolución de la precipitación anual entre 1961 y 2006 (Fuente: Proyectos ENSEMBLES y ECA&D).

²¹ <http://www.ensembles-eu.org>.

²² <http://eca.knmi.nl>.

2.2.3. A escala de los Pirineos

Hasta la fecha, no existen series temporales de datos climáticos homogeneizados que permitan caracterizar la evolución del clima en todo el territorio de los Pirineos durante el siglo xx. En efecto, se requiere un tratamiento extensivo de los datos recogidos en las estaciones de los Pirineos en el siglo pasado. No obstante, este trabajo se llevó a cabo a nivel regional, en Andorra o en las comunidades autónomas (particularmente en Cataluña, ver Prohom y Cunillera, 2011). Existe, no obstante, un trabajo preliminar con datos sin homogeneizar ni corregidos que abarca el conjunto del macizo de los Pirineos y aporta información climática e hídrica diversa para el período 1950-2010 y para los horizontes 2021-2050 y 2071-2100 (Miquel, 2012) .

La acción "*clima*", realizada como parte del programa POCTEFA e impulsado por el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático, constituye un primer paso para la obtención de estos datos a través de las contribuciones de los distintos organismos meteorológicos del territorio: Meteocat y la Universidad de Zaragoza –centros piloto del proyecto–, AEMET, Euskalmet, , Météo-France y CENMA. Los resultados de esta acción estarán disponibles a finales del año 2013.

Mientras tanto, este perfil se presenta como una síntesis de la evolución observada en los principales parámetros climáticos en el territorio de los Pirineos: para la vertiente norte y Andorra se han recogido datos de Météo-France, que colabora con el CENMA (Andorra); para la vertiente sur, los principales organismos proveedores de datos son Meteocat, Euskalmet y AEMET.

El aumento de la **temperatura** en los Pirineos entre 1901 y 2000 se ha estimado entre 0,9 y 1,1 °C, un incremento mayor que el observado en el resto de Francia, pero equivalente al que se observó en la península Ibérica. Sin embargo, el índice de la temperatura media puede ocultar diferencias debidas al relieve.

La evolución de la **precipitación anual acumulada**, sin embargo, no muestra una tendencia marcada y significativa en la vertiente norte, como se observa en la figura 36, con excepción de un aumento significativo en el departamento de Ariège. En la vertiente sur, concretamente en los Pirineos catalanes, se observa una tendencia al aumento de la longitud de días secos, sobre todo en la parte de la Val d’Aran (Turco y Llasat, 2011; Prohom y Cunillera, 2011).

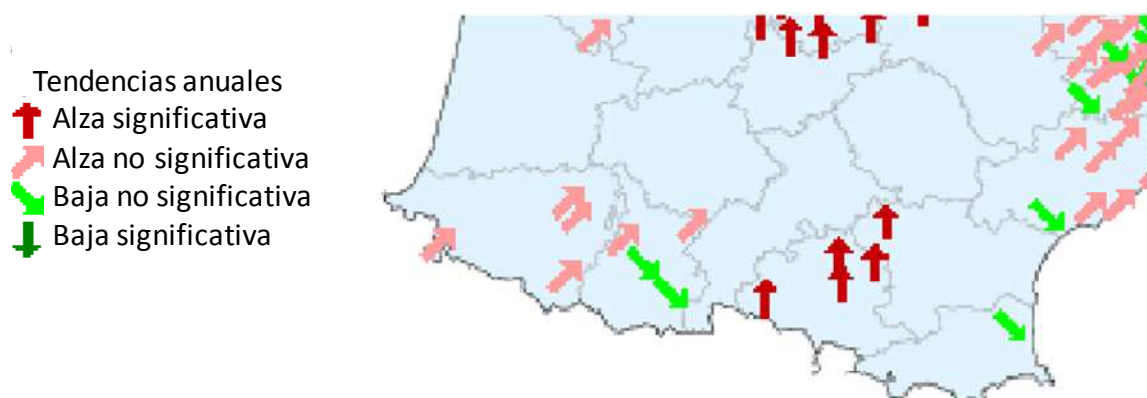


Figura 35: Precipitación anual acumulada, series homogeneizadas (1901-2000) (Fuente: Météo France, proyecto IMFREX).

El cambio climático también se manifiesta en los **niveles de nieve**. *“De 1970 a 1987, la nieve fue muy regular en los Pirineos. Desde entonces, hay un poco menos de nieve”*, afirma Dominique Vrécourt de Météo France. Las nevadas son más irregulares. Météo France, en los Pirineos, no dispone de una serie de datos suficientemente larga que indique una tendencia a medio plazo. En los Alpes, sin embargo, *“ya se observan los efectos del cambio climático”*, dice Eric Brown, director de investigación de Météo France.

Finalmente, **la evolución de los glaciares** constituye un buen indicador para observar el cambio climático en las zonas montañosas. Pequeños, resguardados por el macizo pirenaico, son particularmente vulnerables a la variabilidad del clima y muestran un retroceso importante. De hecho, los glaciares de los Pirineos ocupaban una superficie de 45 km² en 1870, que se ha visto reducida a poco más de 5 km² en el año 2000 (P. René, 2007).

Del mismo modo, el área de glaciares en la vertiente sur se redujo en un 85% entre 1894 y 2000. Efectivamente, la superficie era de 1.779 hectáreas en 1894 y en el año 2000 sólo permanecen 290 ha (Greenpeace et al, 2004; MARM, 2008).

Desde el año 2001, la asociación MORAINÉ llevó a cabo un inventario y una actualización de los datos existentes sobre los glaciares pirenaicos. En este corto período, se ha observado un retroceso de los glaciares con mayor o menor intensidad (Duquesne, 2008).

En la costa mediterránea catalana los datos recogidos desde 1990 hasta la actualidad por Josep Pascual en MeteoCat (2011) indican una tendencia estadísticamente significativa del incremento del nivel del mar.

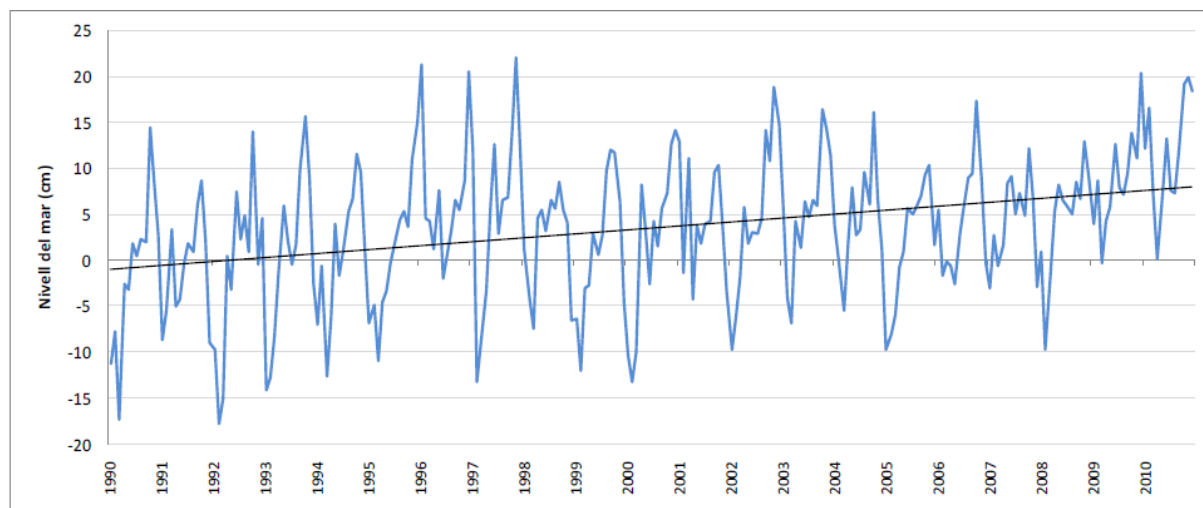


Figura 36: Evolución del nivel del mar media mensual en L'Estartit y tendencia (1990-2010) (Fuente: MeteoCat, Josep Pascual, 2011).

2.3. Las previsiones de cambio climático

2.3.1. Proyecciones y escenarios

Con el fin de anticipar los impactos del cambio climático, se realizan escenarios climáticos utilizando **modelos** que tienen como objetivo reproducir el comportamiento del sistema climático. Sin embargo, la extrema complejidad de este sistema requiere analizar los resultados de la simulación con precaución, teniendo en cuenta la incertidumbre inherente a los procesos de modelización. Para realizar las simulaciones más robustas, se pueden utilizar proyecciones multi-modelo.

Una de las variables de entrada de estos modelos es la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. El IPCC ha desarrollado una serie de **escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero** para traducir diversos escenarios socioeconómicos futuros en concentraciones de gases de efecto invernadero. Las familias de los escenarios se presentan en el Recuadro 5.

Recuadro 5 Los escenarios de emisiones del Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones (IPCC, 2007: Resumen para responsables políticos).

El IPCC ha definido cuatro familias de escenarios:

A1. La línea evolutiva y familia de escenarios A1 describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo XXI, que disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía (A1FI: utilización intensiva de combustibles de origen fósil; A1T utilización de fuentes de energía de origen no fósil; A1B equilibrio entre todo tipo de fuentes).

A2. La familia de líneas evolutivas y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

B1. La familia de líneas evolutivas y escenarios B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias y un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

B2. La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas

evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional

Los escenarios no incluyen otras iniciativas climáticas, lo que significa que no se incluyen los escenarios que suponen explícitamente la aplicación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático o el Protocolo de Kioto para las emisiones.

Finalmente, las simulaciones del clima generalmente se obtienen a partir de modelos climáticos a escala mundial.²³ La tendencia actual para estudiar el clima global del planeta es acoplar los modelos atmosféricos a otros modelos que representan a otras partes del sistema de la Tierra: el océano, la vegetación, los ríos, la biogeoquímica marina, la química atmosférica, los casquetes polares, el ciclo del carbono, etc.²⁴

Por razones de limitación de la potencia de cálculo de los ordenadores disponibles, estos modelos suelen tener una resolución del orden de varios cientos de kilómetros. Esta resolución no resuelve algunos de los procesos físicos que influyen en el clima regional de una zona particular del mundo, como es el caso de los Pirineos.

Del mismo modo, a esta resolución, los modelos no proporcionan datos suficientemente precisos (desde el punto de vista espacial) para todos los estudios sobre los impactos del cambio climático. Estas áreas necesitan simulaciones con mayor resolución espacial. El último inconveniente de los modelos globales es su limitada capacidad para simular los fenómenos extremos que suelen estar relacionados con procesos de pequeña escala. Por estas razones, la comunidad científica ha desarrollado el concepto de **regionalización de los modelos climáticos**. Existen varios métodos para la regionalización y adaptación de los resultados de la simulación.

2.3.2. A escala mundial

Las proyecciones de los cambios de **la temperatura global** son la base de las simulaciones de otros parámetros climáticos. Así, de acuerdo con los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento de la temperatura global durante el año 2100 oscila entre 1,1 °C y 6,4 °C. La **Figura 37** muestra las tendencias en el periodo 2000-2100 para los tres principales escenarios del IPCC (B1, A1B y A2) y los rangos de los otros cuatro escenarios. Las zonas sombreadas representan la evolución más probable de la temperatura para un escenario determinado, y las barras de color gris a la derecha toda la gama de modelos producidos.

²³ Modelos numéricos GCM (General Circulation Model)

²⁴ <http://www.cnrm.meteo.fr/gmgec/spip.php?article26>

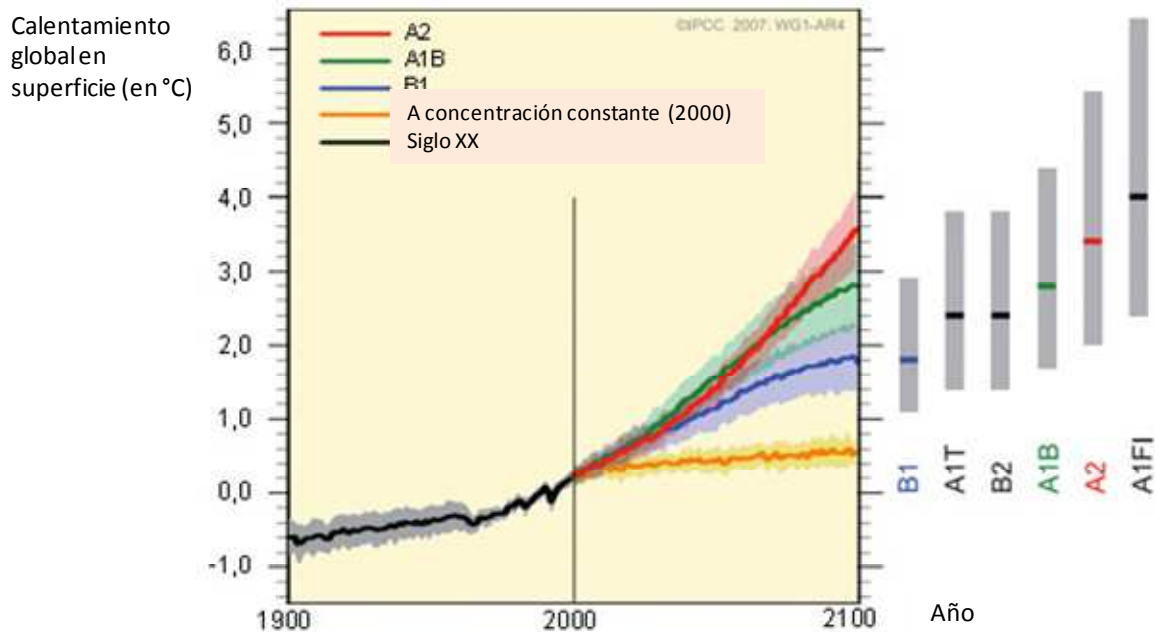


Figura 37: El desarrollo de rangos multi-modelo y la estimación del calentamiento de la superficie terrestre según distintos escenarios (A2, A1T, B1, etc.) (Fuente: IPCC, 2007).

Los cambios en las **precipitaciones** también han sido objeto de simulación. En 2100, se espera que el déficit de lluvias en las latitudes medias sea más pronunciado en verano. Por el contrario, el incremento esperado durante el invierno será aún más fuerte. Las áreas sombreadas son aquellas en las que las proyecciones de los modelos son convergentes.

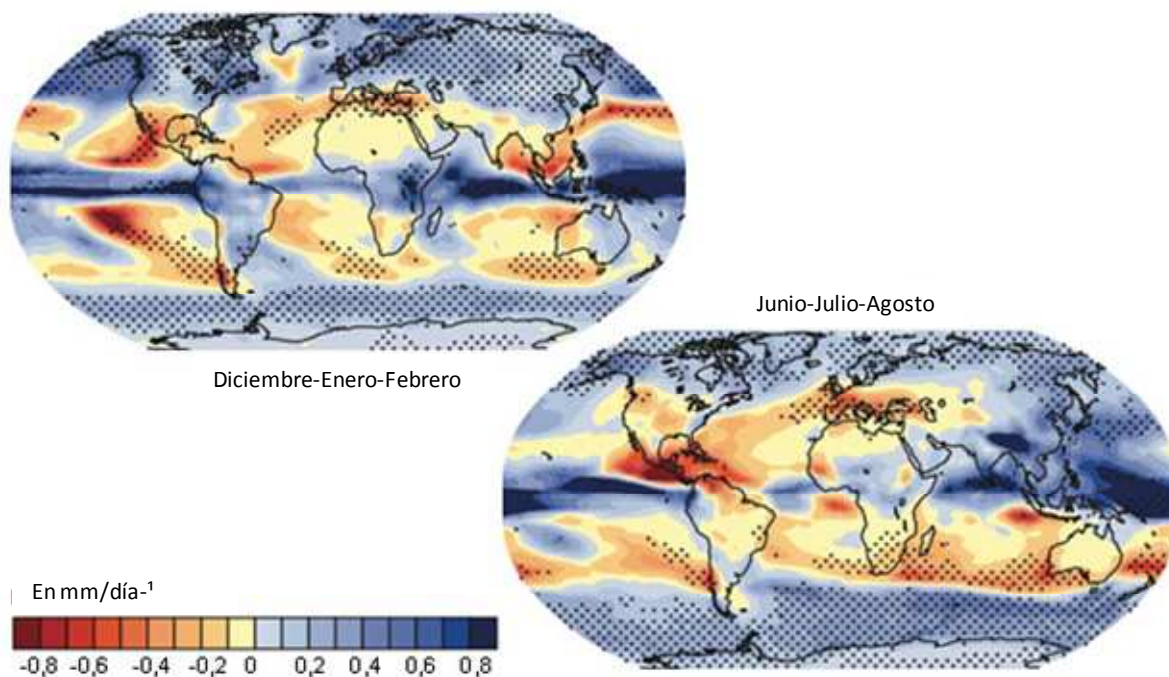


Figura 38: Proyección de lluvia multimodal en el escenario A1B (verano e invierno) (fuente: IPCC).

Las proyecciones globales también consideran el aumento del **nivel del mar (Figura 40)**. De hecho, se estima que durante el siglo XXI el nivel del mar tendrá una velocidad de ascenso mayor que en el periodo 1961-2003. Según el IPCC, en el escenario A1B el nivel del mar podría ascender entre 23 y 50 cm. Igual que en el pasado, el ascenso del nivel del mar no será geográficamente uniforme, pudiendo darse variaciones regionales de ± 15 cm.

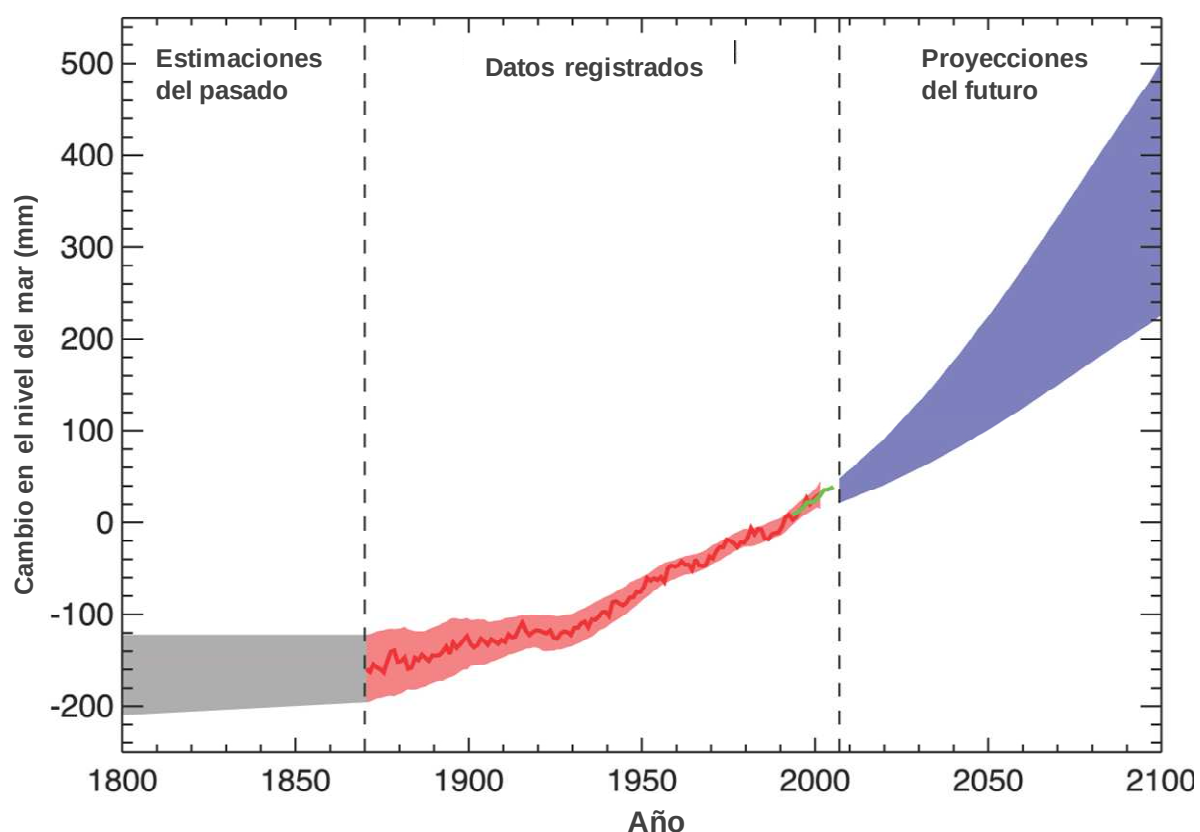


Figura 39: Aumento del nivel del mar, según los modelos globales y las proyecciones semi-empíricas (Fuente: IPCC, 2007).

Los **sucesos extremos** también han sido considerados en las simulaciones. Así, se observa una mayor duración promedio de los *periodos de sequía* (estrictamente, periodos de días consecutivos sin precipitación) para todos los escenarios, excepto el más moderado (B1) en 2100 (ver figura 41).

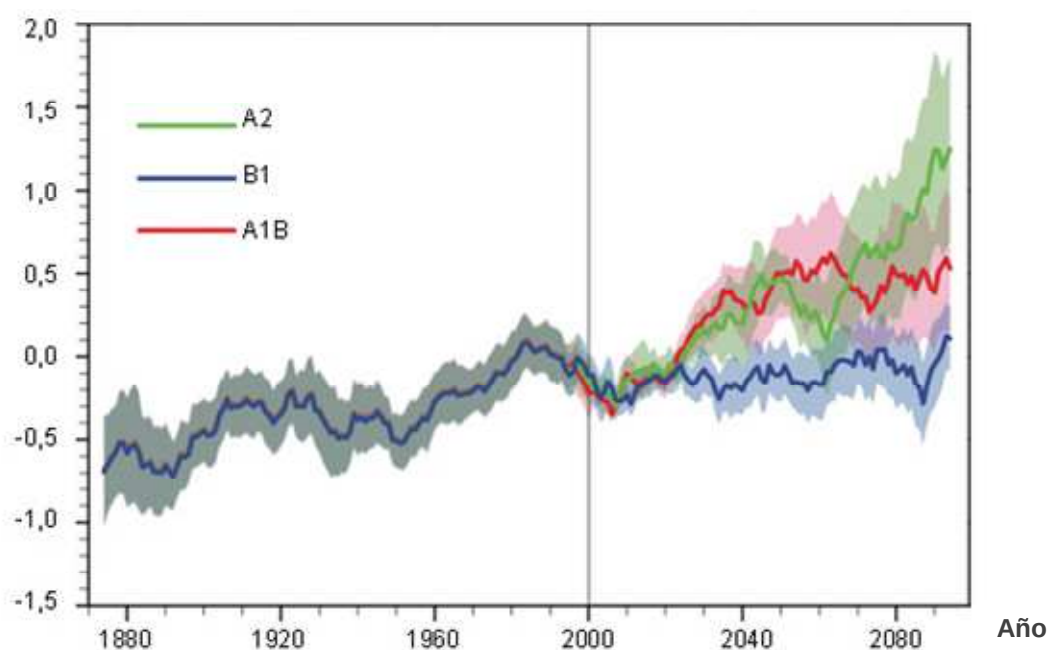


Figura 40: Evolución del periodo máximo anual de días secos consecutivos a escala global según distintos escenarios (A2, B1 y A1B) (Fuente: www.climObs.fr).

La *intensidad de las precipitaciones* (entendida como precipitación media por día de lluvia) se utiliza como un indicador de eventos de fuertes lluvias. La intensificación de las precipitaciones es evidente, y proporcional a los niveles de emisión de los escenarios (B1 baja, A1B moderada, A2 intensa).

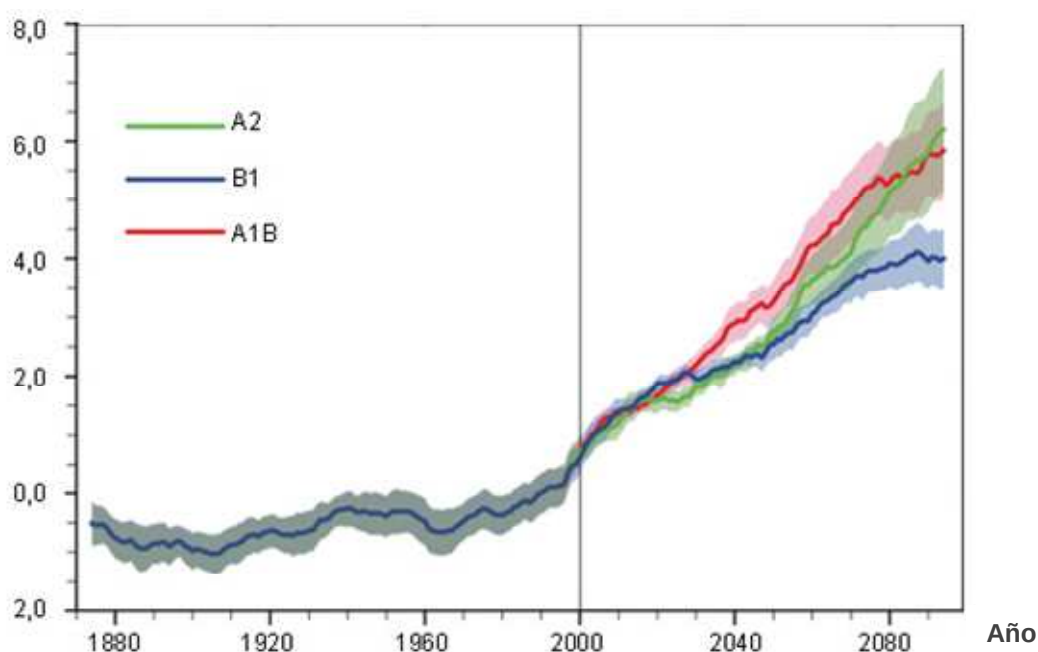


Figura 41: Evolución global de la intensidad de las precipitaciones: total anual para el número de días con lluvia a nivel global según distintos escenarios (A2, B1 y A1B) (Fuente: www.climObs.fr).

2.3.3. A escala europea

Las tendencias del pasado se verán aumentadas con temperaturas más altas en todo el continente. En el año 2100, y según del escenario A1B, esta elevación es más marcada en el sur en verano (+4 °C) y en invierno en el norte (+4-5°C) como se muestra en la **Figura 42**.

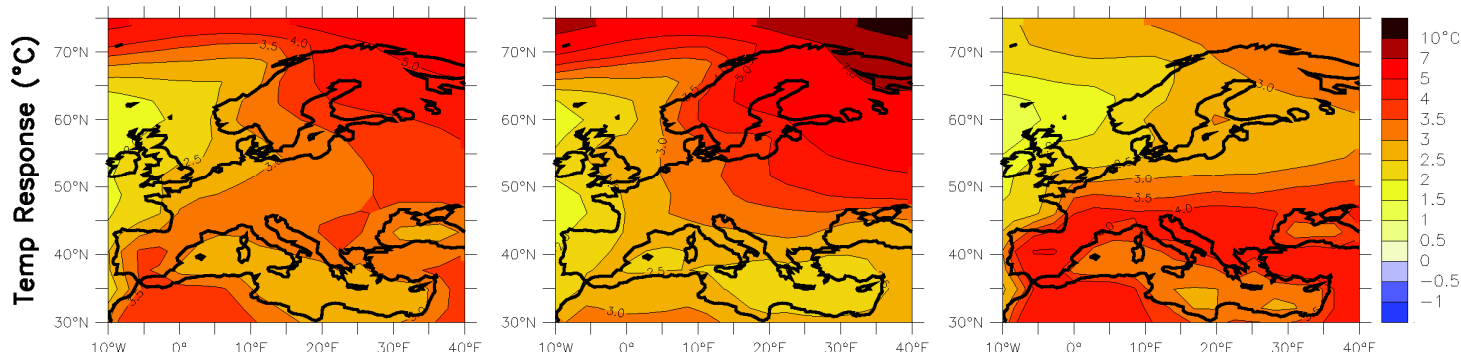


Figura 42: Modelización de cambios en la temperatura media en Europa entre 1980-1999 y 2080-2099; izquierda: anual, media: invierno (DEF), a la derecha: verano (JJA) para una media de más de 21 modelos (MMD-A1B simulations) para el escenario de emisión IPCC-SRES A1B. (Fuente: GI CE, 2007).

Las consecuencias de los cambios de temperatura y precipitación sobre la hidrología también han sido modelizados. La mayor parte de Europa se verá afectada por una reducción del flujo hídrico para el año 2100 en verano y otoño (hasta el 40% de reducción en algunos ríos en el sur de Europa) y un aumento de flujo en invierno y primavera (10% o 20% en la mayoría de los ríos). Sin embargo, estas simulaciones prevén que las regiones del sur de Europa también experimenten una reducción en su flujo en invierno y primavera, de forma que se estima una reducción de los flujos medios anuales en la zona sur entre -10% y -40% (EEA, 2008).

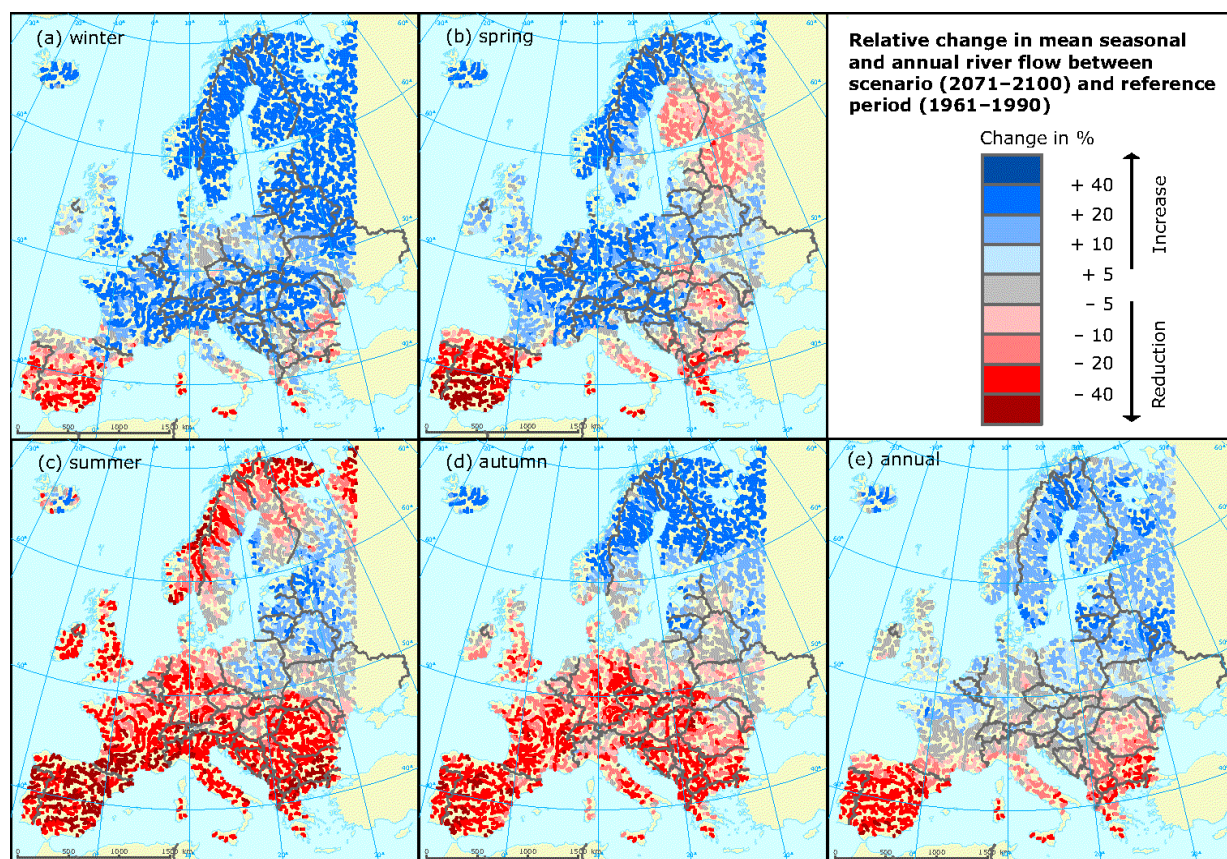


Figura 43: Anomalía de caudales medios anuales y estacionales de los ríos más importantes de Europa para 2071-2100 en comparación con 1961-1990 (Fuente: EEA, 2008).

Merece una mención en este apartado el proyecto PRUDENCE,²⁵ que involucró entre los años 2002 y 2005 a más de 20 grupos de investigación europeos con el objetivo principal de generar escenarios climáticos de alta resolución para Europa a finales del siglo XXI mediante metodologías de regionalización dinámica (ACA, 2009). Aunque las estimaciones fruto de este proyecto han supuesto un gran avance en la regionalización o *downscaling* de los escenarios climáticos en Europa, sigue siendo aún una escala insuficiente en el ámbito de los Pirineos.

2.3.4. A escala de los Pirineos

La ausencia de datos homogéneos sobre el clima en el pasado limita la posibilidad de elaborar escenarios climáticos a escala pirenaica. De hecho, pocas son las simulaciones realizadas hasta la fecha. No obstante, existen algunos estudios que abordan la elaboración de escenarios climáticos a escala pirenaica o subpirenaica. El Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT) ha publicado un informe sobre las proyecciones climáticas en Cataluña para el siglo XXI (Barrera-Escoda y Cunillera,

²⁵ Prudence: Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining European climate change risks and effects (predicción de escenarios regionales e incertidumbres para definir riesgos y efectos asociados al cambio climático en Europa). Más información: <http://prudence.dmi.dk/>.

2011).²⁶ Con esta regionalización se ha logrado trabajar con una malla de 15 km en lugar de los 250 km que ofrecen los modelos globales. Los escenarios son el A2 severo y el moderado B1. Se ha proyectado la variación de la temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Existen otros trabajos a escala regional, como los realizados por López-Moreno²⁷ y Beniston (2008).²⁸

Sin embargo, es necesario contemplar diversos escenarios y utilizar diferentes modelos para comprender la incertidumbre inherente a este ejercicio.

Otros proyectos en desarrollo también contribuirán a la provisión de datos sobre el clima a través de los Pirineos:

- El informe *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España* (INM, 2007), elaborado por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- El proyecto "Impacto del cambio climático en el turismo de invierno", dirigido por el Observatorio de Desarrollo Sostenible de Andorra, en particular en relación a los datos sobre la cubierta de nieve.
- El proyecto ADAPTACLIMA liderado por el Gobierno de Galicia²⁹ y que se centra en los impactos del cambio climático y las medidas de adaptación en el espacio de cooperación SUDOE (Portugal, España, Sur-oeste de Francia).

Finalmente, los trabajos realizados a escala nacional y de comunidades autónomas permitirán disponer de patrones y tendencias sobre la evolución climática de los Pirineos.

Conviene tener presente, sin embargo, que las previsiones de futuro dependen tanto de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero considerados como de los modelos climáticos utilizados. Por tanto, la lectura de los resultados de las proyecciones que se presentan a continuación debe realizarse con precaución, considerando esta complejidad y variabilidad.

📌 Temperaturas

El aumento de las **temperaturas**, previsto en todas las proyecciones, es variable en función de los datos, escenarios y modelos utilizados. Las pruebas llevadas a cabo por López-Moreno y Beniston (2008) para poner a prueba una serie de modelos climáticos regionales mostraron que la gran heterogeneidad climática de los Pirineos dificulta que los modelos reproduzcan fielmente la climatología observada. Así, el macizo constituye un lugar apropiado de cara a probar la capacidad de los modelos climáticos regionales para reproducir climas complejos. A partir de este trabajo sobre los modelos climáticos regionales, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) prevé un aumento de la temperatura de entre **2,8 °C y 4 °C** en los Pirineos a finales del siglo y una disminución en las precipitaciones entre un **10,7% y un 14,8%**, a partir de los escenarios A2 y B2 del IPCC, respectivamente. Por último, se afirma que la vertiente sur de la cadena se verá más afectada.

²⁶

http://www20.gencat.cat/docs/meteocat/Continguts/Climatologia/Canvi%20climatic/static_files/informe_escenaris_SMC-JUN2011.pdf.

²⁷ ²⁷ Instituto Pirenaico de Ecología –dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

²⁸ Miembro de *Climatic Change and Climate Impacts Group* de la Universidad de Ginebra.

²⁹ <http://www.adaptaclima.eu>.

En la **Figura 44**, se muestran los escenarios de temperatura regionalizados por Comunidades Autónomas. Estos resultados, referidos a un único escenario de emisión, y utilizando diferentes modelos climáticos globales y diferentes modelos regionales, constituyen una de las más recientes (AEMET, noviembre 2009) fuentes de proyecciones regionalizadas de cambio climático disponibles en el contexto europeo. La utilización de conjuntos de evoluciones (multimodelo *Ensembles*) permite estimar las incertidumbres asociadas tanto con la evolución proporcionada por los modelos globales como por la regionalización calculada con los modelos regionales. En las gráficas que se presentan los cambios esperados en temperatura y precipitación se refieren al periodo de referencia 1961-1990.

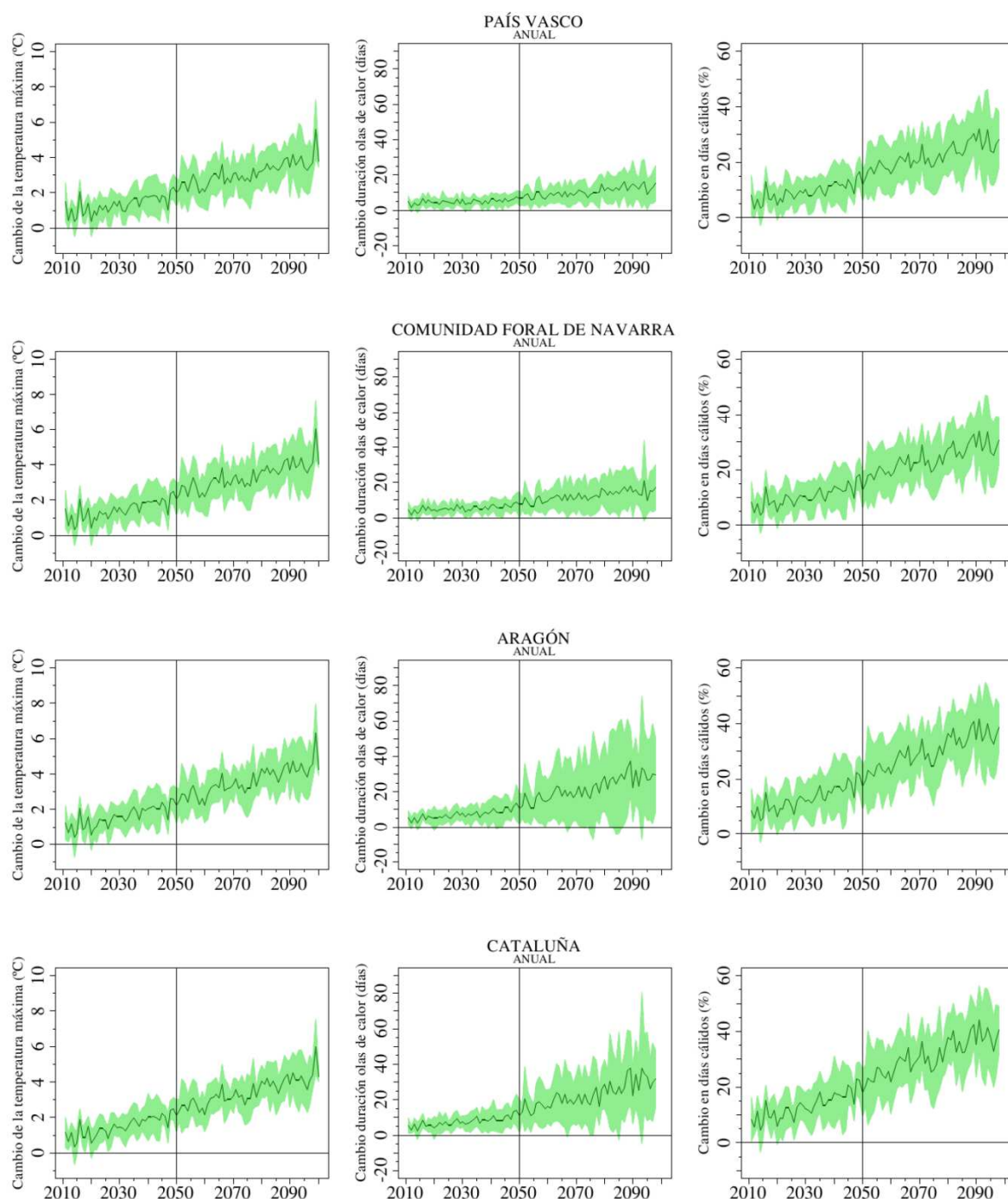


Figura 44: Evolución de la temperatura media anual en las comunidades autónomas de la vertiente sur del macizo, en relación al periodo de referencia 1961-1990. (Fuente: AEMET, 2009).

Además de los resultados del proyecto Ensembles, Cataluña dispone de escenarios regionalizados elaborados por METEOCAT, de la Generalitat de Catalunya. Los escenarios contemplan proyecciones de precipitación y temperatura a una gran resolución (escala de 15 km) para los escenarios A2 y B1 aplicados a los periodos 2001-2020, 2041-2060 y 2081-2100. El informe concluye que en el año 2100 la zona de los Pirineos catalanes experimentará unos incrementos de temperatura media anual de entre +2,4 °C y 4,6 °C.

MM5+EH5OM 15 km: Evol. de las anomalías de temp. medias anuales en el Pirineo (actuales y proyectadas)

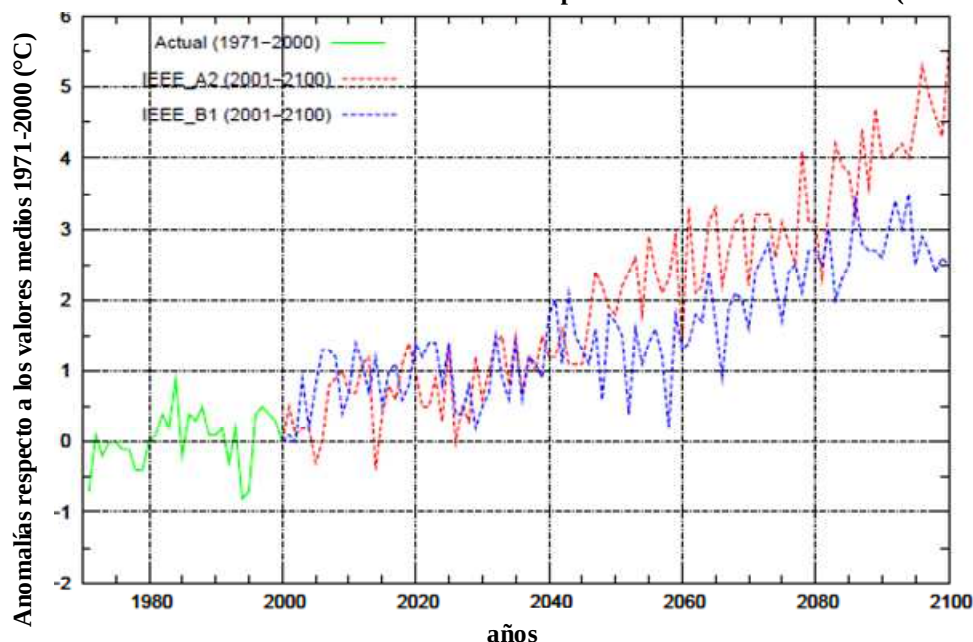


Figura 45. Evolución temporal proyectada de las anomalías de temperatura media anual para el Pirineo calculadas a partir de la simulación regionalizada del MM5 a 15 km desde 1971 hasta 2100. (Fuente: Barrera-Escoda y Cunillera, 2011).

Precipitaciones

Entre los resultados obtenidos a partir de las proyecciones, algunos se refieren a la variación estacional media del número de días de lluvia y el volumen medio de **precipitación** (Figura 46). Las incertidumbres de este tipo de resultados son importantes dadas las dificultades de modelizar las precipitaciones de las zonas de montaña.

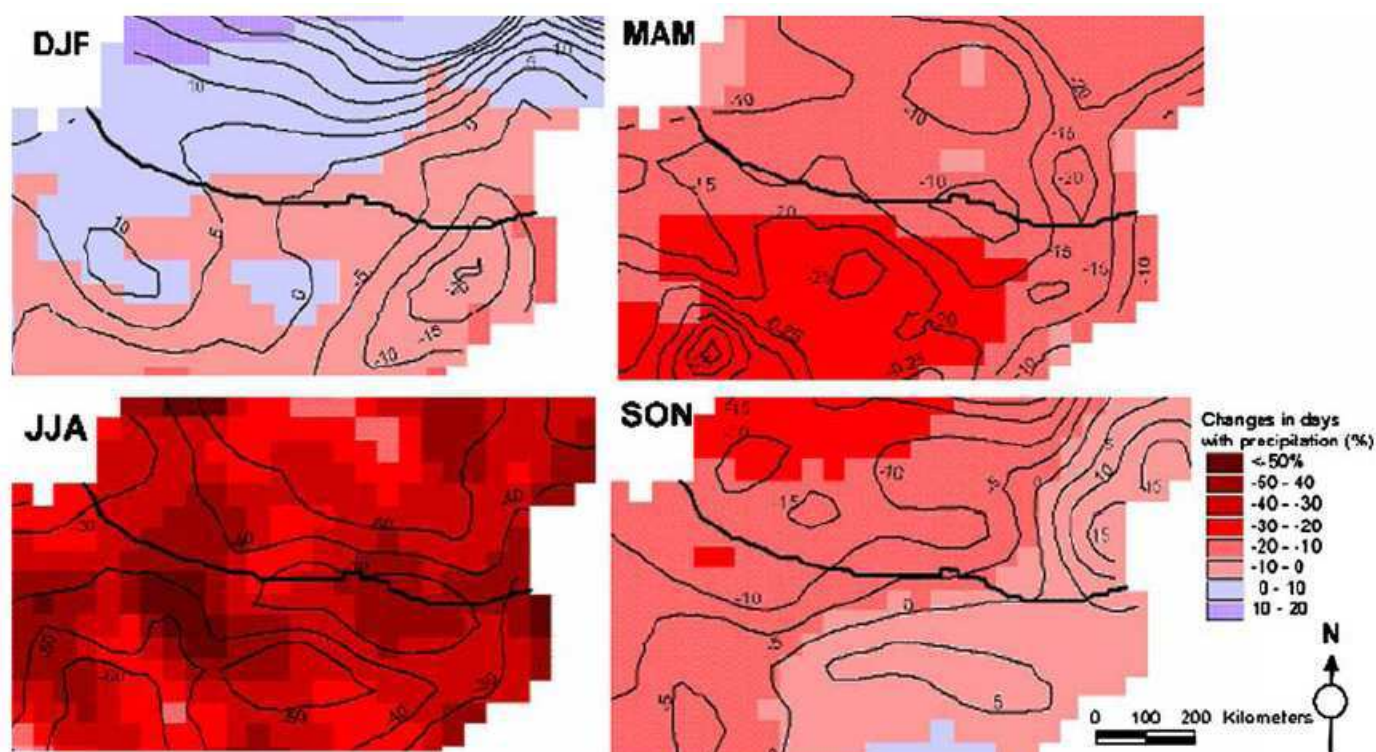


Figura 46: Cambios previstos en la media del número de días de lluvia (gradiente de colores) y la cantidad media de precipitación (isolíneas) para finales del siglo XXI en los Pirineos (fuente: López-Moreno y Beniston, 2008).

La relación entre los cambios que intervienen en el primer parámetro y los que intervienen en el segundo permite detectar cambios en el grado de intensidad de la precipitación diaria. Los resultados muestran una disminución general en la media del número de días de lluvia y, también, en la cantidad media de precipitación. Sin embargo, la magnitud del cambio es muy variable en el espacio y en función de las estaciones del año (Beniston y López-Moreno, 2008).

Según estas investigaciones, en invierno los cambios en el volumen medio de precipitación definen un gradiente noroeste/sureste, con un aumento de hasta un 10-15% en el noroeste y una disminución de hasta un 20% en el sureste. Los cambios en la media del número de días de lluvia muestran una tendencia similar tanto en términos de distribución espacial como en la amplitud.

Sin embargo, en las regiones mediterráneas, la disminución del volumen medio de precipitación sería mayor que la prevista para los días lluviosos, lo que indica una tendencia a la baja en la intensidad de las precipitaciones.

En primavera se espera, según las investigaciones, una disminución en el macizo de la cantidad media de precipitación (por lo general superior al 10%), pero esta reducción es más intensa en la vertiente sur de los Pirineos, donde se espera que la cantidad de precipitación disminuya casi un 35%. En la costa atlántica, así como en la vertiente norte de los Pirineos y la costa mediterránea, el volumen de las precipitaciones disminuye entre un 10 y un 20%, mientras que los días de lluvia se reducen un 10%, lo que indica un aumento en la intensidad de precipitación diaria. La intensidad se mantiene relativamente estable en el interior de España.

En verano se registra la mayor disminución en el promedio de lluvias –más del 30% en todas las regiones y hasta un 60% en algunas partes de España– y el número medio de días de lluvia. La variación de la intensidad de la precipitación diaria es menos pronunciada, con un ligero aumento en torno a la frontera franco-española y en algunas zonas del Mediterráneo, y una disminución en los sectores del extremo norte y extremo sur de la región.

Las tendencias obtenidas para el otoño muestran un ligero aumento en el volumen de las precipitaciones (hasta un 15%) en las zonas del Mediterráneo y una caída gradual hacia el oeste (hasta un 15%), a lo largo de la costa atlántica. Se observa una tendencia general hacia un aumento en la intensidad de la precipitación diaria, especialmente a lo largo de la costa mediterránea, donde se espera que el volumen de las precipitaciones aumente, aunque el número de días de lluvia disminuiría.

Estas conclusiones, basadas en modelos climáticos regionales sobre el comportamiento futuro de los parámetros relacionados con la precipitación diaria, están sujetas a muchas incertidumbres –aunque menores en comparación con las proyecciones climáticas menos precisas– y los resultados deben ser considerados con cautela.

Los resultados obtenidos para los Pirineos han sido corroborados por las simulaciones realizadas en Francia, España y Andorra, por Météo-France y el CNRM así como por el AEMET para las comunidades autónomas. La tendencia general es la reducción de precipitación anual acumulada, tal y como se indica en los mapas de las **Figura 47 y 49**.

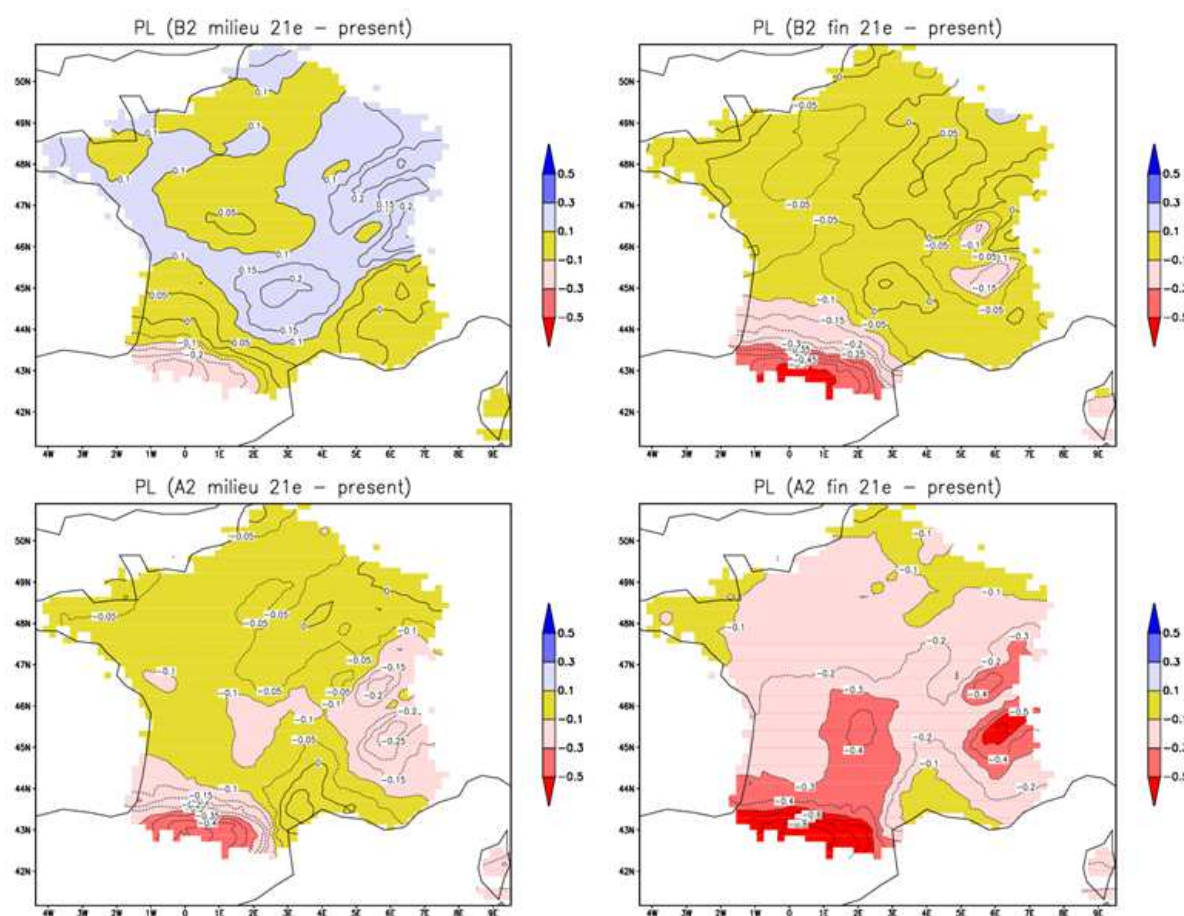


Figura 47: Evolución de la precipitación anual acumulada en función de los escenarios A2 y B2 en 2050 y 2100 (fuente: CNRM / Météo-France).

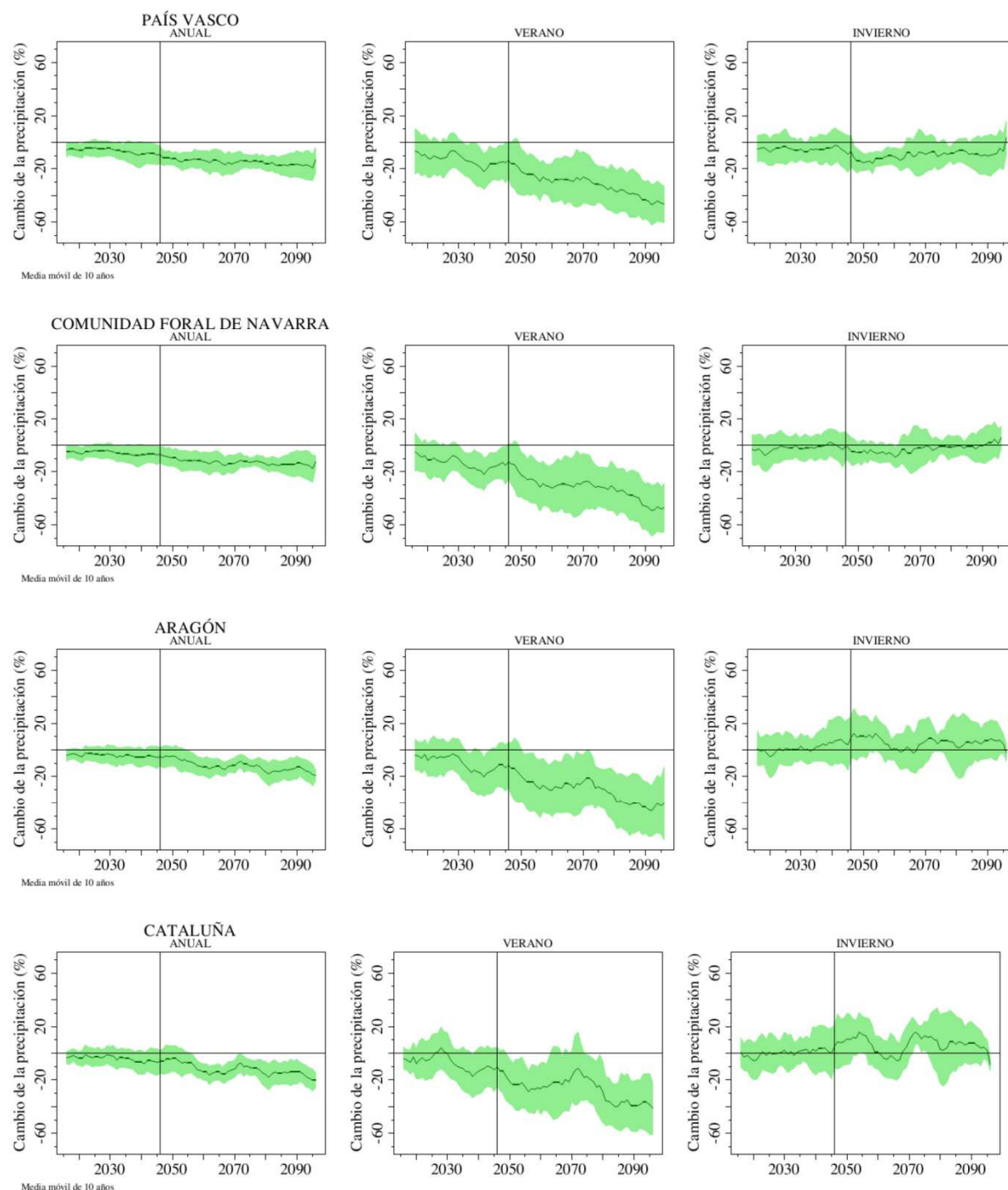


Figura 48: Evolución de la precipitación acumulada anual y estacional en las comunidades autónomas de la vertiente sur del macizo (fuente: AEMET, 2009).

METEOCAT, en su informe de proyecciones para el siglo XXI, concluye que a finales de siglo la precipitación media anual en el Pirineo catalán puede disminuir entre un 10% y un 20%, llegando a una reducción del 40% en verano para el escenario A2.

MM5+EH5OM 15 km: Evol. de las anomalías de precip. medias anuales en el Pirineo (actuales y proyectadas)

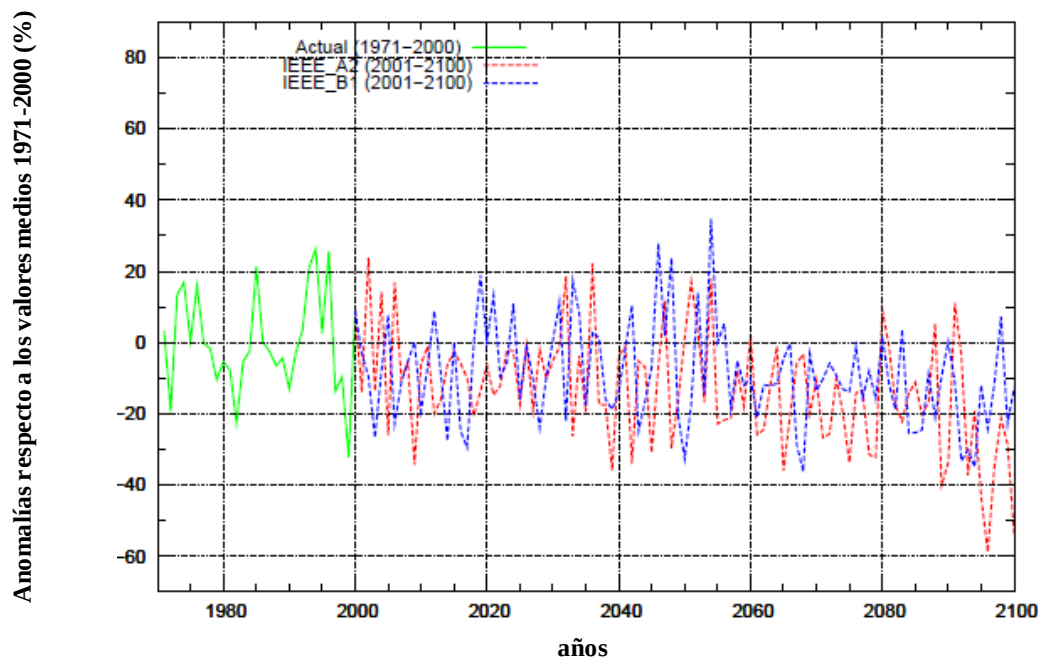
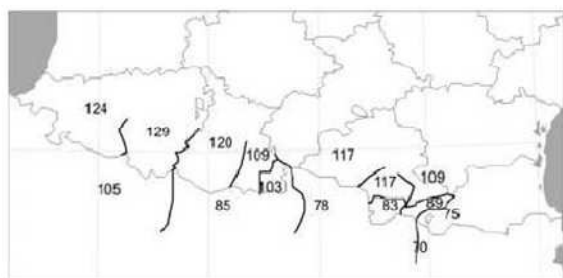


Figura 49. Evolución temporal proyectada de las anomalías en la precipitación media anual para el Pirineo calculadas a partir de la simulación regionalizada de MM5 a 15 km desde 1971 hasta 2100 (Fuente: Barrera-Escoda y Cunillera, 2011).

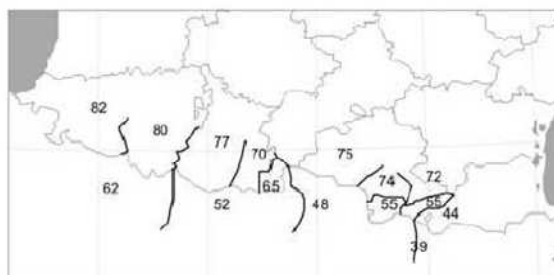
❑ Nieve (ver, también, la sección “3.4 Turismo”)

El aumento de la temperatura y el cambio en el régimen de precipitaciones tienen implicaciones directas tanto en el espesor de la nieve como en la superficie innivada. Un escenario desarrollado por Météo France (Figura 50), basado en un aumento de la temperatura media de 1,8 °C, ha obtenido los siguientes resultados (Etchevers y Martin, 2002):

- se espera que disminuya la duración de cobertura de nieve anual en aproximadamente un mes en los Alpes y los Pirineos, en altitudes de alrededor de 1.500 m. La reducción sería menor –aproximadamente dos semanas– a mayor altitud (3.000 m);
- la profundidad de la nieve pasará de 1 m a 60 cm en el norte de los Alpes y de 40 cm a 20 cm en el sur de los Alpes y los Pirineos (para una altitud de 1.500 m).



Clima actual



Escenario climático

Figura 50: La duración media de la nieve a 1.500 m en los Pirineos (en días por año), simulado por SAFRAN y CROCUS (fuente: Météo France).

Esta alta sensibilidad de la capa de nieve se relaciona con la reducción de la acumulación invernal (debido a una precipitación más líquida como consecuencia del incremento de la temperatura) y el adelanto del deshielo.

3. Vulnerabilidad del territorio frente al cambio climático

En esta última sección se evalúa la vulnerabilidad frente al cambio climático de los distintos sistemas naturales y sectores socioeconómicos pirenaicos, identificando las oportunidades y las amenazas potenciales generadas por la evolución del clima. A partir de este planteamiento se podrán identificar medidas de adaptación más adecuadas a la situación del macizo enfocadas a reducir la vulnerabilidad del sistema o sector. Este perfil se centra en los sectores siguientes:

- Agricultura, ganadería, bosques y piscicultura.
- Biodiversidad y ecosistemas.
- El turismo.
- Gestión del agua.
- Industria y energía.
- Transporte.
- Ordenación del territorio y urbanismo.
- Salud humana.
- Sector financiero y de los seguros.

Después de una breve presentación del enfoque seguido en este ejercicio, se desarrolla un análisis de la vulnerabilidad de los Pirineos para cada sistema natural y sector de actividad.

3.1. ¿Qué es la vulnerabilidad?

La **vulnerabilidad** es el grado de sensibilidad de un sistema natural o sector socioeconómico ante los impactos del cambio climático. La vulnerabilidad de un sistema o sector dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto dicho sistema o sector y de su sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2007, ver Recuadro 6).

Recuadro 6 : Definiciones de las nociones de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación



La **exposición** refleja la frecuencia de ocurrencia e intensidad de una amenaza a la cual un sistema o sector se enfrenta. Así, dependiendo del contexto geográfico, de las condiciones socioeconómicas y culturales y/o de la intensidad de los impactos, un sistema o sector estará más o menos expuesto y, en consecuencia, será vulnerable al cambio climático en mayor o menor medida.



La **sensibilidad** se define como el nivel en el que un sistema o sector resulte afectado, ya sea negativa o positivamente, por los impactos relacionados con el clima. El efecto puede ser directo (por ejemplo, un cambio en la producción de las cosechas en respuesta a la variabilidad de las temperaturas) o indirecto (los daños causados por un aumento en la frecuencia de inundaciones costeras debido a una elevación del nivel del mar) (IPCC, 2007)



La **capacidad de adaptación** es la capacidad de un sistema o sector para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática natural y los fenómenos extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas (IPCC, 2007)

El planteamiento adoptado en este documento consiste en evaluar **los impactos, tanto los ya observados como los potenciales**, de distintos factores climáticos (aumento de la temperatura, variabilidad de la precipitación, etc.) para cada uno de los sectores socioeconómicos y sistemas naturales de los Pirineos con el objetivo de caracterizar mejor su grado de **sensibilidad** y **exposición** al cambio climático.

La **capacidad de adaptación** es abordada de forma más somera en este primer informe, puesto que se trata de un aspecto más difícil de evaluar que depende directamente, entre otros factores, de la capacidad institucional y socioeconómica del macizo, una capacidad difícil de determinar con precisión ya que no es homogénea en todo el territorio debido al carácter transfronterizo de los Pirineos. Será en próximos documentos del OPCC donde se podrá precisar mejor el grado de capacidad adaptativa.

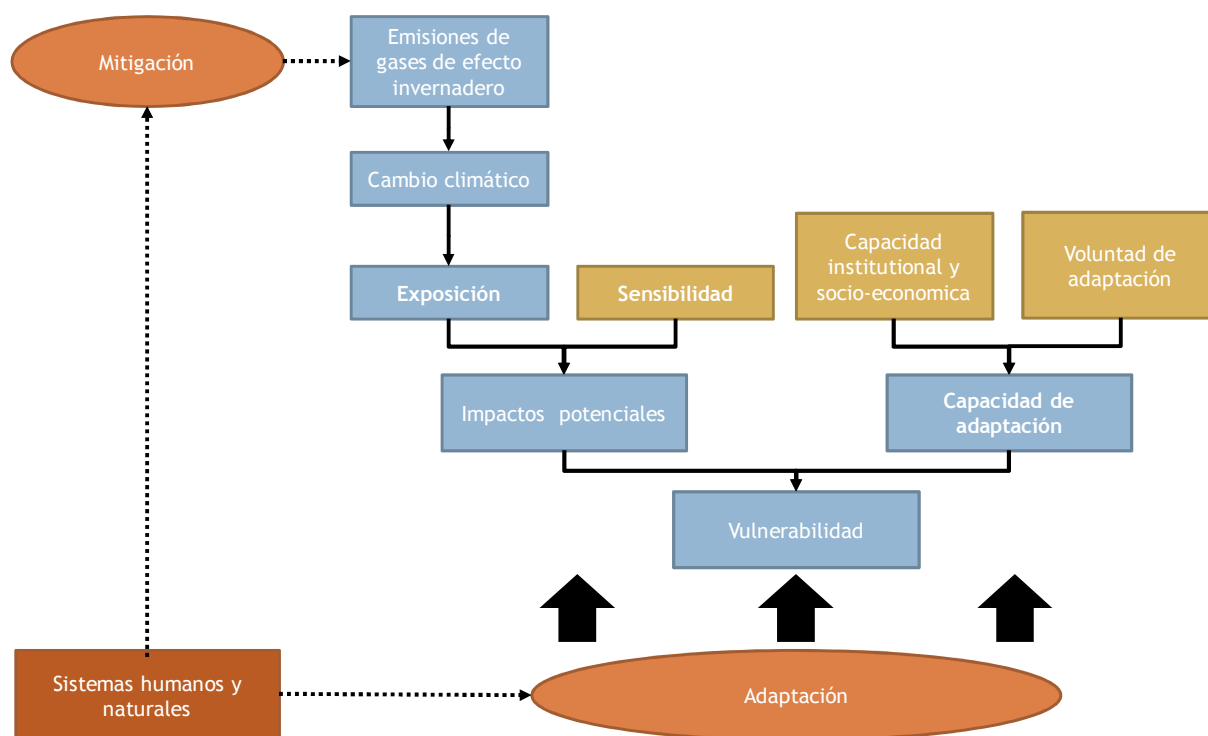


Figura 51 : Modelo conceptual de los impactos, de la vulnerabilidad y de la adaptación al cambio climático
(Fuente : traducido de Isoard, Grothmann & Zebisch, 2008).

3.2. Agricultura, ganadería, bosques y piscicultura

Las actividades agrícolas, ganaderas, forestales y piscícolas dependen del funcionamiento de los ecosistemas y de los seres vivos que interaccionan de forma directa con el clima. Es por ello que el sector primario es uno de los más vulnerables al cambio climático.

3.2.1. La agricultura

Los impactos del cambio climático afectan principalmente a la producción vegetal. Los principales efectos sobre las plantas están representados por el siguiente diagrama (Figura 52) construido en base al proyecto Climator (Brisson y Levrault, 2010).³⁰

³⁰ Excepto otras fuentes mencionadas.

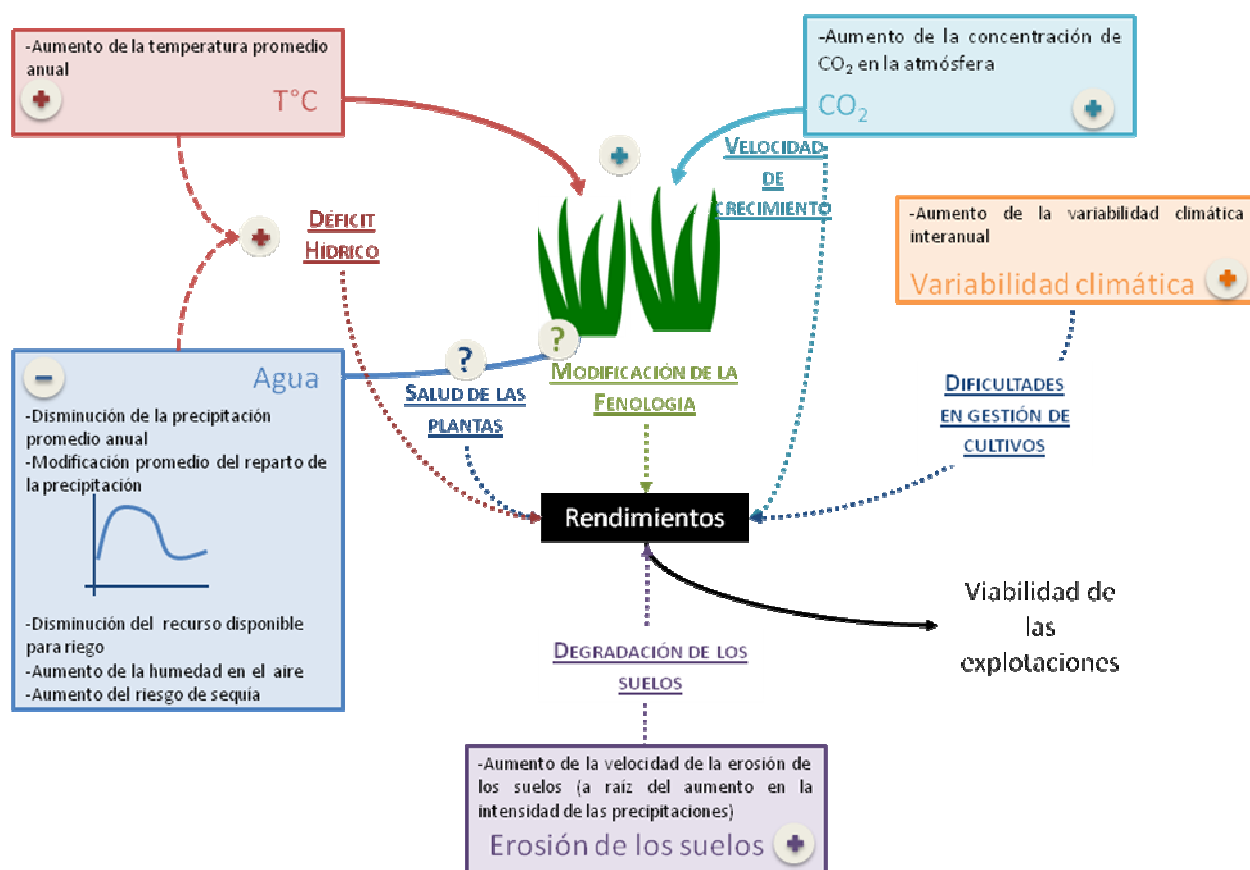


Figura 52 : Principales impactos del cambio climático sobre los cultivos (Fuente: ACTeon, 2011, basado en Brisson y Levrault, 2010 y Cerdan et al., 2011).

Además de los impactos destacados en la figura anterior, el cambio climático podría afectar a la competitividad de determinados productos del Pirineo donde una gran parte del valor añadido proviene de la existencia de una denominación de origen (Séguin, 2007). De hecho, muchos productos agrícolas pirenaicos son típicos del macizo y obtienen una ventaja competitiva de las especificidades del medio físico (suelo, clima), de las variedades sembradas y de técnicas de cultivo específicas de los Pirineos, es decir, del *terroir* (*terruño, terror*). Estos incluyen: vinos, quesos, carnes y productos derivados (Fuente: INAO,³¹ ver también recuadro 2). El cambio climático podría modificar estas singularidades y alterar el carácter típico de estas producciones (Séguin, 2007).

Se espera que los impactos del cambio climático tengan repercusiones distintas en cada ámbito agrario, por lo que un análisis por tipo de cultivo permite entender la vulnerabilidad de este sector pirenaico con mayor precisión.

3.2.1.1. Los cultivos

La viña

La viticultura pirenaica se concentra principalmente en el **extremo oriental del macizo**. De acuerdo con los modelos climáticos ésta sería la única área del Pirineo en la que persiste incertidumbre

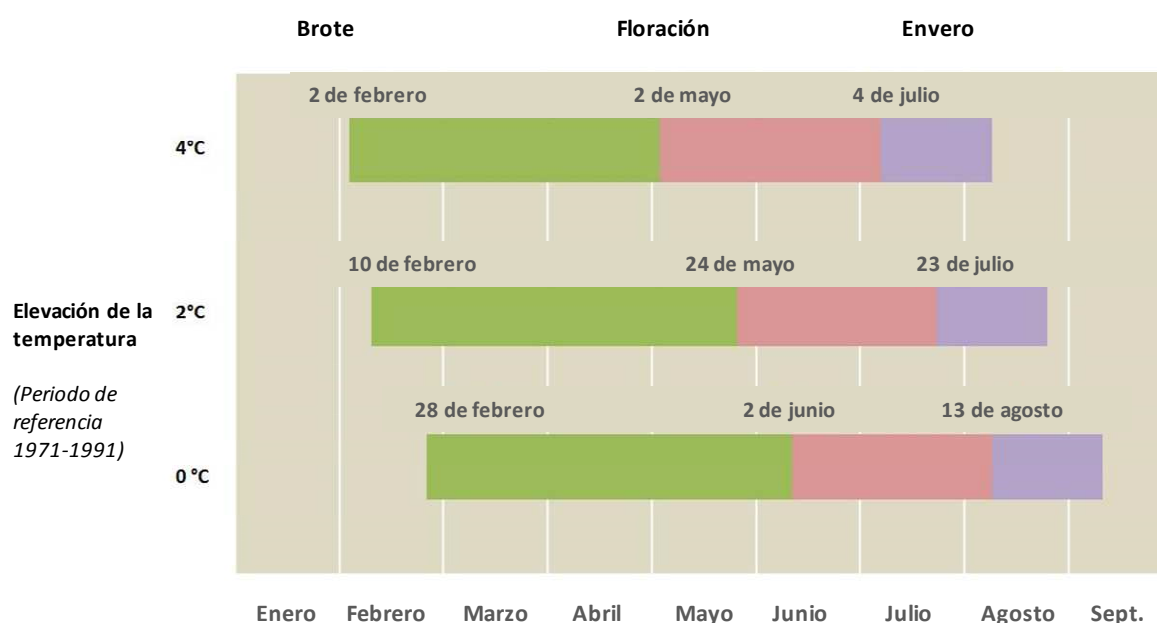
³¹ www.inao.gouv.fr.

respecto a los cambios en el volumen de precipitaciones de otoño e invierno (Barrera-Escoda y Cunillera, 2011), a diferencia de todas las zonas aledañas en que se prevé su disminución.

Los cambios en la fenología de la **vid** pueden tener un impacto significativo en la calidad del vino. Simulaciones con distintas variedades de vid en la zona de Montpellier mostraron que un aumento de 4 °C provocaría una maduración adelantada de la uva Syrah de un mes (Lebon, 2002, ver Figura 53). El desfase de la maduración a principios de julio alteraría el régimen térmico durante la maduración, particularmente en las condiciones nocturnas, que son un factor determinante para la calidad del vino de la región mediterránea (Maton, 2010). Por lo tanto, el **aumento de la temperatura** podría alterar las variedades de productos ya cercanos a su límite térmico. Por otra parte, y a pesar de que la planta requiere una escasez de agua para producir vino de calidad, es posible que el **déficit hídrico** sea tan importante que amenace la calidad del producto, especialmente para las variedades de vino blanco y rosado más sensibles a la falta de agua. De hecho, cuando aumenta el déficit de agua, la competencia entre el crecimiento vegetativo y la maduración de la uva aumenta y puede crearse una desaceleración en el almacenamiento de azúcares (Agen-Nevers, 2005).

No obstante, estos datos deben ser matizados ya que se refieren a la ubicación actual de los viñedos. Factores externos podrían revelarse positivos para otros territorios en el caso en el que la viña sea viable (i.e. viabilidad incrementada en explotaciones vitícolas de altura, como es el caso de nuevas explotaciones en Andorra y en la comarca catalana del Pallars).

El proyecto catalán ACCUA (Adaptación al cambio climático en el uso del agua)³² analiza la vulnerabilidad del territorio catalán frente al cambio climático y propone medidas de adaptación. Se ha analizado el cultivo de la viña, de los olivos y del maíz.



³² http://www.creaf.uab.es/accua/ACCUA_tecnica_internet.pdf.

Figura 53 : Proyección de la evolución de la fenología de la Syrah en la región de Montpellier (Fuente: Lebon, 2002).

La arboricultura

Los frutales y olivares se reparten en varias zonas del macizo y particularmente en los extremos oriental y occidental. Un centro de producción importante se ubica también al sur del macizo, entre Aragón y Cataluña. Actualmente, ya existen evidencias de los impactos del cambio climático sobre la fenología de los árboles frutales. El cambio de las fases fenológicas se detectó a finales de los años ochenta a través de una floración avanzada (Matos, 2010).

Para el albaricoque, un estudio realizado por el INRA durante los últimos veinte años, ha mostrado la existencia de un avance en las fechas de floración. El aumento de la temperatura refuerza esta tendencia e interfiere con la polinización, especialmente para las variedades llamadas auto-incompatibles (es decir, que requieren polen de otra variedad para la fertilización de sus flores) y que pueden estar en desfase con respecto a la variedad polinizadora.³³

Además, el aumento de la temperatura en las últimas décadas también ha afectado a la fisiología de los árboles frutales. La falta de frío durante el período de reposo ha potenciado el desarrollo de necrosis floral, especialmente en el melocotón y el albaricoque, y las temperaturas de verano demasiado altas han fomentado el desarrollo de flores con pistilos dobles en el cerezo (Maton, 2010).

Por lo que respecta a los olivares, distribuidos en las zonas de secano al sur del macizo, el déficit hídrico es determinante en su producción. En los terrenos de secano o con riegos deficitarios, la reducción de lluvias, el incremento de la variabilidad pluviométrica y el aumento de la temperatura en verano, incrementan el estrés hídrico y reducen la productividad. En cambio, la más que previsible atenuación de las fuertes heladas en invierno (según datos del Boletín Anual de Indicadores Climáticos para el año 2010 del Meteocat, se observa una tendencia estadística significativa de disminución de las heladas) disminuye el riesgo de pérdidas de cosecha.

Los grandes cultivos

Los **grandes cultivos**, principalmente ubicados en las planicies cerca de los centros urbanos y sobre todo en las cuencas río abajo del macizo, están representados en su mayoría por el cultivo del maíz, (especialmente de regadío), trigo y colza. Sin embargo, es difícil anticipar la evolución del uso de tierras agrícolas en horizontes más lejanos debido a probables cambios económicos y políticos. Por lo tanto, esta sección se centra en la investigación sobre el impacto del cambio climático en los principales grandes cultivos.

Los principales impactos sobre los cultivos tienen que ver con el aumento de la temperatura, los cambios en los patrones de precipitación y el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera.

³³ Service Presse INRA (2003) Abricotiers : les risques d'une floraison plus précoces et plus réduites http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/evaluer_predire_les_impacts/rechauffement_climatique_et_cultures_perennes/abricotier_les_risques_d_une_floraison_plus_precoce_et_plus_reduite.

Estos cambios climáticos y físicos implican efectos distintos en función del tipo de cultivo y podrían ser especialmente relevantes para el maíz y el sorgo (Brisson y Levrault, 2010).

El aumento de la temperatura podría ocasionar un cambio en la fenología de los grandes cultivos, particularmente la aceleración del periodo de desarrollo y el acortamiento de los ciclos vegetativos (Séguin, 2007). Para el trigo, la colza y el girasol el cambio podría ser un factor más bien positivo, ya que permitiría evitar cierto tipo de estrés (heladas, sequía durante el llenado del grano), mientras que el maíz y el sorgo son más vulnerables al riesgo de déficit de agua (Brisson y Levrault, 2010). Sin embargo, un incremento importante de la temperatura de invierno no constituiría una oportunidad (evitar el riesgo de heladas) sino una amenaza para los cultivos, puesto que la falta de frío podría afectar a la vernalización. Esto implicaría una bajada en el rendimiento de cultivos como el trigo o la cebada (Llebot, 2009).

El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera tendría un efecto menos beneficioso sobre la producción de biomasa de maíz y sorgo (plantas C4 de *alta eficiencia fotosintética*) que sobre la del trigo, el girasol y la colza (plantas C3 de *baja eficiencia fotosintética*) (Séguin, 2007). La hipótesis de una duplicación de la concentración de CO₂ para el final de este siglo daría lugar a una estimulación de la fotosíntesis de alrededor del 30% para las plantas C3 y el 15% para las plantas C4 (Rapport interministériel, 2009).

Sin embargo, este efecto positivo sobre el rendimiento puede ser contrarrestado por el aumento de la frecuencia de las sequías. La falta de agua junto con el aumento de la temperatura (y por lo tanto un aumento de la evapotranspiración) es en realidad un factor limitante para los grandes cultivos en el sur de Francia (Séguin, 2010). El déficit de agua podría amenazar al conjunto de los cultivos en los Pirineos (trigo, maíz, sorgo, colza, etc.), aunque con efectos desiguales. Por ejemplo, el girasol podría verse menos afectado que los cultivos de maíz, particularmente vulnerables a la escasez de agua (Brisson y Levrault, 2010).

Las sequías de 1976 y 2003 en Francia permitieron tener una visión sobre la vulnerabilidad de los grandes cultivos. Durante estos periodos, se estableció la pérdida de rendimiento. En 2003, y dependiendo de la región francesa, se redujo el rendimiento entre el 10 y el 55% para el maíz, entre el 14 y el 37% para el sorgo, entre el 10 y el 30% para el trigo y entre el 5 y el 20% para el girasol.³⁴ Las simulaciones realizadas como parte de la investigación para el trigo y el maíz (Delecolle et al., 1999; Seguin et al., 2004) apoyan la hipótesis de una probable disminución de los rendimientos en el sur de Francia para los dos cultivos a pesar de que las incertidumbres sean mayores para el trigo, debido a los efectos antagónicos del cambio climático (evitar el estrés en los primeros ciclos, pero aumentar el número de días calurosos –temperaturas máximas superiores a 25 °C—al final del ciclo).

Horticultura

El presente apartado se ha incluido a pesar de que no existe una producción hortícola muy desarrollada en los Pirineos. Sin embargo, y a pesar de que los obstáculos del relieve no permiten una gran producción en el macizo, su desarrollo no puede excluirse fundamentalmente por dos motivos: en primer lugar, debido a un cierto desarrollo de sistemas de venta directa cerca de los centros urbanos; por otro lado, porque las condiciones de producción del macizo podrían ser más

³⁴ Rapport Interministériel (2009), d'après les données de l'INRA, 2006.

favorables en un futuro, mientras que en otras regiones la situación podría empeorar como resultado del cambio climático.

El **aumento de temperatura** es el factor más importante para la producción de hortalizas en los Pirineos (Matos, 2010), aunque es posible que se supere el umbral óptimo de calor durante los períodos de calor extremo. Para el tomate, por ejemplo, se observa una reducción del rendimiento a partir de 35-36 °C. Además, el aumento de las temperaturas podría favorecer la aparición de **nuevas enfermedades**. La ola de calor de 2003 condujo al desarrollo de *Bemisia patosistema* TYLCV, que constituyó un gran riesgo fitosanitario para la producción en invernadero (Matos, 2010).

Cultivos de regadío

La **reducción de las precipitaciones**, especialmente en verano, podría perjudicar a la agricultura pirenaica, debido a problemas de riego. En **la vertiente sur** se espera un incremento de la necesidad de irrigación para determinados cultivos de entorno a un 10%. La disminución de la disponibilidad del recurso podría, sin embargo, limitar el recurrir al riego debido a problemas aguas arriba/aguas abajo y conflictos de uso en torno al recurso. Los grandes cultivos son los principales afectados por este problema que ya ahora, en la vertiente sur, tienen comprometida la garantía de suministro de agua.

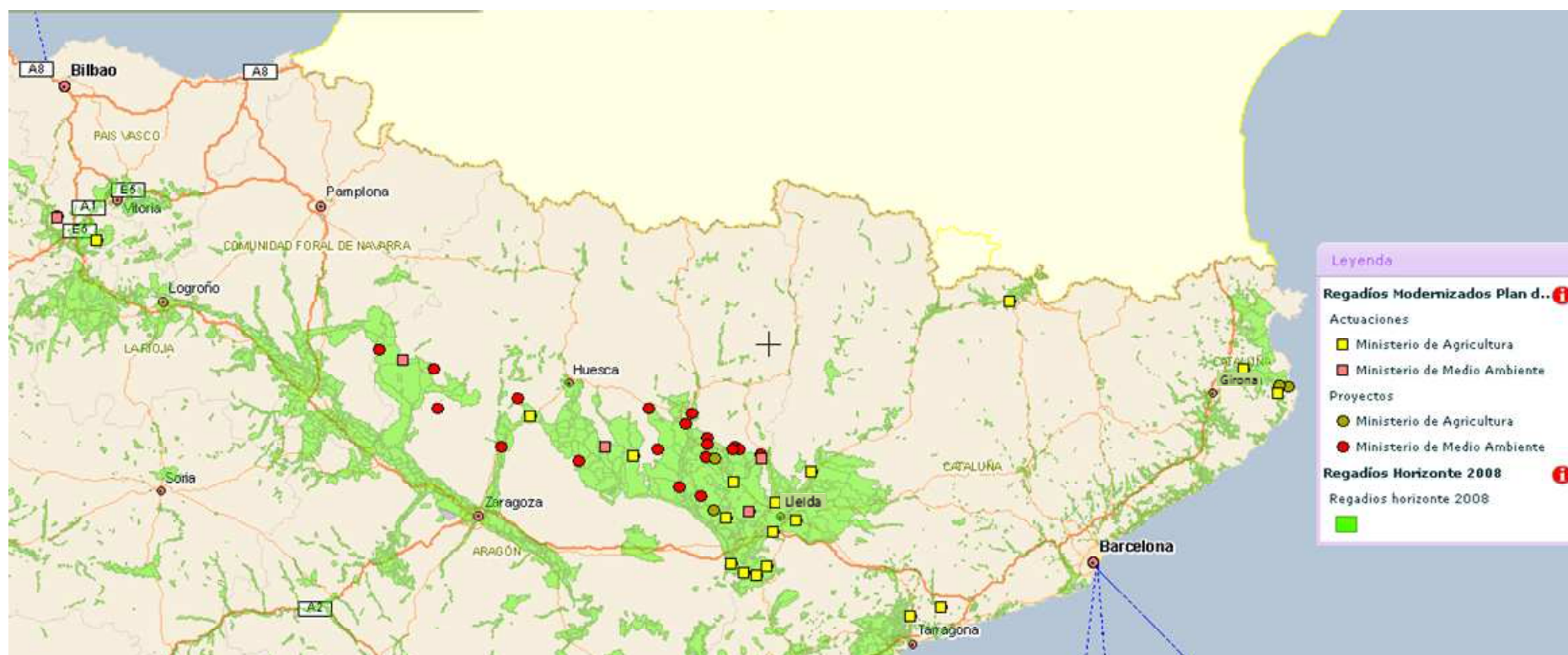


Figura 54 : Mapa de las áreas de riego en el 2008 y zonas en donde se moderniza el riego (Fuente: MARM).

3.2.1.2. La ganadería

La ganadería se ve afectada por el cambio climático a través del **crecimiento de plantas** y la **producción de forraje** que alimenta el ganado y, también, por **cambios en la sanidad (vegetal y animal)** como resultado de cambios en los parámetros físicos y el medio ambiente biológico.

Los impactos generales del cambio climático sobre la ganadería

La evolución observada hasta el momento pone de manifiesto un adelanto de los ciclos de los pastos³⁵ y un incremento de la producción de los mismos que podría alcanzar entre un 6 y un 22% para las gramíneas y entre un 8 y un 19% para el ray-gras inglés (*Lolium perenne* L.) desde inicios de siglo. Otros estudios (Sebastià, 2007) alertan del riesgo de una reducción en la producción de forraje durante el verano en la zona mediterránea de los Pirineos, que coinciden con los trabajos del INRA francés que prevén un aumento de la producción en primavera y otoño, compensado por una disminución en verano debido **al riesgo creciente de la sequía**. A largo plazo (horizonte 2100), en la parte occidental de la zona francesa, la necesidad de forrajes podría ser mayor e incluso la proporción de forraje para distribuir en verano podría ser mayor que en invierno (Moreau et al., 2007).

La sequía de 2003 proporcionó una visión general de la vulnerabilidad de los pastizales y cultivos forrajeros. Ese año la producción disminuyó en Francia en un 30% (Ciais et al., 2005). Además, se observaron varios efectos adicionales: la pérdida de autosuficiencia en el suministro de forraje, la degradación de los pastizales, la pérdida de carbono del suelo, la reducción en la ingestión y la producción de rumiantes, los efectos agravados en suelos con bajas reservas de agua, etc. (Seguin, 2008). En Cataluña, como consecuencia de la sequía del invierno 2011-2012, que se prolongó en verano, los pastos se secaron, obligando a los ganaderos a alimentar los rebaños con pienso artificial, una base alimentaria que en el año 2012 sufrió un incremento del 30% en su precio de venta.

Los impactos del cambio climático y de los usos del suelo sobre los agroecosistemas en los Pirineos: el proyecto Fluxpyr

Liderado por el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), el proyecto Fluxpyr³⁶ analiza la influencia del cambio climático y los cambios de usos del suelo en los Pirineos e involucra a diversos equipos multidisciplinares de España, Francia y Andorra. El proyecto se desarrolla en las dos vertientes del Pirineo, en las regiones de Midi-Pyrénées, Languedoc-Rosellón, Cataluña, Navarra y el Principado de Andorra, y entre sus objetivos destacan:

- La caracterización y cuantificación de flujos y reservas de agua, carbono, nitrógeno y energía en agroecosistemas de montaña.
- La identificación de los sumideros y las fuentes de carbono, así como de los factores ambientales (p.e. clima) y humanos (gestión) que les influyen.

³⁵ Source : http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/evaluer_predire_les_impacts/rechauffement_climatique_et_prairies, consultado en diciembre del 2011.

³⁶ Accesible en www.Fluxpyr.eu.

- La aportación al diseño e implementación de estrategias y políticas de mitigación y adaptación sostenibles y dinámicas en el territorio.

El proyecto, finalizado en 2012, generó gráficos de seguimiento continuo de la concentración atmosférica de CO₂, a partir de los cuales es posible conocer la absorción y emisión de CO₂ en las zonas seleccionadas que, a su vez, permite elaborar balances de carbono y de gases de efecto invernadero.

Los impactos sobre la ganadería en el clima perimediterráneo: la importancia de las sequías (resultados de estudio Climfourrel)

El proyecto de investigación Climfourrel se centra en los impactos del cambio climático sobre la crianza de ganado en el arco perimediterráneo. El trabajo ha puesto de manifiesto una "méditerranización" del clima del sur de Francia (Lelièvre et al., 2008), es decir, un desplazamiento hacia el norte del límite del clima templado/mediterráneo que afectaría a la producción de forraje en el extremo oriental del macizo (Lelièvre y Volaire, 2011). Resulta previsible pensar que este cambio en el clima afectará a los ciclos de los pastos, de forma que éstos podrían ser más precoces a principios de la primavera y más tardíos en otoño, generando una disminución de la fase de producción (ver Figura 55).

En verano, la importancia del **déficit hídrico** conllevaría una menor producción de pastos y una necesidad de forraje durante este período (Lelièvre, Sala y Volaire 2011). Sin embargo, los efectos del aumento de las temperaturas podrían resultar positivos en altitudes superiores a 1.000 metros y originar un incremento en la productividad de las praderas (Comunicación F. Lelièvre ; Rapport Interministériel,³⁷ 2009).

³⁷ Rapport interministériel (2009), Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France - rapport de la seconde phase : Partie III - Rapport des groupes sectoriels, 231 pp.

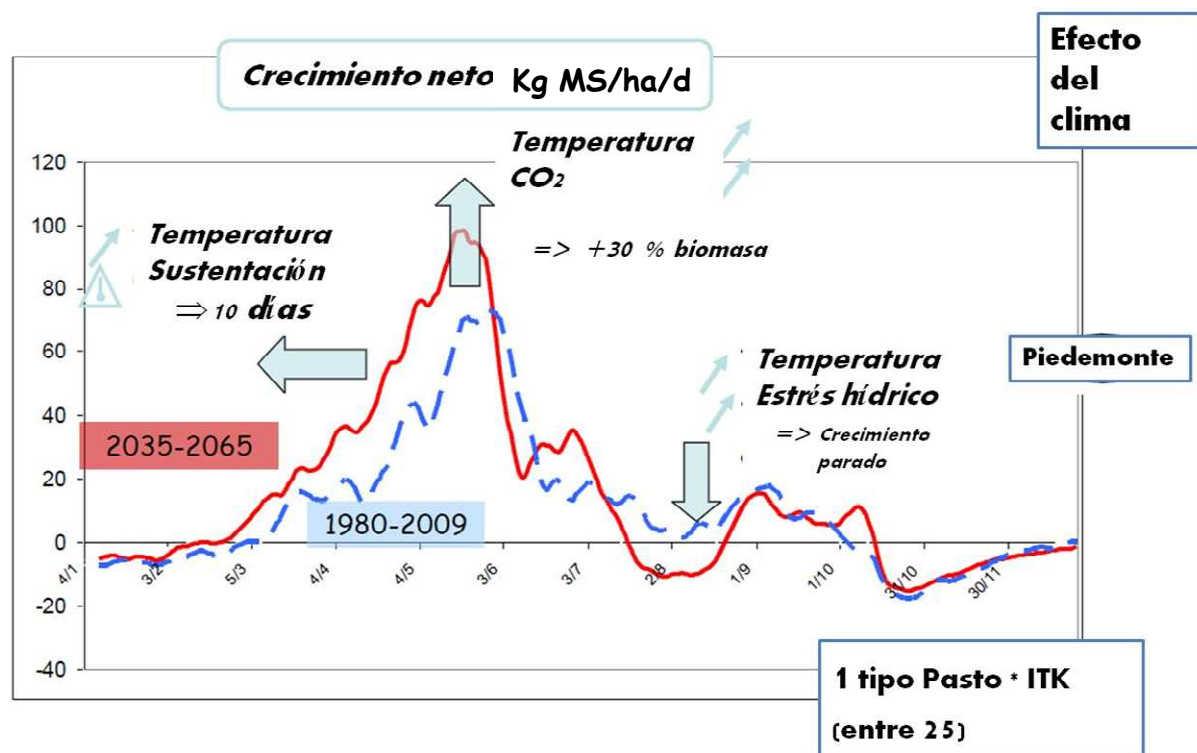


Figura 55 :Crecimiento diario neto (kg MS/ha/día) sobre un año de pradera natural precoz, para el periodo 1980-2009 (azul) y 2035-2065 (rojo) sobre un suelo profundo del piedemonte pirenaico a 400 m de altura (Fuente: Felten et al., 2010 - Focus PSDR3, projet Climfourrel).

Recurrir a variedades forrajeras del Mediterráneo más resistentes a la sequía (por ejemplo, *medly* en vez de *lutetia*) es una opción para hacer frente al calentamiento global. Sin embargo, la **variabilidad interanual** es el problema más importante para la producción de forraje, superando incluso el efecto de las altas temperaturas (Lelievre y Volaire, 2011; Rounsevell, 1996).

Por último, teniendo en cuenta los múltiples servicios ambientales prestados por las praderas (almacenamiento de carbono, mantenimiento de biodiversidad, infiltración de agua), un cambio en su ciclo y producción podría tener un impacto importante sobre los ecosistemas del macizo (Llebot, 2009).

Teniendo en cuenta que pastos y forrajes representan el **82% de la SAU del macizo**, los posibles impactos del cambio climático van a resultar significativos. Además, los pastizales y cultivos forrajeros se localizan mayoritariamente en el oeste y centro del macizo, zonas que reciben sólo un pequeño aumento en las precipitaciones de invierno (Beniston y López-Moreno, 2008) y son, por lo tanto, más vulnerables a la sequía.

Impactos sobre el ganado

Los impactos del **aumento de la temperatura** sobre **los rebaños** se centran fundamentalmente en la salud de los animales. La magnitud de las consecuencias del calentamiento global dependerá de su resistencia al calor. El inventario de los efectos del cambio climático en la región de Languedoc-Rosellón identificó un incremento en la mortalidad de animales en 2003, coincidiendo con la sequía

(ADEME Languedoc-Roussillon, junio 2011). Ante estas circunstancias, una opción sería el desplazamiento en altura de las áreas de pastoreo, lo que permitiría una menor exposición de los animales con riesgos al calor extremo, aunque la ganadería extensiva, como actividad profesional en el Pirineo central, sufre una recesión sin precedentes.

Por otra parte, el período de los pastos de verano podría extenderse durante una mayor parte del año. Sin embargo, una menor producción de las praderas en verano podría conducir a una mayor necesidad de forraje para esa época del año y los animales podrían sufrir pérdida de peso si el forraje no satisface sus necesidades nutricionales. Además, el ganado también podría verse afectado por la disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos.

Es importante recalcar las posibles enfermedades del ganado debido al aumento de temperatura en montaña, como la posible entrada de *leishmaniasis*. Esta enfermedad, por ejemplo, es transmitida por hembras del género *Phlebotomus* (dípteros hematófagos) y afecta a los mamíferos (vacas, ovejas, perros, etc.). Este díptero va a ampliar su área de distribución en función de la temperatura y se prevé que suba en altitud.

Gestión de las explotaciones

Por otra parte, la previsión de **los impactos** y la **adaptación espontánea** o no planificada de las explotaciones al cambio climático (cambios en las fechas de siembra y cosecha, por ejemplo) podría hacerse mediante prueba y error y generar un aumento en los costos de producción –por lo menos temporalmente. Estos efectos podrían tener un impacto sobre el empleo agrícola y agudizar la migración rural-urbana. Sin embargo, existen importantes incertidumbres sobre los impactos socioeconómicos y tales escenarios no son más probables que escenarios alternativos debido a los efectos a veces contradictorios del cambio climático. La evolución de un factor climático puede representar de hecho una amenaza a un cultivo y una oportunidad para otro. Por tanto, es difícil predecir el impacto de la combinación de estos efectos sobre la evolución de los ingresos de los agricultores. Varios otros factores externos influyen en los ingresos.

3.2.2. Los bosques

Los bosques y su gestión representan un tema clave para los Pirineos debido a la gran superficie forestal existente en el macizo (más del 43%) y los numerosos servicios prestados por los bosques (biodiversidad, protección contra los riesgos naturales, servicios recreativos, etc.). Teniendo en cuenta además que las zonas de montaña son de las más vulnerables al cambio climático (PNACC), es esencial evaluar los impactos potenciales sobre los ecosistemas forestales del Pirineo.

Estos impactos se resumen en el siguiente diagrama y se detallan a continuación.

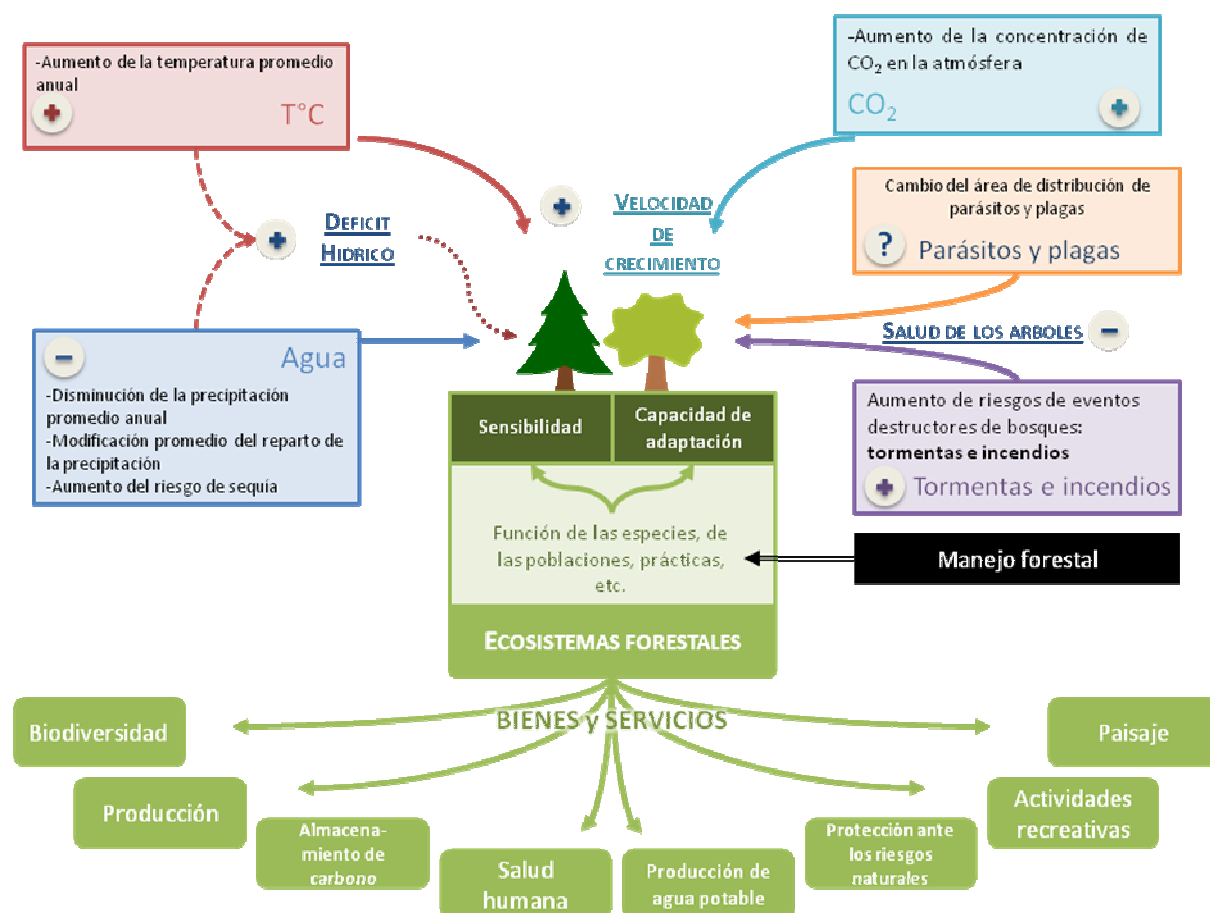


Figura 56: Impactos del cambio climático sobre el bosque – factores externos directos (temperatura, agua, CO₂) e indirectos (parásitos y plagas, tormentas e incendios)(ACTeon, 2011).

El diagrama permite introducir el concepto de gestión forestal, el cual condicionará la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales siguiendo el enfoque del informe *Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation* (Lindner et al., 2008).

3.2.2.1. Una modificación de la fenología

El **aumento de la temperatura** adelantaría el período de brotación y retrasaría la caída de las hojas, ampliando así la fase vegetativa y aumentando la producción forestal como ilustra la Figura 57. La estimulación de la fotosíntesis causada por el aumento del contenido de CO₂ en la atmósfera mejoraría este efecto sobre la producción. De acuerdo con el trabajo desarrollado por el INRA, la duplicación de la concentración de CO₂ provocaría un aumento del 40% en la tasa de crecimiento de los árboles.⁵

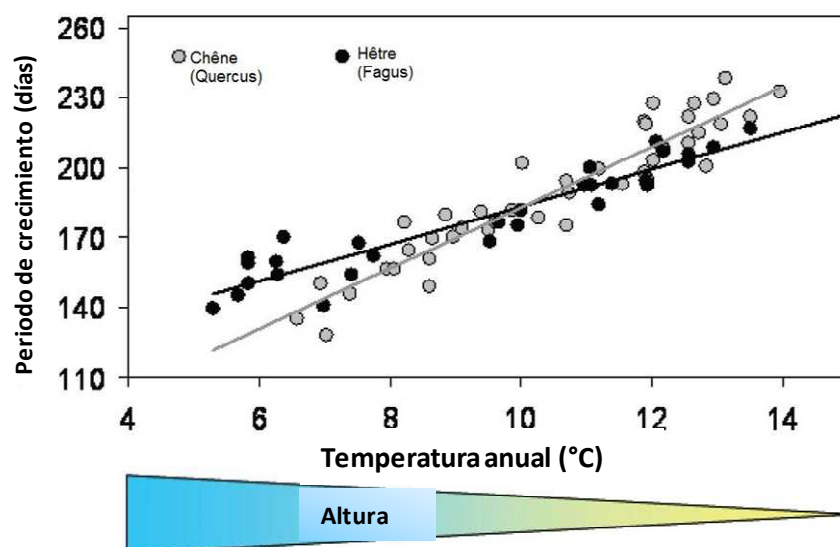


Figura 57 : Duración del periodo de crecimiento en función de la temperatura anual (Fuente: Yan Vitasse, 2008).

Sin embargo, este fenómeno también puede convertirse en una amenaza a la resiliencia de los bosques, principalmente debido a:

- Una mayor sensibilidad de los árboles a los problemas ambientales (desequilibrios nutricionales).
- La pérdida de las propiedades tecnológicas de la madera (propiedades mecánicas, composición química)³⁸.

3.2.2.2. Una disminución de los stocks de carbono

Las **altas temperaturas** también generarían una reducción de las reservas de carbono en la biomasa y los suelos forestales. En el año 2003 la productividad primaria neta de la vegetación de Europa experimentó una disminución del 30% que produjo un déficit en el stock de carbono de 0,5 GtC.

3.2.2.3. Una modificación en las áreas de distribución de las especies

La disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura podrían generar un aumento de la evapotranspiración de los árboles y, por lo tanto, incrementar su necesidad de agua, especialmente las hayas y pinos marítimos que son más susceptibles a la sequía⁵.

Para **la zona española**, el PNACC estima que el aumento de la intensidad del déficit hídrico acumulado en la temporada vegetativa conllevaría una fuerte disminución de la restitución de agua del medio (-125mm/año antes de 2025) y una caída de las producciones medias de los bosques de cerca del 12%, más moderada para las altitudes más importantes (-0,5tMS/ha/año antes de 2025).

³⁸ Mission communication & mission transversale "Changement climatique et effet de serre" (2009) Réchauffement climatique et forêts : résultats de recherche
Enlace: http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/evaluer_predire_les_impacts/rechauffement_climatique_et_foret, consultado en noviembre del 2011.

Igualmente, se espera un **cambio en el área de distribución de las especies** (Romano-Amat, 2007). Las poblaciones de hayas y abetos deberían verse más severamente afectadas por el cambio climático. No obstante, otras especies podrían verse favorecidas por la evolución del clima.

Varios proyectos han abordado el tema, en particular a escala nacional y europea. Entre ellos se destaca el estudio CARBOFOR del INRA francés que prevé una expansión de árboles mediterráneos y una disminución de las especies de montaña en los Pirineos (SGAR Midi-Pyrénées, en marzo 2011, según el INRA, 2004). Tal y como puede observarse, se prevé una desaparición casi completa de abetos y hayas en el Pirineo. Sin embargo, el autor destaca dos factores que tienden a disminuir la tasa de migración de especies arbóreas y que no se han considerado en este modelo: la plasticidad de las especies y la diversidad genética infra-específica.

El EFDAC (*European Forest Fire Data Center*) también provee datos sobre la evolución de las superficies de distribución favorables a 24 especies.³⁹ Así, los modelos prevén, por ejemplo en los Pirineos, una ampliación de las aéreas favorables al roble pubescente (*Quercus pubescens*, cf. Figure 59) y una reducción de la del haya (*Fagus sylvatica*, cf. Figura 58) así como la del abeto (*Abies alba*).

En el marco del Proyecto K-Egokitzen, Neiker⁴⁰ realizó para el País Vasco una modelización de cambios en la distribución futura de varias especies forestales para los periodos 2020, 2050 y 2080. Los resultados muestran que el nicho potencial del haya (*Fagus sylvatica*) y el pino (*Pinus radiata*) prácticamente desaparece en las tres provincias vascas en 2080, mientras el nicho del roble (*Quercus robur*) desaparecería totalmente.⁴¹

³⁹ <http://efdac.jrc.ec.europa.eu/climate>.

⁴⁰ Neiker-Tecknalia, Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, es una Sociedad Pública sin ánimo de lucro adscrita al Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca (www.neiker.net).

⁴¹ <http://www.neiker.net/k-egokitzen/pages/terrestres.html>.

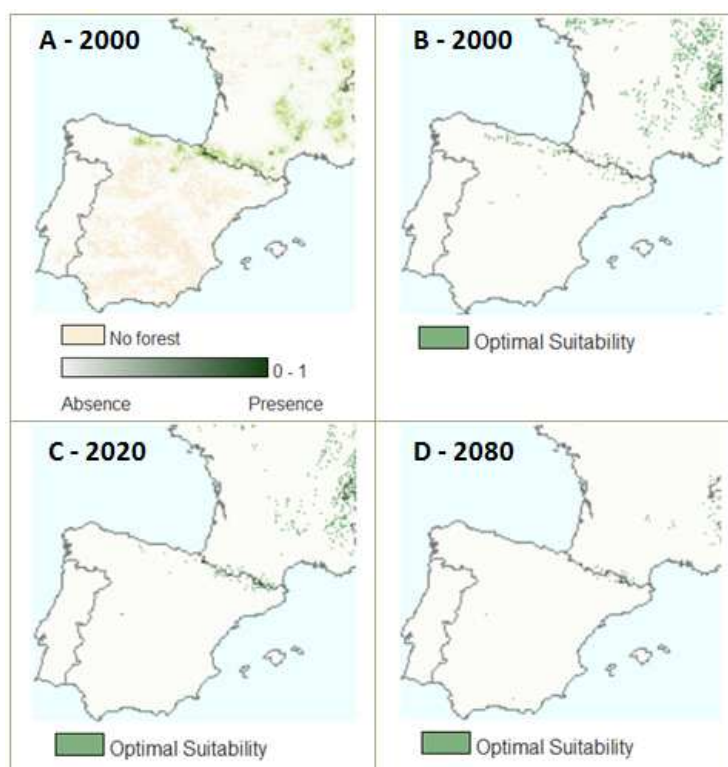


Figura 58 : Área de distribución actual del haya (A) y áreas de distribución modelizadas de los hábitats favorables al haya en el año 2000 (B), 2020 (C) y 2080 (D) según el modelo climático ENS y el escenario A2 (fuente: EFDAC).

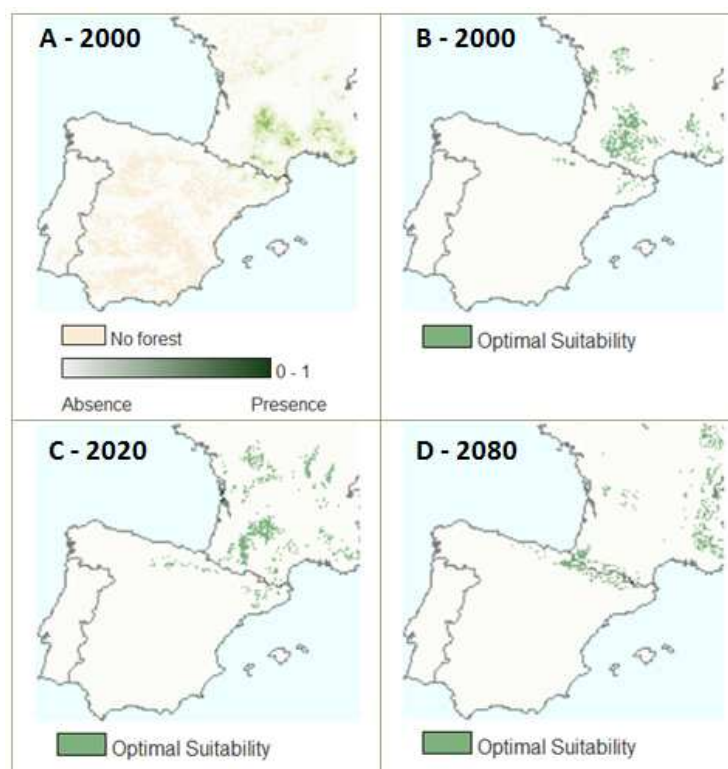


Figure 59 : Área de distribución actual del roble pubescente (A) y áreas de distribución modelizadas de los hábitats favorables al roble pubescente en el año 2000 (B), 2020 (C) y 2080 (D) según el modelo climático ENS y el escenario A2 (fuente: EFDAC).

Teniendo en cuenta que en el macizo ya se ha observado una disminución en la diversidad de especies (Llebot, 2009), el declive de algunas especies puede tener consecuencias importantes para la biodiversidad local y regional. A nivel del Pirineo catalán el CREA⁴² y el CTFC⁴³ están desarrollando un intenso trabajo de investigación y transferencia a los actores sobre los impactos y la adaptación al cambio climático de los bosques.

3.2.2.4. Evolución del área de distribución de parásitos y plagas

El área de expansión de ciertos parásitos y plagas podría cambiar por efecto del cambio climático y, de la misma forma, podrían aparecer nuevas enfermedades. Esta amenaza a la salud de los árboles ya se ha manifestado durante las sequías de los últimos años. De hecho, el Observatorio Forestal de los Pirineos (*L'Observatoire Forestier des Pyrénées*), informó de la aparición de insectos xilófagos en los bosques de pinos debido a las altas temperaturas.

3.2.2.5. Un aumento en la frecuencia de los eventos extremos y desastres naturales

La mayor frecuencia de eventos extremos y desastres naturales podría agravar la sensibilidad de los bosques. La resiliencia de los bosques a este tipo de episodios (tormentas, incendios) es muy baja y un mayor riesgo de ocurrencia de eventos extremos podría tener consecuencias perjudiciales.

Según un estudio del INRA, *"los bosques se vieron significativamente afectados por los fenómenos extremos tales como la tormenta de 1999 y las sequías de 2003 y 2005-2006. La sequía en el invierno de 2011 tuvo como consecuencia un incendio que arrasó 1.500 hectáreas en el Pirineo catalán. Si el daño a las plantaciones jóvenes es visible de inmediato, el trabajo después de la sequía de 1976 puso de manifiesto que sus consecuencias se han manifestado durante diez años"*.⁴⁴

Los bosques pirenaicos están particularmente expuestos al riesgo de incendio que se espera que aumente debido al incremento de la temperatura. Este riesgo se agravaría por el abandono de la agricultura.

A diferencia de los bosques andorranos, mayoritariamente de titularidad pública, los bosques pirenaicos franceses son particularmente vulnerables a estos factores climáticos debido a una **gestión poco adaptada**. De hecho, en el **lado norte**, el 55% de los bosques pirenaicos son de propiedad privada y, con frecuencia, no se gestionan de forma adecuada,⁴⁵ bien por la falta de experiencia de los propietarios, bien por ignorancia de sus derechos de propiedad. Una infrautilización del bosque puede conllevar a su envejecimiento, factor que reforzaría su sensibilidad al cambio climático y a eventos extremos, tal y como se indica en el Libro blanco de los bosques pirenaicos (Daubet, De Miguel Macaña y Maurette, 2007). Además, la **fragmentación de la propiedad**

⁴² <http://www.crea.uab.es/gotilwa%2B/>.

⁴³ <http://www.ctfc.cat/>.

⁴⁴ Source: http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/evaluer_predire_les_impacts/rechauffement_climatique_et_foret, consulté en novembre 2011

⁴⁵ Según entrevista telefónica con Bruno Mariton (CRPF Languedoc-Roussillon) realizada el 14/10/2011.

en el macizo complica la aplicación de una gestión coherente, y existen dificultades para implantar planes de desarrollo forestal. Una organización y división del territorio de acuerdo a planes de desarrollo forestal, tal y como ocurre en los Alpes, no parece viable a corto plazo para el Pirineo.

Sin embargo, se han identificado las siguientes iniciativas, que podrían ser implementadas:

- Esquema Estratégico Forestal de los Pirineos (*Schéma Stratégique Forestier des Pyrénées*), aprobado en 2009 por el Comité del macizo que establece un diagnóstico y que pretende establecer una nueva dinámica a escala del macizo para abordar mejor las cuestiones más importantes de los bosques del Pirineo. Esta iniciativa es un elemento básico de capacidad de adaptación al cambio climático de los ecosistemas forestales y de la silvicultura.
- En Cataluña el 30% de los bosques disponen de un Plan Técnico de Gestión Forestal, impulsado por la Dirección General de Medio Natural de la Generalitat de Catalunya.⁴⁶
- La Estrategia Catalana de Adaptación al Cambio Climático 2013-2020 (ESCACC),⁴⁷ propone como medida de adaptación el pago por servicios ambientales (PSA), un ingreso que debería emplearse en la gestión forestal.

3.2.3. La piscicultura

El desarrollo de la pesca continental o piscicultura y la importancia de las capturas llevaron a las agrupaciones de pescadores y piscicultores a poner en marcha la cría de especies como la trucha fario, el salvelino, el salvelino alpino y la trucha lacustre en algunas piscifactorías. Estas instalaciones ya existían desde finales del siglo XIX y en la actualidad existen 33 concesiones de agua para piscifactorías en la cuenca española del Ebro, con una demanda anual de agua de 616 hm³. Parte de ellas se sitúan en los Pirineos, como puede verse en la **Figura 60**.

Los efectos del cambio climático previstos sobre esta práctica se refieren a la reducción de la **disponibilidad de recursos hídricos** y a la mayor incidencia de **condiciones extremas** que pueden afectar al desarrollo y supervivencia de las especies, así como a sus ciclos vitales o al de otras especies de su ecosistema. La fauna piscícola es la principal afectada por la disminución de caudales hídricos, asociada a un empeoramiento de la calidad del agua (debido al aumento de las concentraciones de contaminantes y la disminución de la concentración de oxígeno disuelto) y a un aumento de la temperatura del agua, con consecuencias fisiológicas que pueden ser importantes.

⁴⁶

<http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.d6e90b9e74f7291c366ec10b0c0e1a0/?vgnnextoid=ce4ea2759afc8210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=ce4ea2759afc8210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=detall&contentid=26efd1054efc8210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD>.

⁴⁷ www.gencat.cat/canviclimatic.

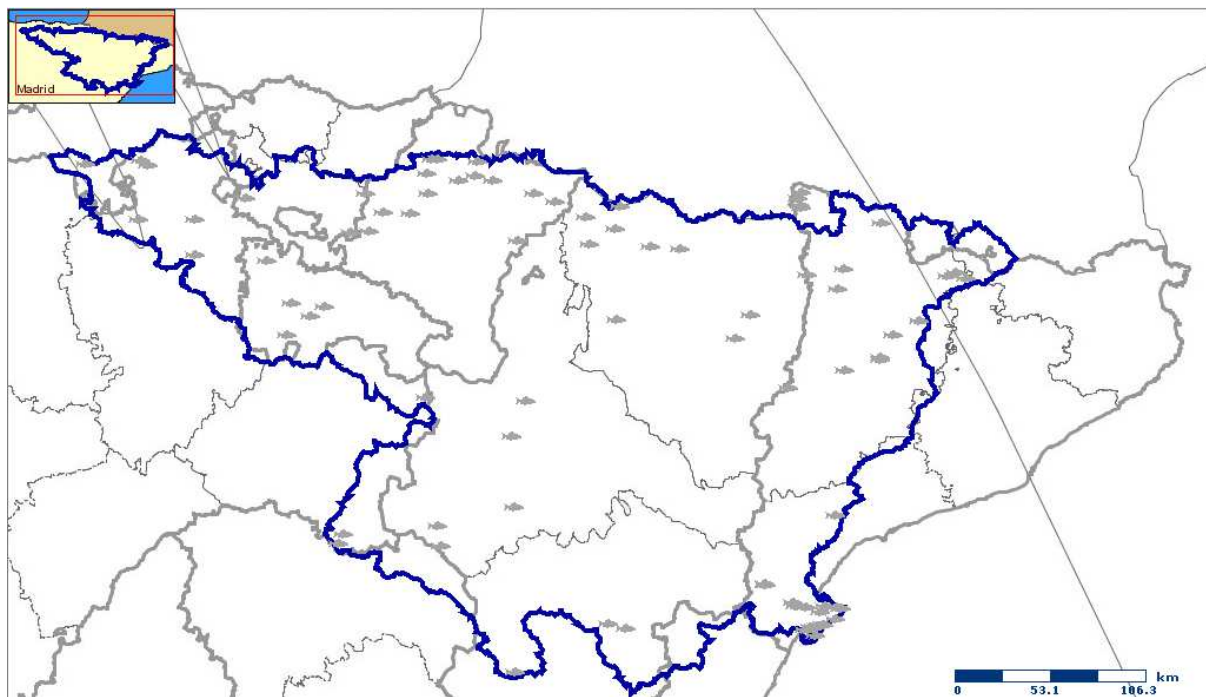


Figura 60 : Mapa de zonas de acuicultura en la cuenca del Ebro, delimitada aquí por la línea azul (Fuente: GIS C.H. Ebro).

3.3. Biodiversidad y ecosistemas

El impacto del cambio climático en los **ecosistemas y la biodiversidad** resulta en un conjunto de fenómenos complejos que afectan a individuos, poblaciones, hábitats y ecosistemas que interactúan unos con otros (IPCC, 2002).

Los ecosistemas y la biodiversidad se encuentran expuestos a una **combinación de factores climáticos**, ante la que cada especie o cada hábitat presenta una sensibilidad distinta. Los factores climáticos especialmente influyentes son:

- incremento de la temperatura media y de los valores extremos;
- la modificación de los regímenes hidrológicos y de precipitación;
- el aumento de la variabilidad climática interanual;
- las altas temperaturas y el aumento del riesgo de sequía;
- el aumento del riesgo de incendios

Cada una de las especies y cada uno de los hábitats posee también una **capacidad de adaptación** que les permiten responder a la modificación de estos factores. Así, dos de las tres respuestas de los ecosistemas frente al cambio climático constituyen estrategias de adaptación. Estas respuestas de los ecosistemas vienen representadas en la **Figura 61**.

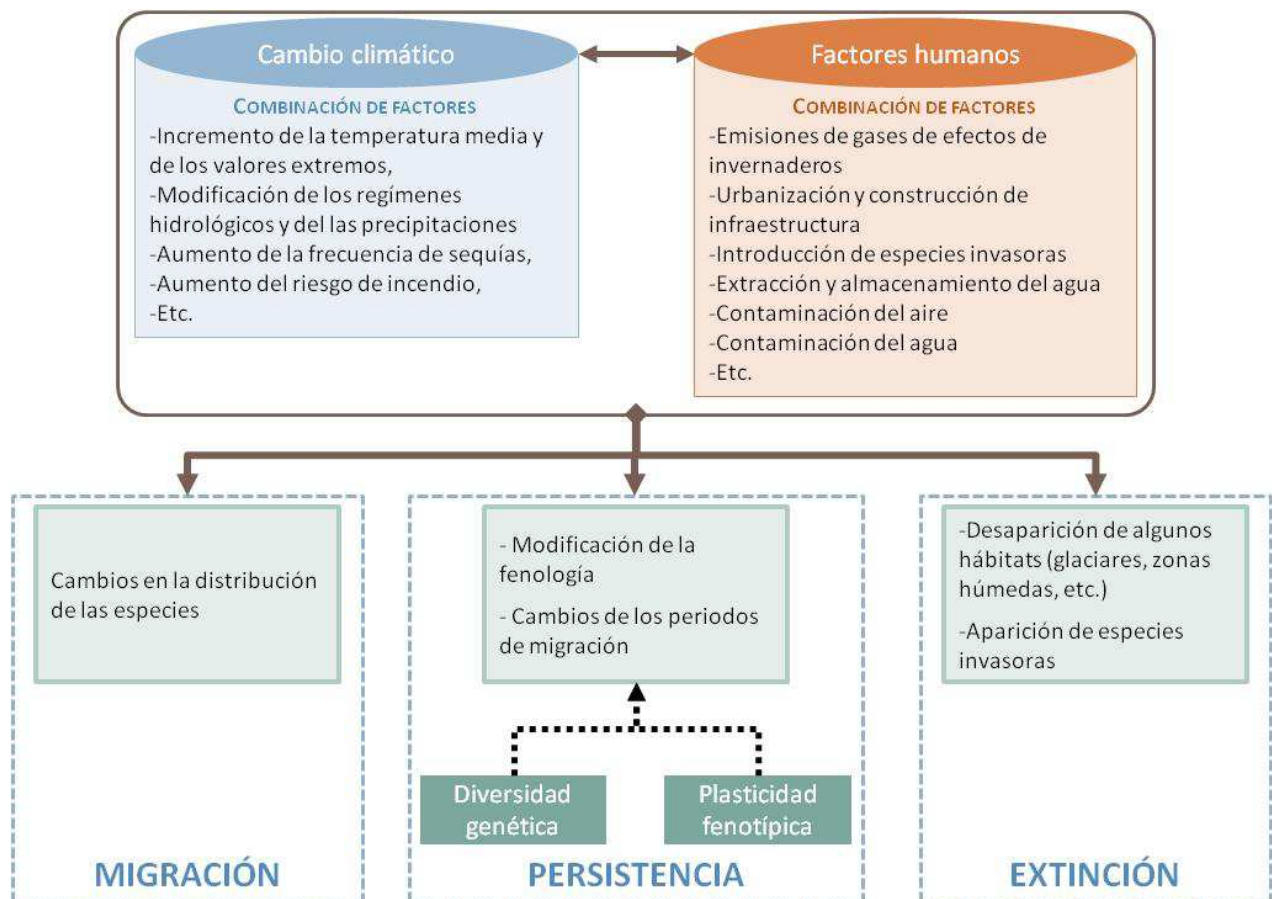


Figura 61 : Respuestas de especies animales y vegetales al cambio climático (ACTeon, 2011, según de Jump y Peñuelas, 2005, Aitken et al., 2008).

3.3.1. La migración y la persistencia de especies: dos estrategias de adaptación al cambio climático

- La **migración** latitudinal o altitudinal a zonas más frías, en respuesta al incremento de la temperatura

Durante el siglo xx se ha observado una ascensión de tres metros por año de algunas especies de plantas pirenaicas (Lenoir et al., 2008). En la **vertiente sur**, el haya ha subido 70 metros en 50 años (Peñuelas y Boada, 2003). Lurgi et al., (2012) también demuestran una migración diferencial según la masa corporal de los vertebrados del Pirineo en los últimos años. Según la ley bioclimática de Hopkins, un aumento de la temperatura de 3 °C provocaría una elevación generalizada de los pisos de vegetación de unos 500 metros, aunque las diferentes especies muestran capacidades de migración muy distintas. En su artículo, Gottfried et al. (2012) indican que “**las plantas amantes del calor** (especies termófilas) están desplazando a las especies alpinas más adaptadas al frío, debido al

aumento de las temperaturas causado por el calentamiento global". El estudio⁴⁸ utilizó, entre otras, parcelas de estudio en el Pirineo central indicados en la **Figura 62**.

- **La persistencia**, es decir, el resultado de la capacidad de adaptación a las nuevas condiciones climáticas

La persistencia de las especies animales y vegetales está determinada por su diversidad genética y su plasticidad fenotípica, aunque la intervención humana puede también influir en estas características, ya sea de forma positiva, por ejemplo mediante la gestión forestal y la conservación de la diversidad genética de los árboles (CRGF, 2008), o negativa, a través de la presión de la agricultura intensiva o la urbanización, etc.

La persistencia de una especie puede manifestarse con cambios fisiológicos, fenológicos o con cambios en los períodos migratorios. Por ejemplo, el oso podría dejar de efectuar hibernaciones tan prolongadas debido al aumento de la temperatura, evento que ya se ha observado en algún caso; pero, tal vez, la perdiz nival (*Lagopus muta*) no podrá adaptar el cambio de coloración de su plumaje a la disminución de cobertura nival en primavera.

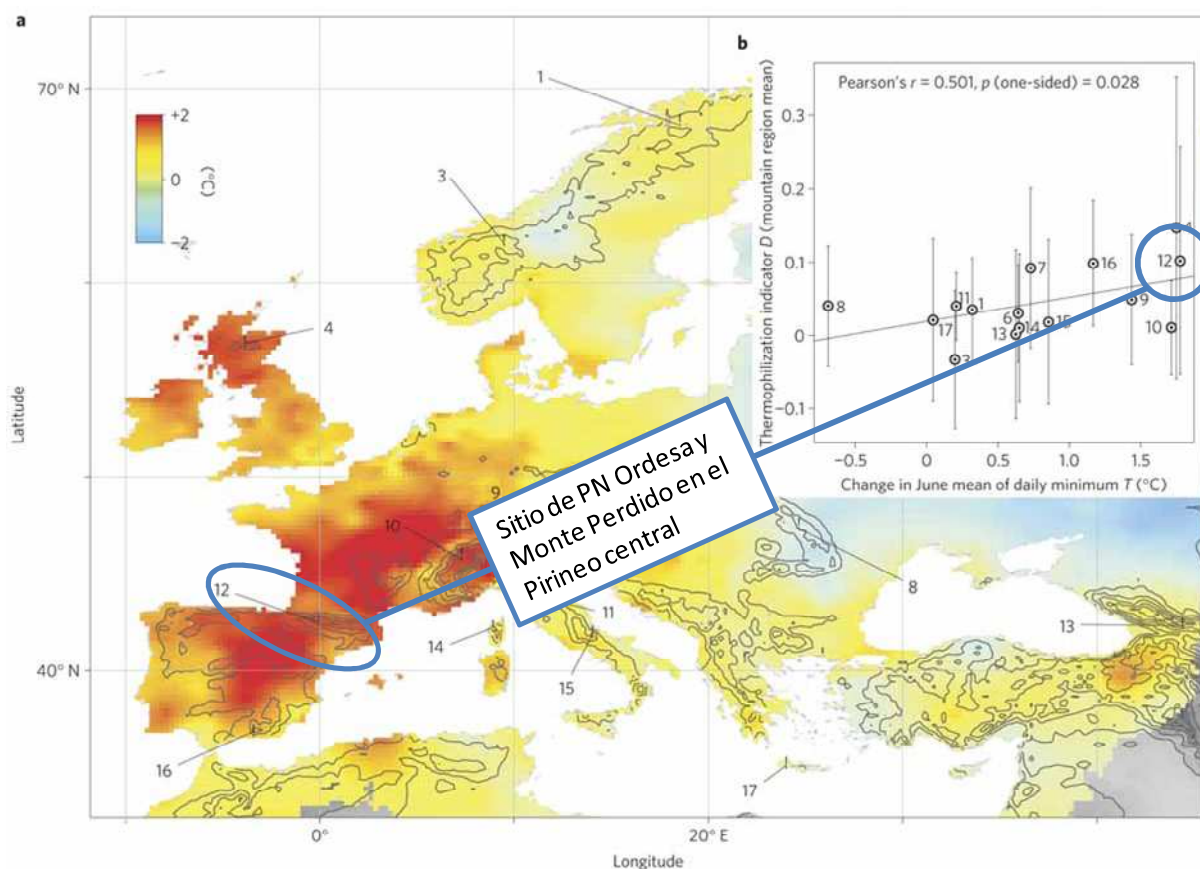


Figura 62 : El indicador de termofilización de las regiones de montaña se correlaciona con el cambio de temperatura. a) Cambio en la temperatura diaria media en el mes de junio calculado como la diferencia de

⁴⁸ El Gobierno de Aragón y el Instituto Pirenaico de Ecología del CSIC, en el marco del proyecto de investigación internacional denominado GLORIA (*Global Observation Research Initiative In Alpine Environments*), han establecido dos áreas de seguimiento en una zona piloto sobre suelo calizo, PN Ordesa y Monte Perdido, y otra sobre suelo silíceo, Valles de Tena y Bielsa.

los promedios de dos periodos (2003–2007) y (1996–2000). b) Correlación del indicador de termofilización de las regiones de montaña con los cambios de la temperatura diaria mínima media en el mes de junio (antes del año 2008 – antes del año 2001) en las regiones de estudio indicadas en el mapa a). (Fuente: Adaptado de Gottfried et al., 2012).

Además, cambios en la distribución altitudinal de algunas especies podría dar lugar a cambios en las interacciones entre las especies coexistentes. Esto dará lugar nuevas comunidades con nuevos ensamblajes de especies producto de estos cambios de distribución y los efectos, directos e indirectos, de éstos en la red de interacciones (Lurgi et al. 2012a, Lurgi et al. 2012b).

3.3.2. La extinción de ciertas especies

El tercer tipo de respuesta al cambio climático es la **extinción**, es decir, la desaparición de las especies y no constituye una estrategia de adaptación. El cambio climático podría aumentar el riesgo de pérdida de especies y por lo tanto agravar la pérdida de la biodiversidad en los Pirineos. Un aumento de la temperatura demasiado rápido podría afectar a las especies sensibles al calor y destruir algunos hábitats, tales como glaciares, humedales, o los bosques de pino y haya, hogar de muchas especies, incluyendo algunas endémicas de los Pirineos (SGAR Midi-Pyrénées, 2011).

Por otra parte, el **aumento del riesgo de incendios** podría suponer la destrucción de gran cantidad de hectáreas de bosques, junto con la fauna que albergan. Además, el cambio climático podría llevar a una **desincronización de los ciclos biológicos** interdependientes (por ejemplo, relaciones depredador/presa) (Région Midi-Pyrénées, 2010) que pondría en peligro la supervivencia de algunas especies (ciertos depredadores, especies auto-incompatibles de plantas, etc.). La aparición de **nuevas especies invasoras** constituiría una amenaza más para los hábitats y la flora y fauna pirenaica.

El riesgo de extinción amenaza sobre todo a las **especies de montaña y endémicas** de los Pirineos, que son más vulnerables porque su adaptación está más limitada por las condiciones específicas del macizo. Un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente de 2009 pone de manifiesto la gran vulnerabilidad de las especies endémicas de montaña. Según el informe, el 60% de las especies vegetales de montaña estarán en peligro de extinción a finales del siglo **xxi** (EEA, 2009). Existen, también, algunos estudios específicos sobre otras especies. Por ejemplo, se evaluó el impacto del cambio climático sobre las mariposas y aves en el Pirineo catalán. Asimismo, se pueden mencionar algunos trabajos en colaboración con el Centre de estudios de la nieve y la montaña de Andorra (CENMA-IEA). En el aragonés hay seguimientos científicos sobre el topillo nival (*Chionomys nivalis*), anfibios y lepidópteros

En cuanto a los ecosistemas y la biodiversidad, conviene subrayar la importancia de **las presiones antrópicas** sobre los medios naturales (véase **Figura 61**). En efecto, por un lado influyen fuertemente en la sensibilidad y la capacidad de adaptación al cambio climático de estos ecosistemas,⁴⁹ y, por otro lado, pueden representar una amenaza aún más importante que los efectos del cambio climático.

Además de las respuestas directas de las especies al cambio climático, el cambio de los usos del suelo que sufre la cordillera puede tener impactos todavía mayores o sinérgicos sobre la biodiversidad natural. Preguntas todavía no contestadas incluyen, por ejemplo, “qué pasará si desaparece

⁴⁹ Fuente : http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0102/impacts/impacts.htm.

totalmente la ganadería de alta montaña?”, o bien, “cómo se gestionarán los espacios protegidos a los cambios de distribución de las especies ?”.

3.4. El turismo

El turismo es un sector importante para el territorio pirenaico que está asociado al desarrollo de infraestructuras y actividades específicas (remontes, hoteles, campings, etc.) y presta apoyo a las actividades locales (comercio, transporte, gastronomía, cultura, etc.).

La actividad turística se sustenta en la **elección del destino** por los turistas, que pueden provenir de las regiones vecinas de Francia y España o de otros países europeos. Esta elección se basa en una combinación de factores, incluyendo factores climáticos, que puede –dependiendo de las actividades y áreas geográficas– constituir una variable importante (Rapport Interministériel, 2009).⁵⁰ Si los impactos del cambio climático en la elección de los destinos turísticos son relativamente poco conocidos, varios estudios permiten identificar ciertos impactos posibles para los Pirineos.

Los impactos del cambio climático sobre el sector turístico pirenaico se refieren tanto a la **evolución de los atractivos turísticos de la región** como a un cambio en el atractivo de otras zonas turísticas, implicando una **evolución global de los flujos turísticos**. Los principales impactos del cambio climático que pueden alterar estos parámetros se muestran en el diagrama siguiente (Figura 63), realizado a partir del informe ONERC sobre los costes del cambio climático (ONERC, 2010), con una adaptación a la especificidad de los Pirineos.

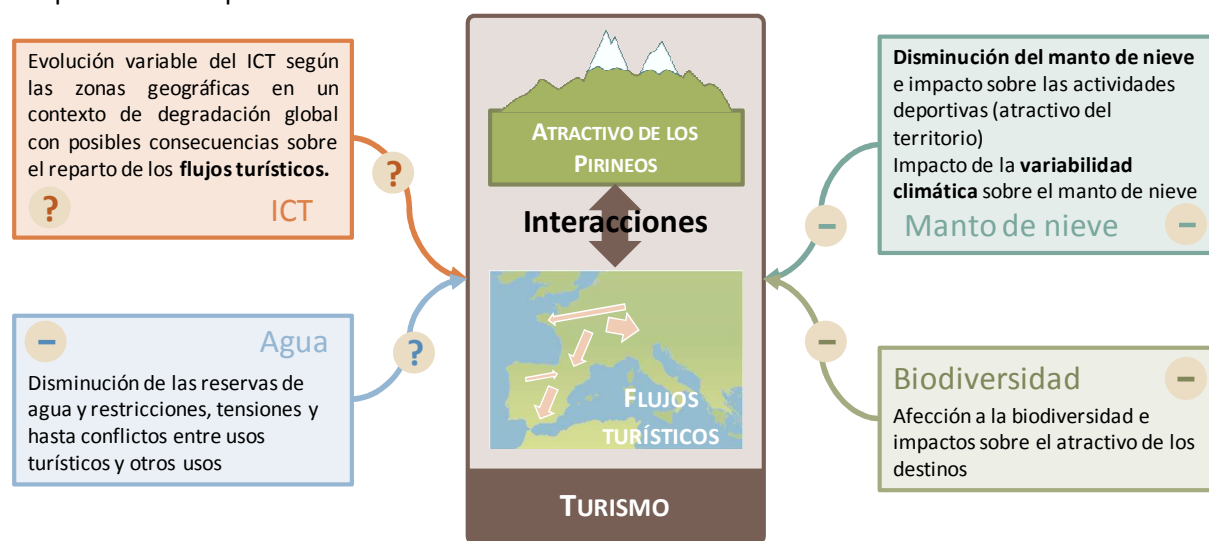


Figura 63 : Los impactos del cambio climático en el sector turístico (ACTeon, 2011).

⁵⁰ Rapport interministériel (2009), Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France - rapport de la seconde phase : Partie III - Rapport des groupes sectoriels, 231 pp.

3.4.1. El confort térmico: evolución del índice de confort turístico (ICT)

Varios estudios han tratado de comprender el impacto del clima sobre la elección del destino, teniendo en cuenta de forma particular el concepto de confort térmico. Entre ellos destaca la construcción del índice de confort turístico (ICT),⁵¹ concebido originalmente por Mieczkowski (1985) como una medida compuesta para evaluar de forma sistemática los elementos climáticos más relevantes para la calidad de la experiencia turística del turista medio. Este índice incluye seis variables climáticas mensuales (temperaturas máximas y medias, humedad relativa, precipitación, insolación, velocidad del viento) y refleja el confort climático de una determinada zona geográfica para la práctica de actividades al aire libre. Aunque este índice ha demostrado su relevancia en ciertas áreas geográficas, su uso en el futuro debe ser interpretado con cautela, especialmente porque implica la suposición de que los criterios de confort térmico permanecen constantes. En caso de un aumento importante de las temperaturas en verano, el índice de las zonas de altura podría evolucionar de forma más favorable que otras áreas, como se lo muestran las simulaciones de Viner y Amelung (2003) y la Figura 64 (JRC PESETA project).

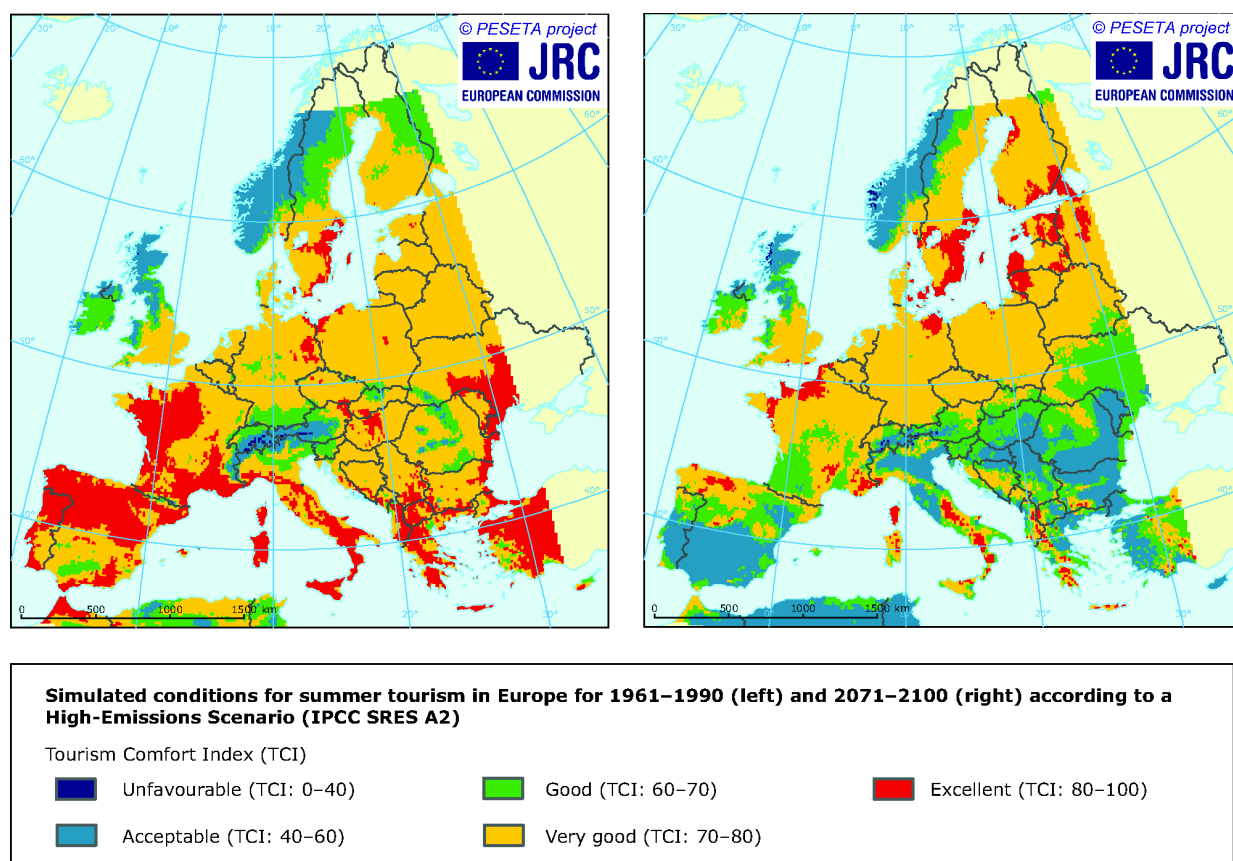


Figura 64 : Índice de confort turístico (ICT) de verano en Europa: tendencias observadas (izquierda; 1961-1990) y proyectadas según el escenario de emisiones A2 (derecha; 2071-2100) (Fuente: JRC PESETA project: <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Tourism.html>).

⁵¹ Mieczkowski, Z. (1985). "The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism." *Le géographe canadien* XXIX(3): pp. 220-233.

3.4.2. La evolución del manto de nieve

Dada la importancia de la cuestión para el sector turístico pirenaico, el impacto del cambio climático sobre el manto de nieve ha sido objeto de varios estudios. Actualmente, los operadores se enfrentan a una variabilidad interanual del clima que hace que las actividades y los ingresos turísticos sean poco previsibles.

Los deportes de invierno dependen mucho de las condiciones climáticas y son muy sensibles a su variabilidad interanual. En el contexto de cambio climático, se espera que estas condiciones sean cada vez menos favorables a su práctica, particularmente dada la reducción en la permanencia del manto de nieve.

3.4.2.1. Reducción en la permanencia del manto de nieve

El proyecto SCAMPEI⁵² que abarcó a Francia, Andorra y algunas zonas adyacentes modelizó el manto de nieve en los Pirineos y divulgó sus datos. Este es el proyecto que ofrece la información más completa en la actualidad para el macizo y sus principales conclusiones pueden extenderse a la vertiente sur de los Pirineos.

El gráfico siguiente ilustra las implicaciones de la reducción del número de días con manto de nieve⁵³ para tres zonas de los Pirineos. De acuerdo con los resultados del proyecto SCAMPEI, en el año 2030 el manto de nieve a 2.100 metros correspondería aproximadamente a la nieve actual a 1.800 metros. Para el año 2080 se esperan reducciones drásticas en las tres áreas, por lo menos hasta los 2.100 metros.

⁵² Proyecto SCAMPEI: Escenarios climáticos adaptados a las zonas de montaña: Fenómenos extremos, cobertura nival e incertidumbres (Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes).

⁵³ Este indicador representa el número de días durante los cuales el espesor del manto nivoso es superior a 1 cm durante un año.

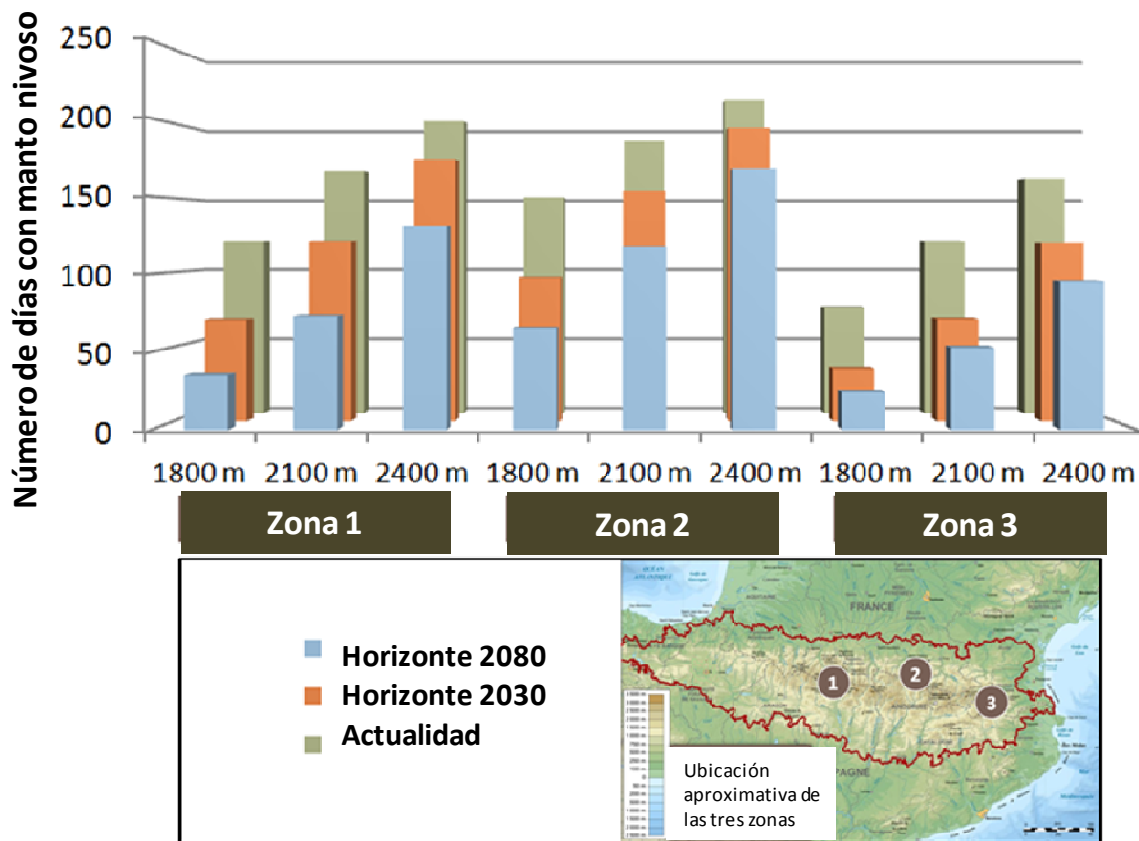


Figura 65 : Evolución del número de días con manto de nieve a 1.800, 2.100 y 2.400 metros de altura para tres zonas pirenaicas (Fuente : ACTeon, 2012 a partir de los datos del proyecto SCAMPEI).

Con el fin de facilitar algunas indicaciones cuantitativas sobre estas simulaciones, esta reducción prevé, en el marco del escenario A1B (intermedio), las evoluciones siguientes respecto al tiempo presente:

- **A 1.800 metros:** la presencia de manto de nieve se reduce entre 40 y 55 días en el horizonte 2030 (hasta un 50% respecto a la actualidad); entre 50 y 85 días en el horizonte 2080 (hasta un 70% respecto a la actualidad)
- **A 2.100 metros:** la presencia de manto de nieve se reduce entre 35 y 50 días en el horizonte 2030 (hasta un 40% respecto a la actualidad); entre 70 y 100 días en el horizonte 2080 (hasta un 55% respecto a la actualidad)
- **A 2.400 metros:** la presencia de manto de nieve se reduce entre 25 y 45 días en el horizonte 2030 (hasta un 25% respecto a la actualidad); entre 50 y 75 días en el horizonte 2080 (hasta un 40% respecto la a actualidad)

Estos cambios se deben tanto a una reducción de las precipitaciones sólidas como a temperaturas menos favorables a la permanencia del manto de nieve.

Recuadro 7 : Nota metodológica sobre el proyecto SCAMPEI: Escenarios climáticos adaptados a las zonas de montaña: Fenómenos extremos, cobertura nival e incertidumbres (*Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes*).

Estos datos se derivan de la explotación de los resultados del proyecto SCAMPEI en tres zonas del centro y el oeste de los Pirineos ("Macizo fronterizo Bigorre", "Haut-Couserans" y "Conflent"). Durante este proyecto, las simulaciones climáticas se realizaron a partir de modelos climáticos ALADIN, LMDZ y MAR para el escenario de emisiones A1B (intermedio). El período de referencia es la década de 1970. Las variables meteorológicas diarias de estos modelos fueron utilizadas para simulaciones de los modelos de nieve ISBA-ES.

Estos resultados son corroborados por otras investigaciones. A 1.500 m, el período de cobertura de nieve se podrá reducir alrededor de un mes para un aumento local de la temperatura de 1,8 °C (Etchevers, 2002). Se espera que las estaciones de media montaña serán las más afectadas y podrán experimentar una reducción en el volumen de ventas de alrededor del 25%. Por encima de los 2.500 metros, estos efectos podrían ser menos evidentes (Clarimont, 2008) aunque esta altura corresponde generalmente a los límites de altura de las estaciones de esquí más elevadas.

Según la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2009) aún resulta difícil estimar un incremento de la frecuencia de años con nevadas escasas, con las implicaciones que esto puede tener sobre el caudal de los ríos. El mismo estudio estima que *“si en los Pirineos la cota «estable» de nieve se sitúa hoy en torno a los 1.800 m, en el futuro fácilmente podría rebasar los 2.200 m”*. Esto implicaría una reducción de la superficie nevada de más del 50%.

3.4.2.2. La sensibilidad de las estaciones de esquí pirenaicas

Con el fin de analizar los impactos del cambio climático en las estaciones de esquí pirenaicas, la Figura 66 ofrece una representación de la altura de 34 estaciones⁵⁴ de esquí según su importancia (representada por el indicador “número de forfaits” o días de esquí (vendidos durante la temporada 2010-2011))

⁵⁴ El gráfico se elaboró con los datos disponibles y por lo tanto no representa a todas las estaciones (en particular, carece de algunas estaciones de esquí nórdico).

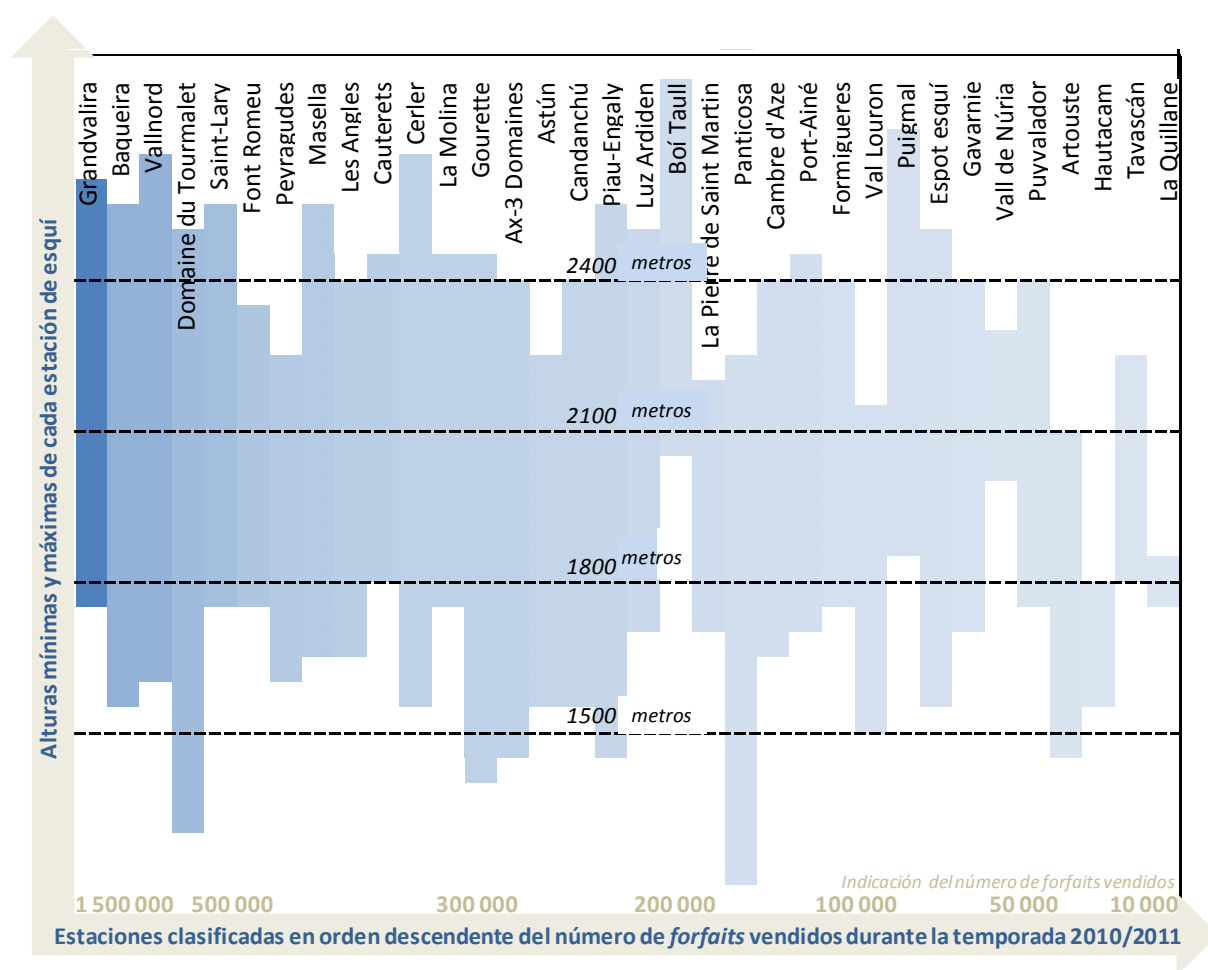


Figura 66 : Esquema de la altura de las estaciones de esquí según su concurrencia (Fuente : ACTeon, 2012).

Las interpretaciones del esquema deben tener en cuenta los límites de la gráfica (la representación no refleja la morfología de la zona de esquí que puede, por ejemplo, concentrarse principalmente en las cotas superiores) y el hecho de que la nieve artificial puede en parte suplantar a la nieve de origen natural (si el tiempo lo permite). Una indicación geográfica de las estaciones de esquí (vertiente sur o norte, Pirineo occidental, central u oriental) también refinaría el análisis. Por último, la duración de la permanencia del manto de nieve por sí sola no permite explicar la adecuación del período con manto de nieve con los períodos de concurrencia (por ejemplo, la importancia de las fiestas navideñas y de Año Nuevo, o de las vacaciones de febrero).

La figura resalta la heterogeneidad de situaciones dependiendo de las estaciones. La mayoría de las estaciones importantes tienen una gran superficie que alcanza grandes alturas en que los impactos del cambio climático se resentirían con menor grado (altitud máxima sobre 2400 metros). Sin embargo, algunas estaciones se distinguen por altitudes máximas inferiores.

Para las estaciones pequeñas y medianas, la situación es más variable y algunas estaciones no poseen superficies por encima de los 2.100 metros (o solo muy poco). Estas estaciones deberían ser las más rápidamente afectadas por el cambio climático.

Este gráfico tampoco tiene en cuenta las estaciones de esquí nórdico, a veces situadas a menor altitud.

3.4.2.3. Conclusiones

Un escenario de reducción de la cobertura y permanencia de nieve puede conllevar una pérdida en la actividad socioeconómica del macizo, así como un aumento en los costes operativos de las estaciones de esquí debido al uso más frecuente de la producción de nieve (cañones de nieve), particularmente en las partes bajas de las estaciones. De hecho, en Cataluña, de las 10 estaciones de esquí alpino, cinco ya han sido intervenidas por la Generalitat de Catalunya debido a las pérdidas económicas y la amenaza de cierre de estos centros turístico-deportivos.

Aunque la renovación de los equipos permite reducir este impacto, el coste de inversión y de operación de los cañones de nieve sigue siendo alto. El coste de producir 1m^3 de nieve a partir de cañones oscila entre 0,81 y 0,93 €, dependiendo de la tecnología utilizada y el acceso al recurso hídrico. En los Pirineos franceses, durante el invierno 2006-2007, el precio más bajo de generación de 1m^3 de nieve fue de 0,64 € en Luz-Ardiden, que adquiere el agua directamente de un río, mientras que en Saint-Lary, que obtiene el agua de un embalse hidroeléctrico, fue de 1,5 € (Clarimont, 2008).

Hay que tener en cuenta que la producción de nieve constituye potencialmente una presión adicional sobre los recursos hídricos:⁵⁵ aproximadamente 1m^3 de agua para generar 2m^3 de nieve, en teoría, aunque esta relación varía según las condiciones climáticas (Clarimont, 2008). Por otra parte, cabe señalar que la producción de nieve requiere de la construcción de infraestructuras (embalses y estanques) para recoger y almacenar agua, lo que provoca un impacto ambiental significativo adicional en las altas montañas en zonas que son, generalmente, espacios de interés natural.

Es importante resaltar que, ya sea para cumplir con la reglamentación o por iniciativa propia, la mayor parte de las estaciones de esquí destinan recursos técnicos y económicos a la reducción de sus impactos ambientales y al manejo de sus costes energéticos. Algunas están comprometidas en la implementación de sistemas de gestión ambiental y de eficiencia energética.

Pocos estudios permiten delimitar cuantitativamente la relación entre los impactos del cambio climático y el turismo. El proyecto "*Influencia del cambio climático en el turismo de invierno*", que reúne a diferentes socios y es dirigido por el Observatorio de Sostenibilidad de Andorra (OBSA, www.nivopyr.ad 2011-2012), apunta a contribuir a este esfuerzo. Este proyecto permitirá conocer mejor las necesidades de nieve de los complejos deportivos invernales y evaluar mejor el impacto del cambio de parámetros físicos sobre el turismo de los Pirineos. Un estudio lanzado por la Région Midi-Pyrénées en 2012 también podría aportar datos para el sector.

3.4.3. La disponibilidad de los recursos hídricos

El **cambio en la disponibilidad de los recursos hídricos** también es un factor que puede afectar directa o indirectamente al turismo. Según el informe sobre la evaluación de los costes de los impactos del cambio climático y la adaptación en Francia del Grupo de Trabajo "Turismo" (Rapport interministériel, 2009) algunas áreas se verán afectadas por una reducción de las reservas de agua y por restricciones, tensiones e incluso conflictos entre el uso turístico y otros usos del recurso. No

⁵⁵ Según las situaciones, la presión no sólo puede ser únicamente cuantitativa, dado que parte del agua retorna al medio, sino también cualitativa. En algunos casos puede realizarse una transferencia de una cuenca a otra.

obstante, es difícil acotar las consecuencias de este impacto para los Pirineos por falta de estudios desarrollados específicamente para esta zona.

3.4.4. Biodiversidad y paisajes

El patrimonio natural contribuye al atractivo de los Pirineos, sobre todo para el turismo fuera de la temporada invernal. Sin embargo, los servicios prestados por los ecosistemas y la biodiversidad (incluyendo las funciones recreativas y de uso y disfrute del paisaje) podrían disminuir con la pérdida de biodiversidad (ONERC, 2009).

El desconocimiento respecto a estos impactos indirectos en los Pirineos sigue siendo importante y no existen estudios específicos en este ámbito.

3.4.5. Agroturismo

El sector agrícola también influye en la elección del destino turístico, especialmente mediante la elaboración de productos locales (Dusbois y Cerón, 2006). Como se mencionó en la sección sobre la agricultura en los Pirineos, el cambio climático podría constituir una amenaza al mantenimiento de la producción local. Este impacto sobre la agricultura del macizo podría tener consecuencias indirectas sobre el agroturismo de los Pirineos. En cualquier caso, las incertidumbres sobre esos impactos son importantes, dada su interacción con otros territorios.

3.5. Gestión del agua

El cambio climático no sólo podría tener impactos significativos en el **régimen hídrico** de los Pirineos, es decir, sobre los recursos disponibles, sino también sobre ciertas **extracciones** y por lo tanto sobre la gestión del agua en general. A estos se suman los impactos sobre **los glaciares** —que desarrollan un papel importante en la formación de los caudales de ciertos cursos de agua en periodos de deshielo— y los impactos sobre **la calidad del agua**, en particular en periodos de estiaje. Por último, también se considera el efecto sobre los **riesgos de inundación**.

Dada la importancia del reto para los Pirineos y las zonas más pobladas que se encuentran aguas abajo, existen varios estudios que analizan los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en las principales cuencas hidrográficas que se originan en los Pirineos, como por ejemplo, el informe Agua y Cambio climático, Diagnóstico de los impactos previstos en Cataluña,⁵⁶ elaborado el año 2009 por la Agència Catalana de l'Aigua (ACA) o el trabajo preliminar de Miquel (2012). Sin embargo, los resultados pueden variar entre los distintos estudios existentes, en función de los escenarios de cambio climático y de la selección de los modelos hidrológicos. Los principales resultados de estos estudios se resumen a continuación con el fin de presentar las tendencias de los impactos del cambio climático sobre el sistema hidrológico.

Los factores climáticos que más afectan al sistema de "oferta y demanda de agua" y sus consecuencias se ilustran en el diagrama simplificado de la Figura 67. Los mecanismos involucrados

⁵⁶ http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/llibre_aigua_canvi_climatic.pdf.

son en realidad mucho más complejos que lo que permite representar la ilustración, que omite por ejemplo la variabilidad estacional de los impactos del cambio climático y otros factores para que sea más comprensible.

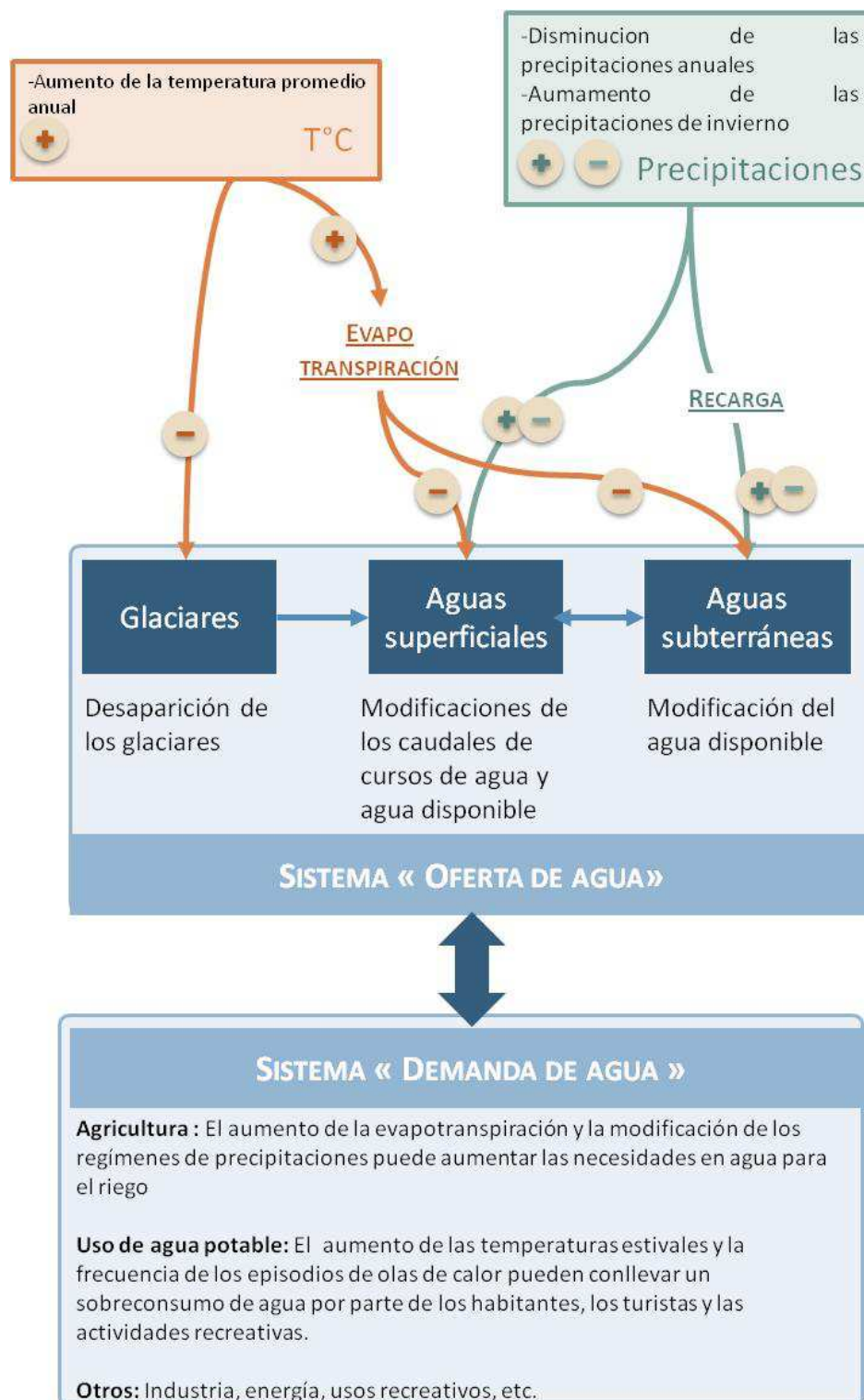


Figura 67 : Principales factores de cambio climático que influyen sobre la oferta y la demanda de agua
(Fuente: ACTeon (2011), según Brisson y Levraut (2010), Redaud et al., 2002).

3.5.1. Los impactos físicos e hidrológicos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y los riesgos de inundación

En la **vertiente sur**, se prevé que uno de los principales impactos del cambio climático afecte al funcionamiento de la cuenca hidrográfica del Ebro. En la cuenca del Ebro se prevé una reducción media de los recursos hídricos por efecto del cambio climático del 5% en 2027 (España, 2008). El mismo valor, a nivel de análisis, fue incorporado en el Plan de Gestión de Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña 2010.⁵⁷ Estudios más recientes estiman un descenso del 9% para el año 2040 (MARM-CEDEX, 2011). Dada la importante variabilidad de las condiciones climáticas este porcentaje de reducción podría aumentar de forma significativa en las zonas más áridas de la cuenca (CHE, 2005).

Puesto que los Pirineos contribuyen casi con un 70% del caudal total, es posible que dicha disminución sea aún mayor en algunas zonas del Ebro (CHE, 2005). El mismo estudio estima para el período 2070-2100 que la cuenca del Ebro se enfrentará a los siguientes cambios:

- Una disminución de la precipitaciones medias de 15%.
- Un aumento de la temperatura de 28%.
- Una disminución de la escorrentía superficial de 45%.
- Una reducción del caudal total del 18%.
- Una disminución de 17% del flujo hipodérmico.

Tabla 7 : Impactos en la cuenca del Ebro (reducciones) de los componentes hidrológicos para distintos periodos de simulación (Fuente: CHE, 2005)

Componente hidrológico	2010-2040	2040-2070	2070-2100
Caudal total	-12%	-21%	-19%
Escorrentía superficial	-17%	-25%	-19%
Flujo hipodérmico	-9%	-18%	-18%
Flujo subterráneo	-13%	-23%	-20%

Los impactos del cambio climático sobre el recurso hídrico podrían ser más intensos en verano que en invierno. De hecho se espera un adelanto de hasta un mes de la época de estiaje, acompañado de un adelanto también de la época de deshielo. En el caso de los Pirineos, estos efectos podrían ser menores por la influencia del clima de alta montaña.

El Pirineo español constituye una de las principales fuentes de recursos hídricos de la Península Ibérica, por lo que las precipitaciones que registra esta cadena montañosa trascienden en importancia a su área geográfica, dependiendo de los recursos hídricos generados en la región pirenaica los abastecimientos de la mayor parte de la cuenca del Ebro, tanto de regadío como urbanos (Vicente-Serrano et al., 2007). El mapa de la Figura 68 ilustra el origen y el volumen de la aportación específica en la cuenca del Ebro, estimada a partir de estaciones de aforo.

⁵⁷

Los ríos catalanes Ter y Llobregat merecen una mención especial, puesto que abastecen a una población de más de 5 millones de personas que concentra el 80% de la actividad económica de Cataluña. Una sequía simultánea en las cabeceras pirenaicas de estos dos ríos podría llegar a suponer una pérdida económica del 2,8% del PIB catalán (ESCACC 2013-2020, Oficina Catalana del Canvi Climàtic).

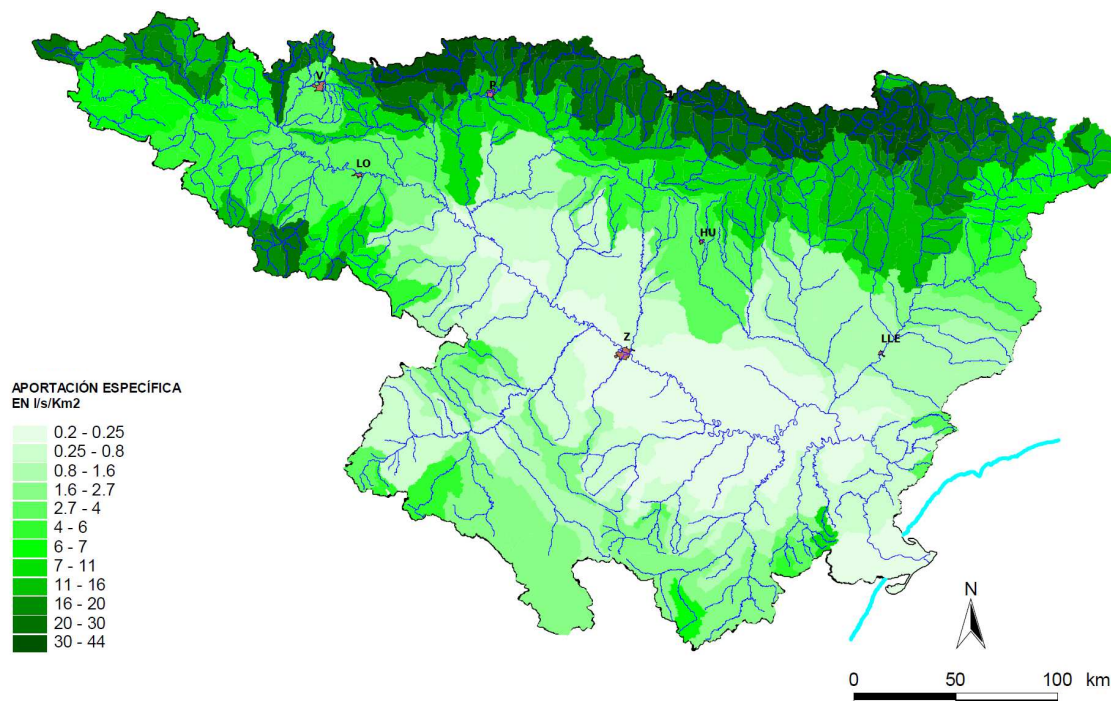


Figura 68 : Distribución de la aportación específica de la cuenca del Ebro (Fuente: ISA del Plan Especial de Actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la C.H. del Ebro, 2007).

Por otro lado, una mayor frecuencia de eventos extremos y una variabilidad mayor de las precipitaciones podrían generar un aumento del riesgo de inundaciones, especialmente peligrosas en las zonas de montaña y la cuenca mediterránea. Tal riesgo podría ser aún mayor en época de deshielo, que puede producirse de forma más abrupta debido al incremento de la temperatura, generando desbordamientos repentinos en los cursos fluviales en la cuenca.



Figura 69 : Zonas inundables en la cuenca del Ebro, según periodos de retorno de 10 años (Zonas con alta probabilidad), 50 años (Zonas frecuentes) y 100 años (Zonas con probabilidad media u ocasional (Fuente: MARM)).

Sobre la **zona francesa**, una investigación llevada a cabo por el CEMAGREF (actual IRSTEA) pone de manifiesto la alta vulnerabilidad de los Pirineos frente a los fenómenos hidrológicos extremos, que experimentarían impactos de mayor magnitud que los Alpes debido a su menor altitud (ver Figura 70).

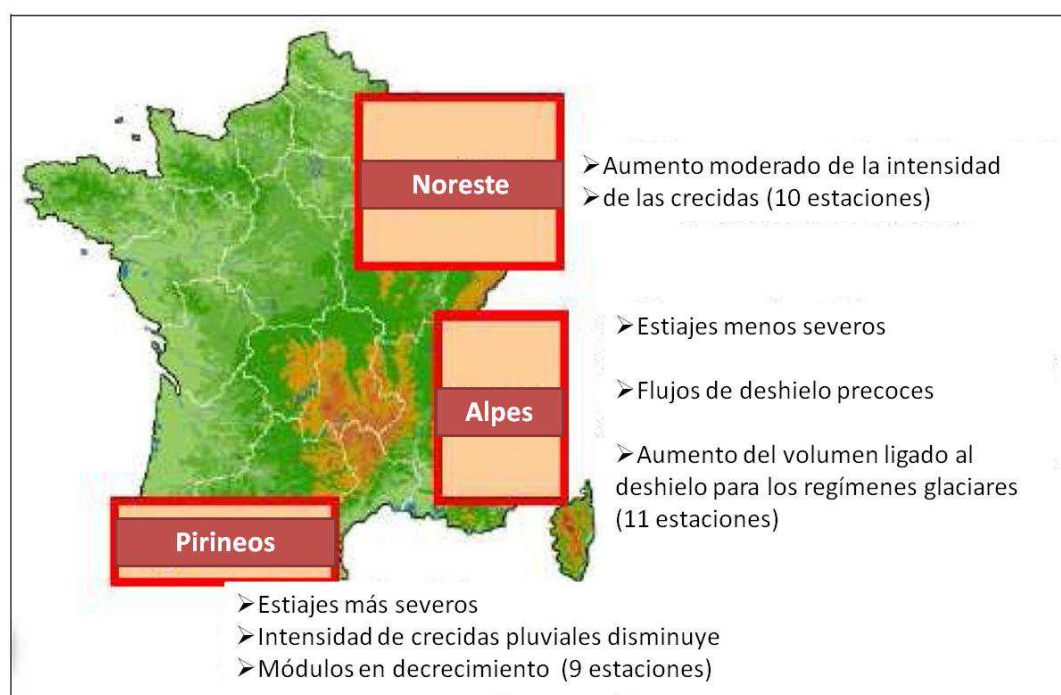


Figura 70 : Evolución de los fenómenos hidrológicos extremos en tres regiones hidro-climáticas francesas (Fuente: traducido de Duquesne, 2008 según CEMAGREF Lyon, U.R. Hydrologie – Hydraulique).

El aumento de la temperatura podría causar el deshielo y la transformación de precipitaciones de nieve en forma de lluvia, lo que afectaría significativamente a la escorrentía y al almacenamiento de agua en altura. Esto también afectará a las **zonas bajas** y se espera que disminuya el caudal medio de los ríos. Según el mismo estudio, se reducirán los niveles de estiaje para la cuenca del Adur-Garona, aunque de acuerdo con un estudio realizado por el Ministerio de Ecología y Desarrollo Sostenible francés en 2002, el caudal bajo en la cuenca del Adur-Garona podría ser inferior (Redaud et al., 2002).

Météo-France ha simulado el impacto del calentamiento global sobre el régimen hidrológico del Ariège en Foix. Esta simulación muestra un pico de deshielo reducido, e incluso permite predecir la desaparición de su carácter nival (ver Figura 71). Estas investigaciones deben considerarse con cuidado dado que el Ariège es un curso fluvial muy modificado, aunque Miquel (2012) en su revisión de los datos basados en tendencias de los caudales entre 1950 y 2010 llega a la misma conclusión para el escenario 2021-2050.

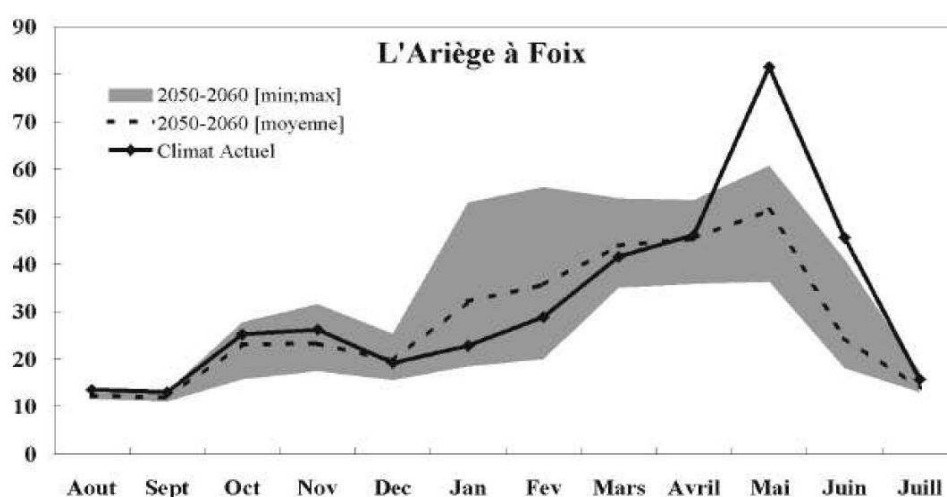


Figura 71 : Impacto potencial del calentamiento global sobre el régimen hidrológico del Ariège en m³/s
(Fuente: Caballero et Noilhan, rapport pour Météo France, 2003).

3.5.2. Los impactos del cambio climático sobre la demanda potencial de agua

La modificación en el régimen hidrológico podría generar mayores conflictos relativos al uso del agua, ya presentes en la cuenca del Adur-Garona, del Ebro y del Ter-Llobregat. Esto podría ser exacerbado por otros factores, tales como el crecimiento demográfico esperado o el incremento en la superficie de regadío, susceptibles de incrementar la demanda para ciertos usos. Es posible que la disponibilidad de agua no sea suficiente para satisfacer las crecientes necesidades de los diferentes sectores en un contexto de aumento de la temperatura, especialmente en los siguientes casos:

- **El sector agrícola**

Tal como se presenta en la sección dedicada a la agricultura, las necesidades de agua para el riego podrían aumentar debido al cambio climático. Si bien la cuenca del Ebro cuenta con la mayor

superficie de regadío y la mayor producción estatal de alimentos, la cuenca del Adur-Garona es, también, un área de regadío intensivo, sobre todo con grandes zonas de cultivo de maíz, principalmente en las cuencas ubicadas aguas abajo del macizo.

- **Consumo de agua para el ser humano**

Las altas temperaturas del verano provocan un aumento en la demanda de agua potencial de las poblaciones permanentes y estacionales para uso doméstico para refrescarse, la recreación o el riego en viviendas y zonas con jardín.⁵⁸ Sin embargo, los impactos sobre los consumos son a veces difíciles de evaluar debido a que los períodos de altas temperaturas suelen coincidir con los períodos de sequía, durante los cuales las restricciones pueden afectar a estos usos recreativos. En un contexto de aumento de la frecuencia de olas de calor y teniendo en cuenta que las cuencas alimentadas por los Pirineos están muy pobladas, el aumento de la demanda potencial podría ser particularmente difícil de satisfacer a un coste razonable (Plan Especial de Sequía – CHE, 2007).

- **Turismo**

Como se menciona en la sección dedicada al turismo, la necesidad de producción de nieve podría aumentar con el cambio climático. Esto daría como resultado un aumento en las extracciones de agua para la actividad turística de invierno si las condiciones térmicas permiten la producción de nieve. Si éstas no lo permitieran, las posibles evoluciones serían la diversificación de la actividad turística y recreativa o el abandono de la misma por la falta de viabilidad económica.

- **Consumo energético**

Las olas de calor pueden causar un aumento en la demanda eléctrica para satisfacer las necesidades de refrigeración, como ocurrió con motivo de la ola de calor de 2003. Este aumento de la demanda podría, sin embargo, coincidir con una disminución en el suministro. De hecho, la disponibilidad de agua es la base de la producción hidroeléctrica a gran escala en los Pirineos. En la vertiente sur, por ejemplo, la diferencia observada entre la producción de los años lluviosos y años secos puede ser de hasta un 50%. La producción de las centrales térmicas y nucleares puede también verse afectada, según los estudios locales realizados en el marco de la evaluación de los impactos de la ola de calor del año 2003, aunque actualmente no existen resultados a nivel nacional (Rapport interministériel, 2009).

3.5.3. Impacto sobre los glaciares

Actualmente existen en los Pirineos 25 glaciares y heleros por encima de los 2.700 metros. El más grande de todos ellos es el Glaciar del Aneto-Maladeta, el cual se fragmentó en dos partes independientes a finales del verano de 2009 como consecuencia del retroceso y de la pérdida de espesor del hielo. La superficie total de los glaciares de los Pirineos se redujo en aproximadamente un 85% desde la segunda mitad del siglo XIX (comparado con 40% de los glaciares de los Alpes durante el mismo período) según René (2007), de la asociación Moraine y Serranao et al. (2004) para Greenpeace.

⁵⁸ A sabiendas que cambios en las extracciones son difíciles de monitorear por no ser siempre objeto de declaración.

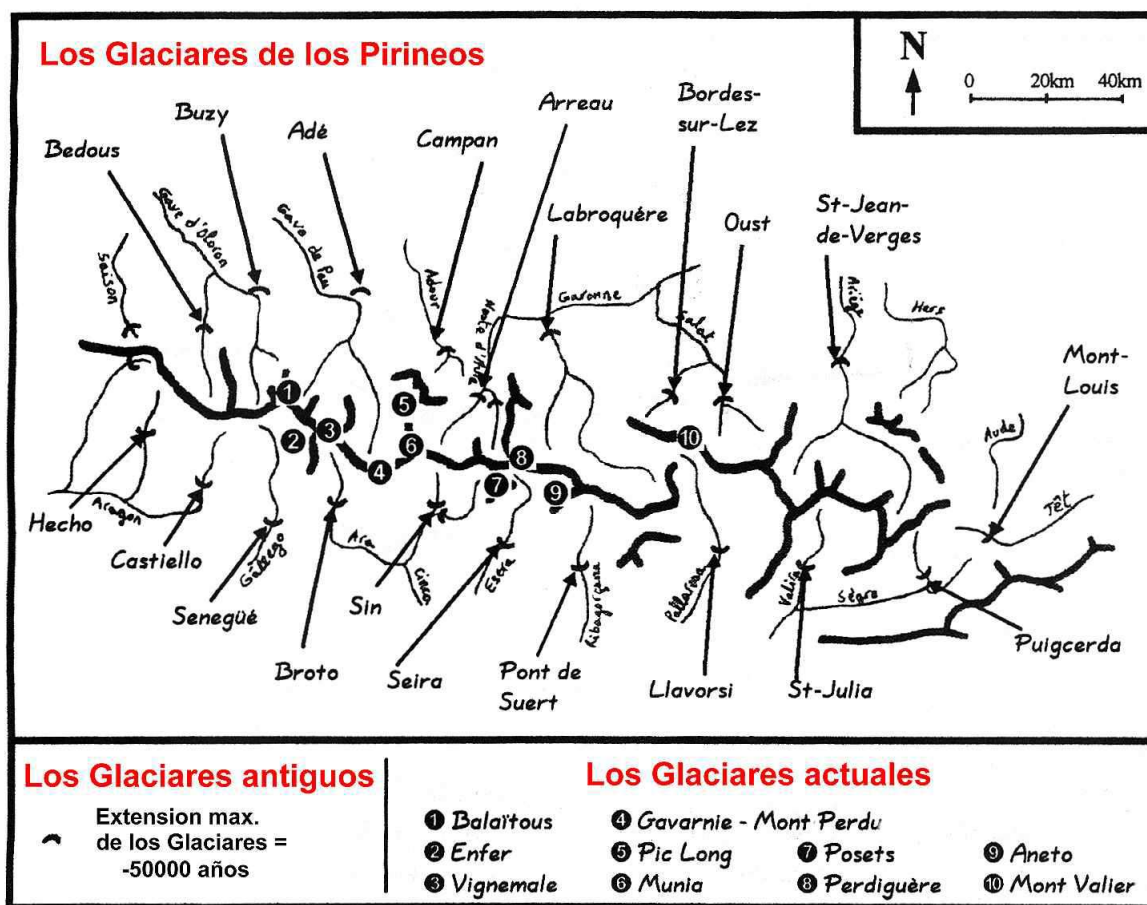


Figura 72 : Mapa de los principales glaciares del Pirineo (Fuente: adaptado por Grupo de Montaña Pegaso- www.montanapegaso.com, de L' Association Pyrénéenne de Glaciologie - Association Moraine - www.asso.moraine.free.fr).

El aumento de la temperatura puede acelerar la desaparición de estos complejos glaciares. Serrano, Martinez de Pison y Lampre (2004) en su informe para Greenpeace estiman que su superficie disminuiría (solo quedarían 8,9 hectáreas al año 2050) hasta su completa desaparición al año 2070 si el ritmo de incremento de temperatura se mantiene. La pérdida de estos glaciares podría tener un impacto significativo en los aportes de agua a los ríos y humedales, y por tanto a la agricultura, ciertos ecosistemas, a la capacidad de producción de energía hidroeléctrica y el turismo en los Pirineos.

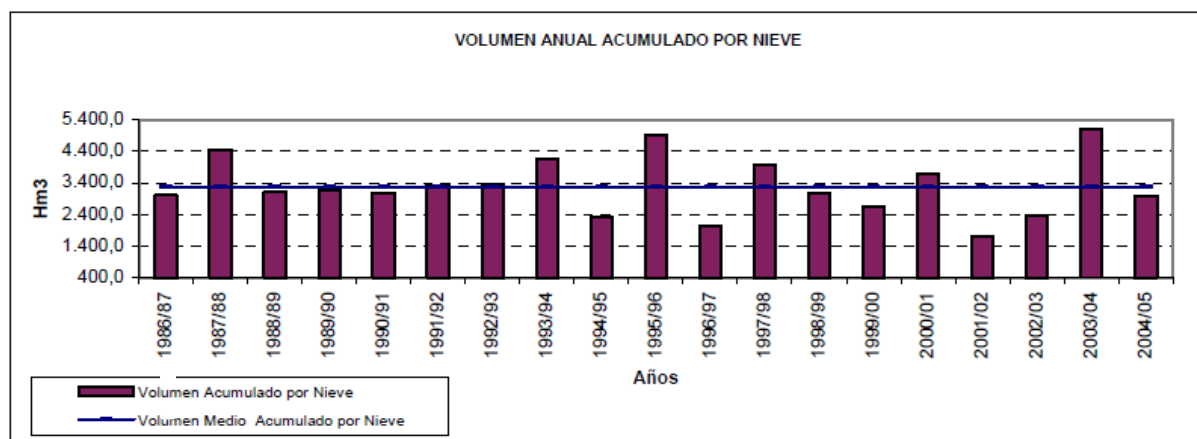


Figura 73: Reservas medias de nieve en el ámbito de la CHE para el período 1986/1987-2004/20005 (Reserva acumulada media 3.291,40 hm³) (CHE, 2007).

Por otra parte, la desaparición de los glaciares amenaza la biodiversidad en los Pirineos. Estos medios contienen alrededor de 100 especies de plantas de las cuales el 20% son endémicas de los Pirineos (SGAR Midi-Pyrénées, 2011).

3.5.4. Los impactos sobre la calidad del agua

De forma general, la temperatura influye en la mayoría de las propiedades fisicoquímicas y de procesos que determinan la dinámica ambiental de los compuestos químicos. Así pues, la variación en la temperatura repercutirá en la dinámica, en el transporte y en la evolución de los contaminantes en el medio ambiente y en el medio hídrico en particular.

En relación con los compuestos orgánicos persistentes (COP), la variación de temperatura derivada del cambio climático puede afectar de manera significativa a la dinámica de estos contaminantes, a su persistencia ambiental y a la incorporación a las cadenas tróficas.

La temperatura también favorece la solubilidad de los compuestos, excepto en el caso del oxígeno, donde su relación es inversa. Así, un aumento de la temperatura podría generar o agravar procesos de anoxia, especialmente en la vertiente mediterránea (ACA, 2009).

El aumento de la **temperatura media de los arroyos** podría favorecer el desarrollo de **patógenos bacterianos y especies invasoras** y tener un impacto negativo sobre la biodiversidad acuática (Asconit Consultants, 2010). Para terminar, la disminución de los caudales podría conllevar problemas de contaminación (disminución de la capacidad de dilución del medio) (Redaud et al., 2002) complicando el cumplimiento del buen estado ecológico de los ríos, fijado por la directiva 2000/60/CE, DMA.(Miquel, 2012)

No obstante, el cambio en las precipitaciones puede ocasionar diversos efectos en el estado químico del medio hídrico. Los cambios en los patrones de precipitación afectarán al transporte y distribución

de los contaminantes. Una menor precipitación reduciría el acarreo de contaminantes en el medio hídrico, contrarrestando parcialmente el efecto principal de la disminución de caudales.

3.5.5. Conclusiones

Para concluir, los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos disponibles, el régimen hídrico, la calidad del agua y la demanda potencial de los usuarios podría llevar a una situación de gran tensión para poder satisfacer las necesidades de los diferentes servicios y sectores. El medio acuático natural que también depende del estado ecológico de los ríos podría verse afectado.

La **capacidad de adaptación** de los sistemas humanos se basa en la consideración de estos efectos por las entidades responsables de la gestión del agua en las diferentes cuencas.

Por ejemplo, la quinta orientación del Plan Hídrico de la cuenca Adur-Garona (SDAGE Comité de Adur-Garona, 2009), *"El dominio de la gestión cuantitativa del agua en el contexto del cambio climático"*, establece dos objetivos principales:

- Garantizar que el flujo durante el estiaje sea suficiente para lograr el buen estado ecológico del agua establecido por la DMA, lo que probablemente reforzaría la competencia entre distintos usos.
- Considerar al cambio climático en la evolución del riesgo de inundación.

El Plan de Gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña⁵⁹ también establece los caudales ecológicos de acuerdo con las recomendaciones de la Directiva Marco sobre el Agua (DMA) como medida para asegurar el buen estado ecológico de las masas de agua.

3.6. Industria y energía

3.6.1. La vulnerabilidad del sector hidroeléctrico

Entre las áreas potencialmente afectadas por los cambios en los regímenes hidrológicos se incluye la generación de energía hidroeléctrica. De hecho, como ya se ha mencionado al inicio, los Pirineos son una importante zona de producción de **energía hidroeléctrica** (segundo polo de producción francés, y aportación de casi el 20% de la energía hidroeléctrica española [Uche y Carrasquer, 2010]). El **aumento de la variabilidad de las precipitaciones**, de la **frecuencia de las sequías** y la necesidad de mantener un caudal mínimo en los ríos probablemente se traducirá en una menor disponibilidad de agua y, por lo tanto, en una disminución en la producción energética hidroeléctrica y nuclear. Se han realizado muy pocos estudios específicos en el ámbito del Pirineo, sin embargo, la ola de calor que se produjo en 2003 ha permitido estimar los posibles impactos del cambio climático sobre la producción hidroeléctrica. De hecho, este fenómeno afectó a la generación hidroeléctrica y nuclear francesas, y las represas alcanzaron un nivel más bajo de lo normal durante ese período (Rapport interministériel,

⁵⁹ DOGC núm. 5764 del 26.noviembre de 2010.

2009).⁶⁰ En Cataluña, en el periodo 2003 a 2007, la producción hidroeléctrica disminuyó un 40% según el Instituto Catalán de la Energía.⁶¹

Además, las investigaciones realizadas a nivel europeo a este respecto confirman dicha tendencia: "Para la década de 2070, se prevé que el potencial hidroeléctrico disminuya en un 6% en toda Europa, con una disminución de entre el 20 y el 50% en el Mediterráneo" (Lenh et al., 2005).

Estos cambios podrían favorecer la implantación de otras fuentes de energía convencionales (térmicas, etc.) para cubrir el déficit creado por la disminución en la generación hidroeléctrica, pero también crea oportunidades para el despliegue de fuentes de energía renovables.

Las áreas del macizo Midi-Pyrénées y la cuenca del Ebro están especialmente afectadas puesto que en ellas se concentra la mayoría de las instalaciones hidroeléctricas de los Pirineos.

3.6.2. La vulnerabilidad del sector industrial

Los principales factores climáticos que podrían afectar a **la industria** son la mayor frecuencia de olas de calor y la reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos. Para algunas industrias que dependen de los productos forestales, marinos y agrícolas los impactos sobre las materias primas también podrían afectar a la actividad industrial (ver Figura 74).

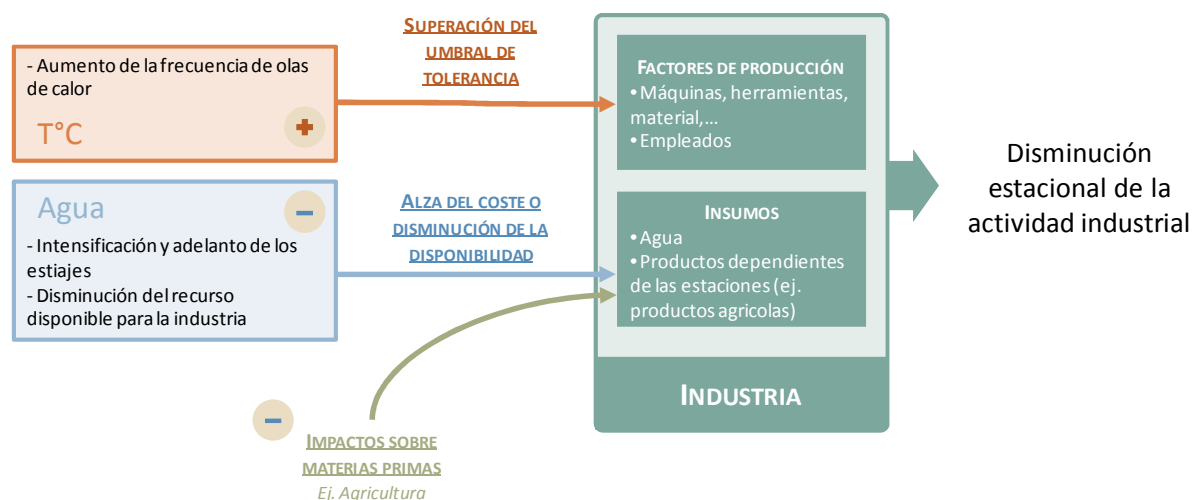


Figura 74: Principales factores del cambio climático que influyen en la actividad industrial (Fuente: ACTeon, 2011).

A nivel global, estos impactos sobre el sector están relativamente poco estudiados, y aún menos en los Pirineos. Además, estas áreas están influenciadas por muchos otros factores que pueden tener mayor peso (la evolución económica, tecnológica, cambios en la demanda, etc.). Los párrafos siguientes se limitan a introducir algunos de los impactos previsibles debidos al cambio climático.

⁶⁰ Rapport interministériel (2009) Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France, rapport de la 2^{nde} phase : Partie III – Rapport des groupes sectoriels, 231 pp.

⁶¹ <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>.

Algunos sectores de la industria, como aquellos que son grandes consumidores de agua y, especialmente las industrias de procesamiento, también pueden verse afectadas por un aumento en sus costes de operación o una disminución en su producción si la escasez de agua no les permite asegurar el correcto funcionamiento de los procesos industriales. La Tabla 8 presenta una ilustración de algunos procesos industriales como ilustración de diferencias en términos de dependencia del agua que pueden existir entre distintos procesos.

Tabla 8: Cantidad media de agua (en litros) para producir 1 kg de material (Fuente: www.cnrs.fr)

Productos	Litros de agua necesarios para producir 1 kg
Acero	De 300 a 600
Papel	Sobre 500
Azúcar	De 300 a 400
Cartón	De 60 a 400
Cemento	Sobre 35
Jabón	De 1 a 35
Materias plásticas	De 1 a 2

Por otra parte, el **aumento de las olas de calor** puede tener efectos negativos en la salud de los empleados y, más allá de un umbral de temperatura determinado, incluso un mal funcionamiento de la maquinaria. Estos efectos podrían conducir a una menor productividad y por tanto, a una reducción de la producción o un encarecimiento de la misma. Durante la ola de calor de 2003 estos efectos se observaron en la industria pesada y electrónica francesas, que padecieron problemas de funcionamiento de las máquinas y los circuitos; y en otras industrias (incluida la construcción), cuyas condiciones de trabajo se vieron dificultadas, por lo que tuvieron que reducir la actividad y el rendimiento (Létard et al., 2004).

3.7. Transporte

Las infraestructuras de transporte son sensibles a algunos **riesgos naturales** (deslizamientos, inundaciones, incendios forestales, etc.) cuya frecuencia e intensidad puede aumentar con el cambio climático. Sin embargo, la evolución de estos riesgos y su ubicación siguen sujetos a incertidumbres significativas. Por otra parte, el **aumento de la duración de la insolación** puede dañar las carreteras, provocar daños a la infraestructura ferroviaria y reducir la vida de algunas obras (Rapport interministériel, 2009). El PNACC español no prevé un impacto serio en el sector del transporte, aunque sería necesaria la modificación de algunas infraestructuras debido al aumento de las temperaturas.

El Pirineo es una zona de difícil acceso y con un sistema de transporte deficiente. Por lo tanto, el riesgo de inundaciones, deslizamientos de tierra o incendios y los costes asociados a ellos son considerados como los principales impactos que pueden afectar a la infraestructura del transporte.

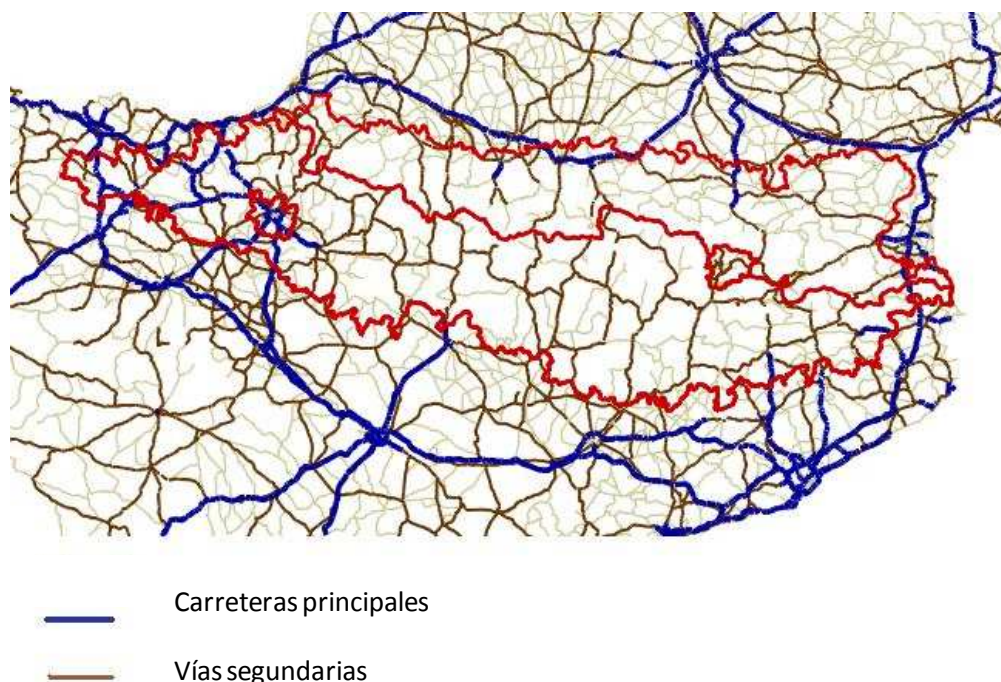


Figura 75: Ejes de transporte por carretera en los Pirineos (Fuente: www.opcc-ctp.org).

Las principales vías de ferrocarril y carreteras del macizo que están situadas en los extremos este y oeste están poco expuestas a riesgos de inundaciones y avalanchas. Sin embargo, la región de Midi-Pyrénées está particularmente expuesta al riesgo de inundación. El peligro de aludes es especialmente importante en áreas de gran altitud, en el centro del macizo y las carreteras que se encuentran en estos territorios podrían enfrentarse a daños más frecuentes y más graves, que se traducirían en mayores costes de mantenimiento y protección.

La exposición de las rutas de transporte de los Pirineos a estos riesgos es muy desigual. Son aquellos ejes de comunicación menos modernos los que podrían ser los más afectados. La vulnerabilidad del sector podría reducirse si los proyectos de construcción y el mantenimiento tomaran en cuenta estos cambios.

3.8. Ordenación del territorio y urbanismo

3.8.1. Exposición a altas temperaturas

Durante los episodios de calor extremo se produce el efecto de la isla de calor urbana (Figura 76) en las grandes zonas urbanas que contribuye a incrementar los efectos perjudiciales de las altas temperaturas. La urbanización del macizo, basada en pequeños núcleos poblacionales, representa un factor de protección a los impactos del calor extremo.

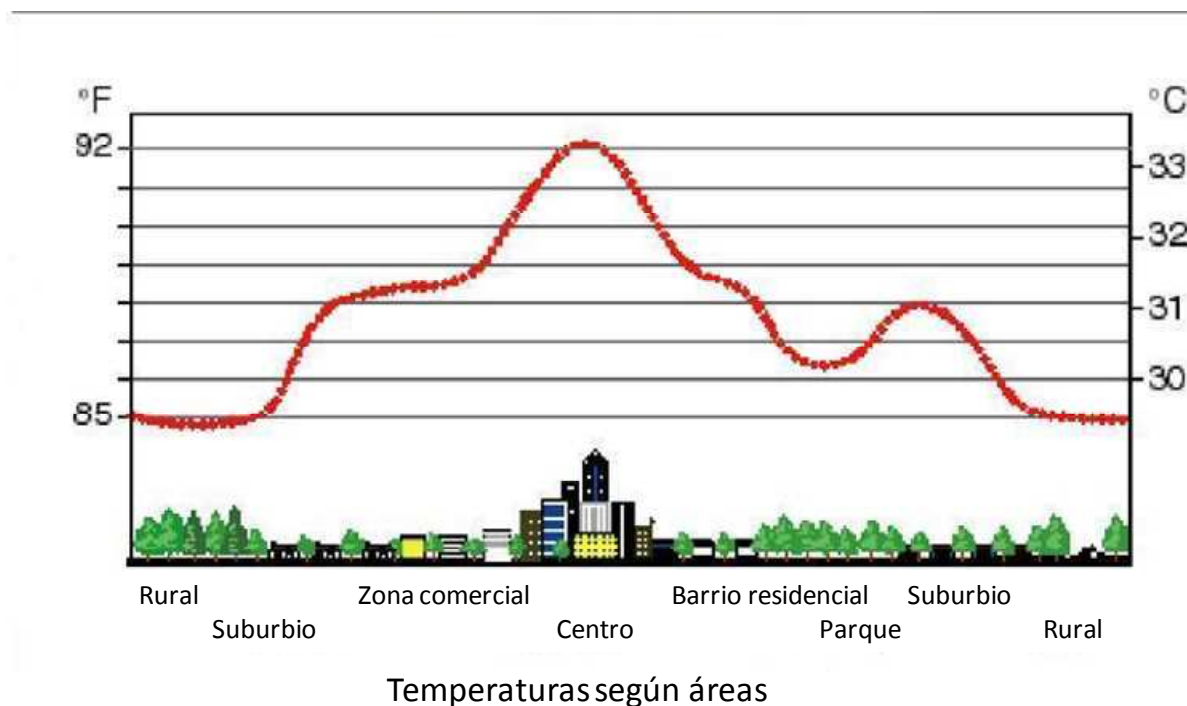
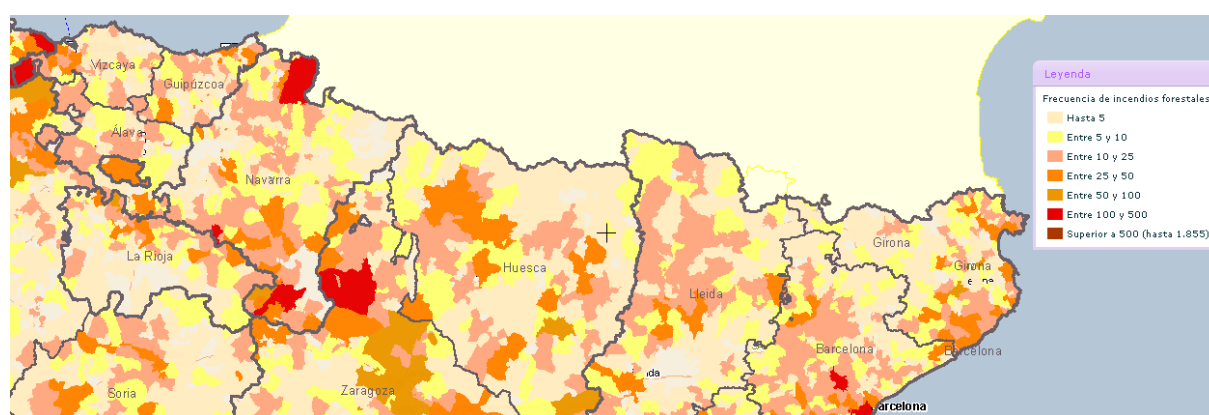


Figura 76: Esquema de un isla de calor (Fuente: Heat Island Group / Laurence Berkeley, National Laboratory).

3.8.2. Exposición a riesgos naturales de origen climático

Se espera que el **aumento de la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos** aumente la exposición de las infraestructuras y viviendas a las inundaciones, avalanchas y deslizamientos de tierra (Rapport interministériel, 2009). Esta evolución ha sido también confirmada en el informe SREX del IPCC (2012), añadiendo que el número de personas afectadas por los riesgos también ha aumentado. El riesgo de incendios forestales es previsible que vaya en aumento debido al incremento de la temperatura media y se podría extender hacia las zonas residenciales, especialmente si continúa el abandono de tierras agrícolas y de pastoreo en el futuro.



Además, el **aumento de las temperaturas** y la **modificación de los flujos en los suelos** podrían provocar inestabilidades de los suelos, aumentando así el riesgo de deterioro de infraestructuras y viviendas (Rapport interministériel, 2009).

Otro riesgo importante lo constituye el peligro de desprendimientos motivado por el incremento de las lluvias torrenciales y la fusión del hielo, peligro que puede verse aumentado en zonas áridas o sin una vegetación importante que ayude a mantener el suelo de las laderas. En los Pirineos, el incremento de los desprendimientos viene de la mano de las lluvias torrenciales y de la desaparición de la vegetación autóctona o la sustitución por otra nueva con menor enraizamiento. La acción humana incrementa a menudo el riesgo de desprendimientos y es por ello por lo que los planes de ordenación urbana son una herramienta fundamental de adaptación ante el aumento de estos fenómenos.

El riesgo relacionado con los suelos arcillosos expansivos (dilatación-contracción) debería aumentar, pero es marginal, concentrándose en algunas franjas del macizo (ej. cerca de Biarritz).

El incremento de los fenómenos extremos como inundaciones, incendios o desprendimientos, pueden tener igualmente sus consecuencias en la salud humana, e incluso producir un incremento de la mortalidad por estas causas. En el registro histórico del Pirineo español abundan los casos de episodios extremos, con frecuentes precipitaciones superiores a los 100 mm en 24 h. Incluso se conocen algunos casos excepcionales como los 600 mm registrados en el refugio de Góriz (Ordesa, 2.200 m), los 500 mm de Sin, los 307 mm de Urdiceto, los 252 mm de Capdella, o los 214 de Gistaín en noviembre de 1982 que provocaron desastres importantes en Andorra, entre otros lugares del Pirineo. Otros casos sirven de terrible ejemplo de la violencia de procesos hidrogeomorfológicos asociados a las lluvias extremas, como el desastre del camping de Biescas en agosto de 1996 (Beguiría y Lorente, 1999).

La capacidad de adaptación de los actores en materia de urbanismo dependerá de la aptitud de las instituciones locales para tener en cuenta estos riesgos y su evolución en los planes de ordenación territorial y urbana, y para implementar los planes de acción necesarios al objeto de proteger las zonas residenciales.

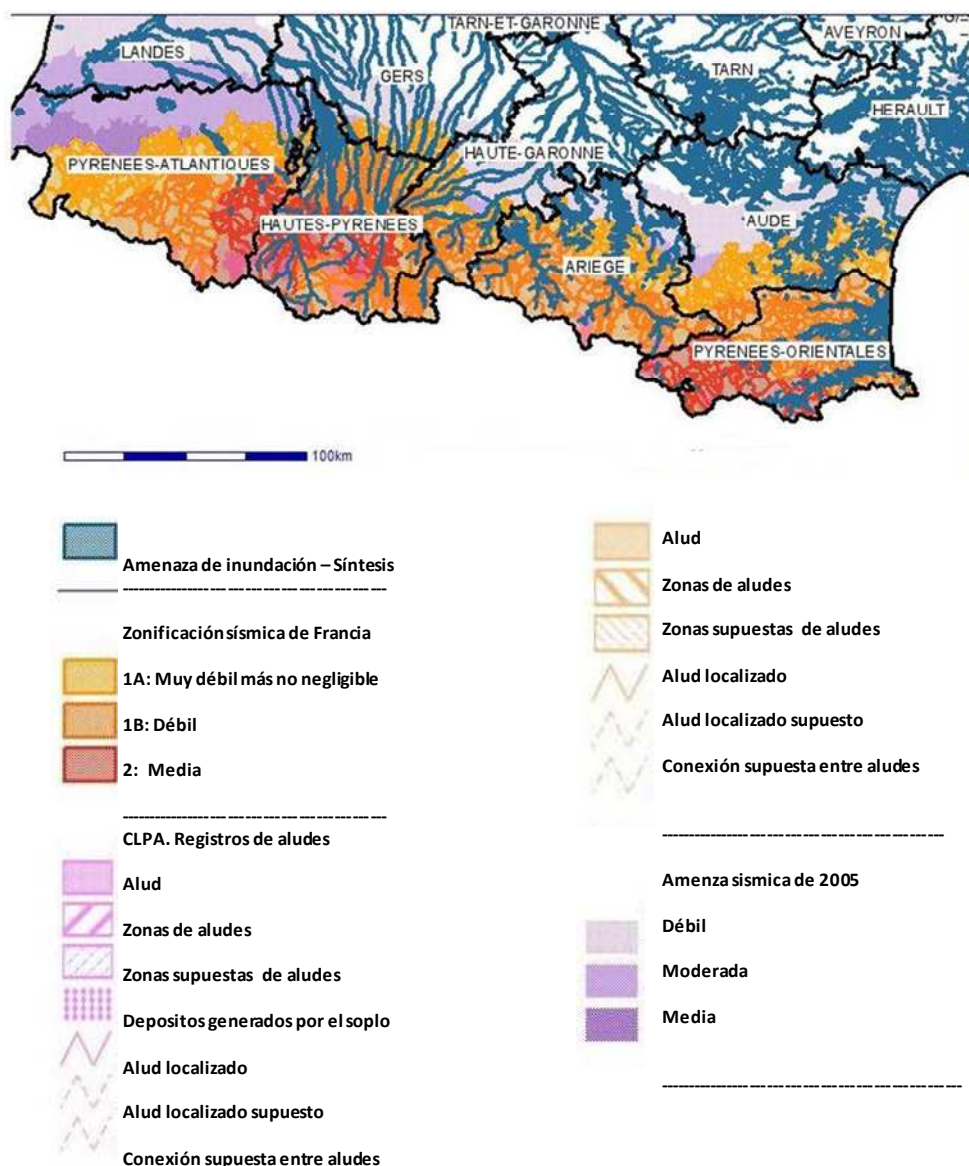


Figura 78: Mapa de riesgos en los Pirineos franceses (Fuente: Traducido de <http://cartorisque.prim.net/dpt/france.html>).

3.9. Salud humana

Los principales factores climáticos que podrían influir sobre la salud humana son los siguientes:

- Las temperaturas: tanto el incremento de la temperatura media como el incremento de los valores extremos (olas de calor).
- Respecto a los contaminantes atmosféricos, lo más relevante en las zonas naturales puede ser el incremento del ozono troposférico favorecido por la posible reducción de la precipitación en estas zonas, donde las emisiones locales de óxidos de nitrógeno son, de por

sí, reducidas. Otros contaminantes, como los COVs y el NH₃, donde la temperatura juega un papel decisivo, pueden ver incrementada su emisión.⁶²

- Alérgenos aéreos: polen, hongos e intrusiones de polvo sahariano.
- La mayor frecuencia de eventos climáticos extremos y catástrofes naturales
- La disponibilidad de agua.
- El conjunto de factores que influyen en el área de distribución de vectores de enfermedades.

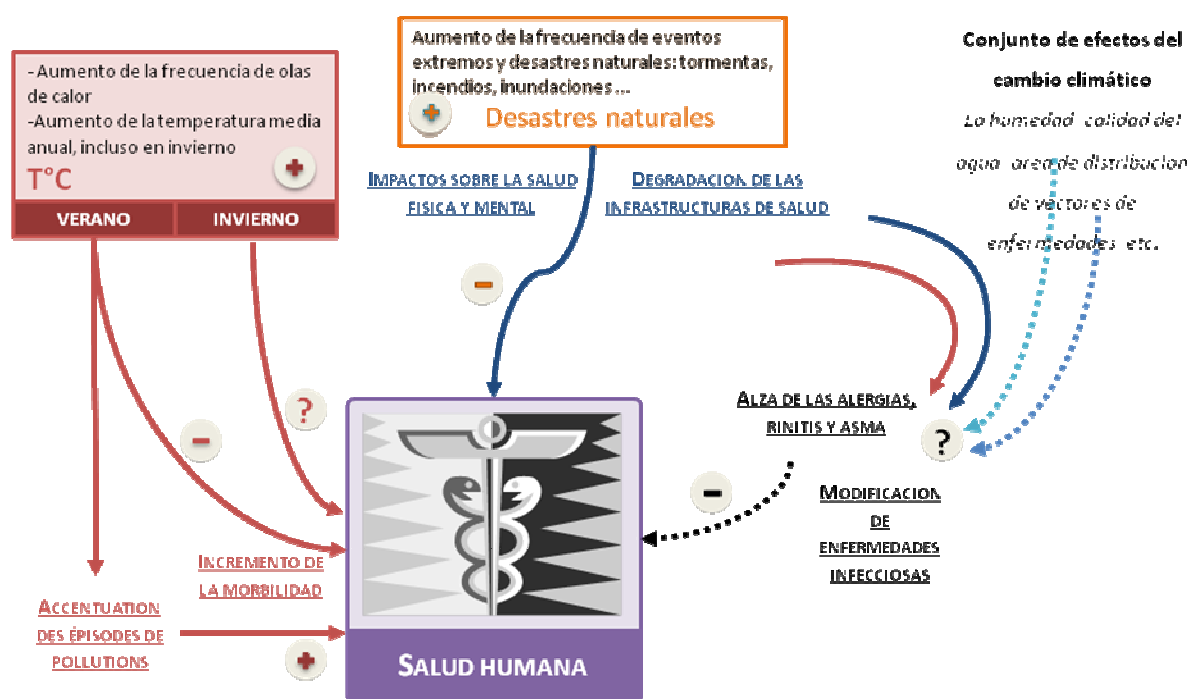


Figura 79: Los principales factores del cambio climático que influyen sobre la salud humana (Fuente: ACTeon, 2011).

Los efectos del cambio climático en la **salud humana** se reflejan de diversas maneras, algunas directas y otras indirectas, pero se visualizan sobretudo en función de las estaciones. En verano, las **olas de calor más frecuentes** e intensas pueden ser un riesgo para las personas más vulnerables. Las personas mayores y los niños son especialmente sensibles a estas condiciones climáticas, lo cual es una cuestión importante en **ambas vertientes** del macizo. En la parte francesa, la población es mayoritariamente de edad avanzada (la proporción de jubilados/activos era del 71% en 1999, Schéma Interrégional de Massif, 2006). En las áreas españolas, las poblaciones de más de 60 años son importantes en Gipuzkoa, Girona y Navarra (Censo 2001), en tanto que en la provincia de Huesca (Aragón) lo que se está registrando es una disminución de esta clase de edad, del 29,5% en 1998 al 26,5% en 2011 (fuente IAEST). En Cataluña el CREAL⁶³ ha publicado estudios muy interesantes sobre los efectos del incremento de temperatura y la mortalidad y morbilidad. Según Xavier Basagaña et al.

⁶² <http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/map/real-time-map>

⁶³ <http://www.creal.cat/creal/>.

(2011),⁶⁴ tres días consecutivos de calor incrementan la mortalidad diaria en Cataluña en un 19%, llegándose a un 35% cuando el período se extiende a siete días consecutivos de calor. Ostro et al. (2012)⁶⁵ han desarrollado proyecciones del impacto en la salud pública debido a las futuras temperaturas de verano en el escenario A1B para los horizontes 2025 y 2050.

Desde mayo del 2004, Cataluña dispone de un Plan de Actuación para prevenir los efectos de las olas de calor en la salud humana (POCS)⁶⁶ y en Navarra y Aragón se realizan sistemáticamente campañas anuales en época estival para alertar de los riesgos a la ciudadanía.

Según el informe del IPCC SREX 2012⁶⁷ se espera que las olas de calor en nuestra región geográfica aumenten en frecuencia e intensidad. Pasarán de producirse de cada 20 años a cada 2 años a finales del siglo.

Por otra parte, el INERIS ha desarrollado trabajos de modelización sobre los impactos del cambio climático sobre la contaminación del aire. Tomando como base los escenarios del IPCC, esta investigación muestra que:

- Los picos diarios de ozono a nivel del suelo es probable que crezcan un promedio de entre 25 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre su nivel actual. Las predicciones indican que a escala europea la superación del umbral de información y alerta será más frecuente (véase el mapa). Los territorios de la CTP cuentan con un sistema de vigilancia y control del ozono troposférico.

⁶⁴ Xavier Basagaña et al. Heat Waves and cause- specific mortality at all ages.. E·pidemiology. Volumen 22, number 6, November 2011. DOI: 10.1097/EDE.0b013e31823031c5.

⁶⁵ Burt Ostro et al. The impact of summer temperatures on public health in Barcelona and Catalonia. Int J Biometeorol
DOI 10.1007/s00484-012-0529-7

⁶⁶ Pla d' Actuació per prevenir els efectes de les Onades de calor sobre la salut
<http://www20.gencat.cat/portal/site/canalsalut/menuitem.860e901bf7168d2c8bd97260b0c0e1a0/?vgnextoid=50087f27bce7d210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=50087f27bce7d210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default>

⁶⁷ http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf.

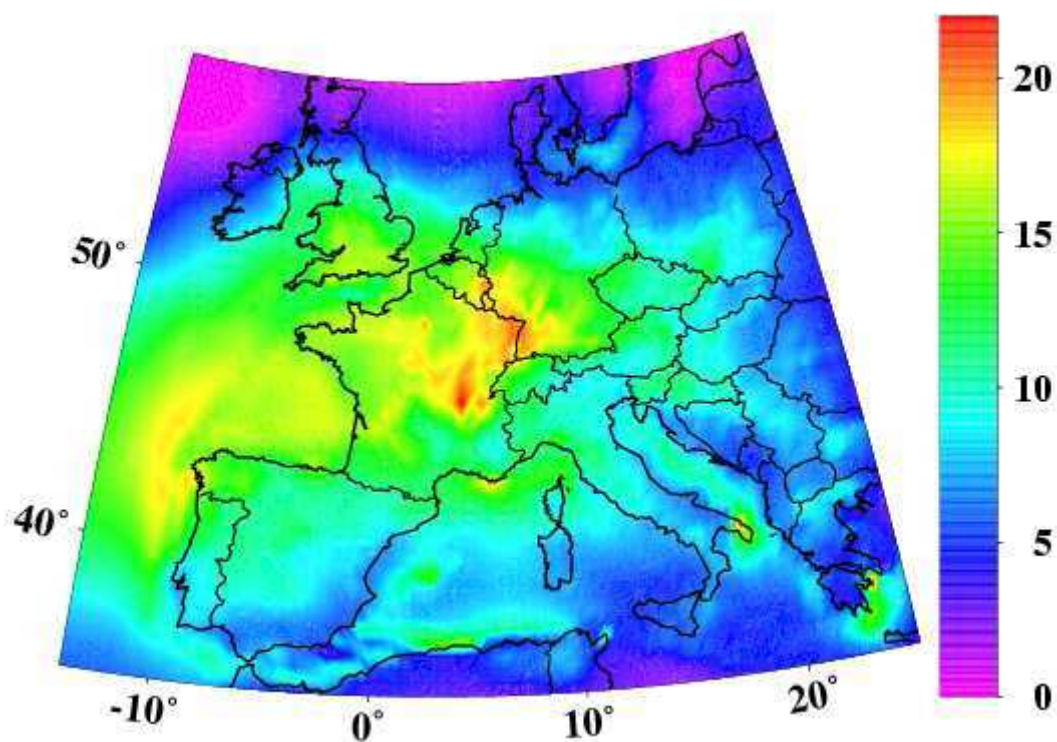


Figura 80: Diferencia (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre los promedios históricos (1960-1990) de los picos diarios de ozono en verano y los promedios a futuro (2070-2100) - (fuente: INERIS, 2009).

- Es probable que el promedio diario de PM₁₀ (partículas) evolucione si se confirma la reducción en la precipitación y la humedad ambiente. En invierno, las temperaturas más cálidas podrían reducir ligeramente los niveles de PM₁₀. En verano, es probable que a causa del cambio climático se registren aumentos notables en los niveles de PM₁₀ (ver **Figura 81**).

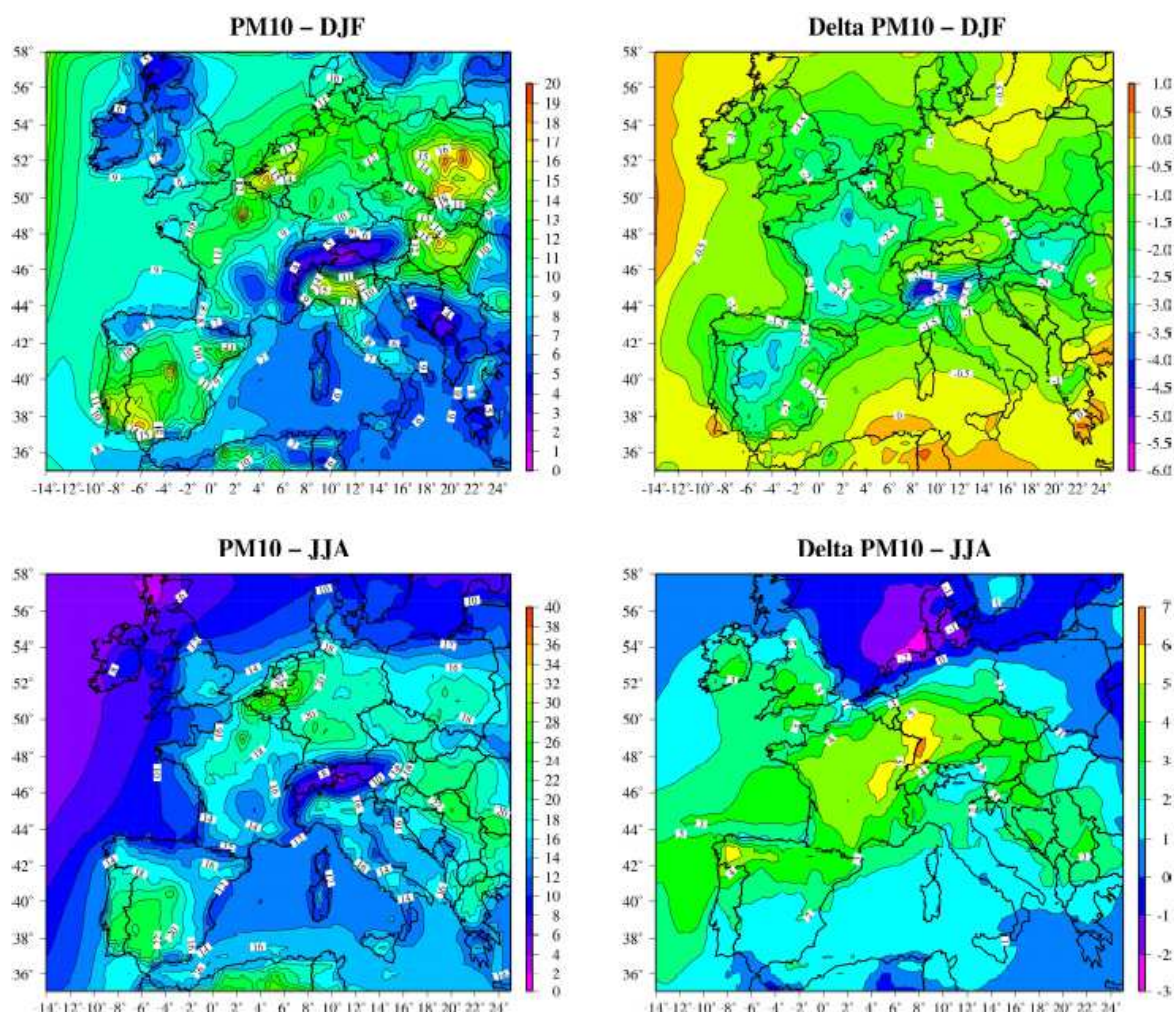


Figura 81: Concentraciones promedio diarias (ug/m3) actuales de PM10 (izquierda) y sus variaciones para 2070-2075 (derecha), respectivamente, en invierno (arriba) y verano (parte inferior), según el escenario A2 del IPCC. (Fuente: INERIS, 2009).

Estos estudios a escala macroscópica permiten destacar las principales tendencias cuyas consecuencias deberían estudiarse a nivel local en los Pirineos, especialmente en los valles y las zonas sensibles en relación al tema de la calidad del aire.

Existe una estación de calidad del aire (Torrelisa)⁶⁸ en el Pueyo de Araguás, Huesca, que responde al área de calidad del aire “Pirineos” dentro de la zonificación para Aragón. La información que se recoge en esta estación informa sobre la calidad del aire de los valles más templados de los Pirineos. En el ámbito europeo, Andorra participa igualmente en la red de la Agencia Europea del Medio Ambiente con una estación de seguimiento situada en la parroquia de Escaldes-Engordany, en pleno pirineo axial.⁶⁹

Las temperaturas más cálidas en invierno podrían reducir la mortalidad y la morbilidad en esta época del año. Sin embargo, el estudio "*Impactos en la salud del cambio climático en Francia, ¿qué consecuencias para el InVS?*" destaca la incertidumbre acerca de la relevancia de la relación entre

⁶⁸ www.aragonaire.es.

⁶⁹ <http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/map/real-time-map>

mortalidad y temperatura de invierno, “*el aumento de la mortalidad observada en el invierno puede ser causada por muchos factores aparte del descenso de la temperatura: la gripe, el cambio de la dieta, disminución de la luz ...*” y recuerda que los países europeos que experimentan las mayores tasas de mortalidad en invierno no son los más fríos (Portugal, España, entre 1988 y 1997).

Además, el **aumento de las temperaturas en invierno** implicaría un período más largo y propicio para el incremento de alergias, rinitis y asma. Las temperaturas más altas y el aumento del contenido de CO₂ en la atmósfera podrían hacer el polen más alergénico. En Francia, se estima que para la ambrosía, un aumento de la temperatura de 3,5 °C conllevaría el aumento del alérgeno *Amb a1* de 30 a 50% en los granos de polen (Singer et al., 2005; Ziska et al., 2003). Entre los departamentos franceses limítrofes del macizo, el departamento de Haute Garonne Pirineos es el más expuesto a este riesgo (ver Figura 89). La mayor parte del territorio de este departamento no cubre al perímetro del macizo.

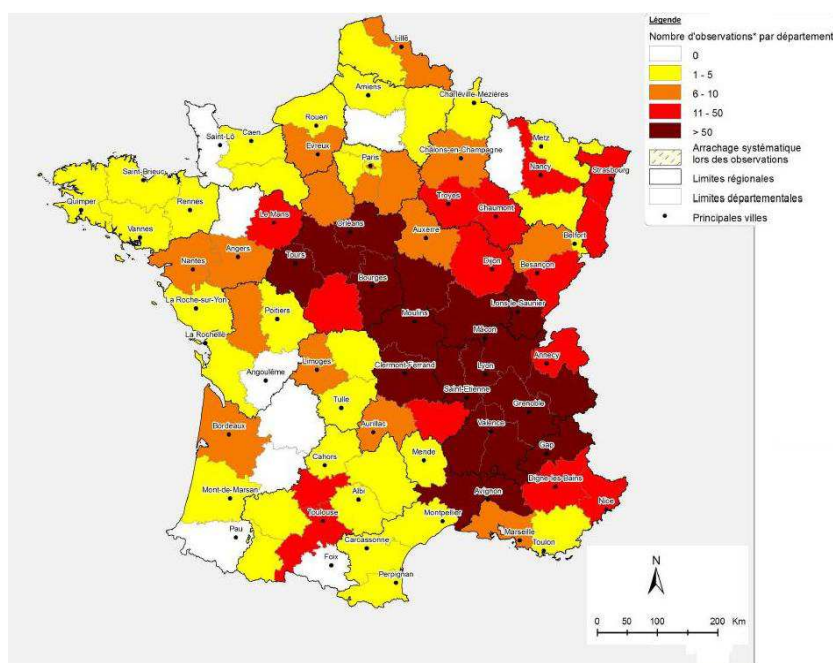


Figura 82: Distribución de la ambrosía en Francia en 2011 (Fuente: Ministerio de Salud).

Por otra parte, el **aumento de la frecuencia e intensidad de los desastres naturales** puede causar un aumento en el número de accidentes y lesiones. El Instituto de Salud Pública advierte sobre las posibles repercusiones en el estado psicológico de las personas, especialmente en los grupos más vulnerables. Obviamente las infraestructuras relacionadas con la salud también pueden verse afectadas por estos eventos.

La **menor disponibilidad de recursos hídricos** podría afectar negativamente al consumo de agua de la población de la zona. En la actualidad, en épocas de escasez de precipitaciones numerosos embalses pirenaicos se encuentran muy por debajo de su nivel óptimo de capacidad, generando importantes restricciones de agua tanto para fines agrarios como de consumo humano, especialmente en zonas situadas aguas abajo del macizo.

Por otro lado, es posible que **la evolución del clima** favorezca la llegada de enfermedades vectoriales nuevas en el territorio. Según el IPCC, el cambio climático modificará la transmisión de enfermedades infecciosas por vectores como los mosquitos y las garrapatas, porque se alterará su distribución geográfica, su temporada de actividad y la medida de su población (Confalonieri *et al.*, 2007). Los cambios en la distribución de los vectores junto a la mayor movilidad de la población pueden facilitar la introducción y transmisión de nuevos patógenos emergentes.

El Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades (ECDC), reafirma la relación entre las condiciones climáticas y los vectores que transmiten las enfermedades: mosquitos, dengue (Niza-Francia, 2010), enfermedad del Nilo Occidental (Italia, 2007), o garrapatas (encefalitis).

3.10. Sector financiero y de los seguros

Una **mayor frecuencia de desastres naturales y fenómenos climáticos extremos** aumentará el número de daños materiales y humanos, y como consecuencia directa, también aumentarán los importes de las indemnizaciones por parte de las compañías de seguros. De acuerdo con el PNUMA,⁷⁰ esto podría poner en peligro la estabilidad financiera de **las compañías de seguros, reaseguros y los bancos**, ya que las primas podrían no ser suficientes para cubrir todas las compensaciones. Sin embargo, se espera que las compañías de seguros se adapten para hacer frente al riesgo económico, considerando el cambio climático en los contratos de seguros. En este sentido, se observan tres⁷¹ escenarios diferentes (ver el diagrama a continuación):

- **Reducir la proporción de los riesgos asegurados** en relación con desastres naturales: suspender la renovación de algunos contratos, retirarse de algunos mercados o incentivar a los asegurados a adaptarse al cambio climático (por ejemplo, a través de productos de seguros "verdes" o "amigables con el clima").
- **Aumentar el importe de las primas.**
- **Reducir el montante de las indemnizaciones**, aumentando las franquicias, reduciendo los límites de cobertura, limitando las compensaciones al valor depreciado de los bienes asegurados, etc.

Sin embargo, la incertidumbre sobre la ubicación, intensidad y duración del riesgo climático es un componente crítico de la vulnerabilidad de las compañías de seguros. Según los profesionales, la incorporación del cambio climático en los productos afectará principalmente a los contratos de "seguros de no vida" de las empresas, la propiedad y seguros de responsabilidad civil, la vivienda y el reaseguro.⁷² Esto podría conducir a la exclusión de personas en riesgo de los desastres naturales, o al debilitamiento de hogares de bajos ingresos y de PYMEs frágiles.

⁷⁰ Rhône-Alpes énergie-environnement, Changement climatique, comment s'adapter en Rhône-Alpes?, 40 p.

⁷¹ Source : http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0102/impacts/impacts.htm

⁷² Rhône-Alpes énergie-environnement, Changement climatique, comment s'adapter en Rhône-Alpes?, 40 p.

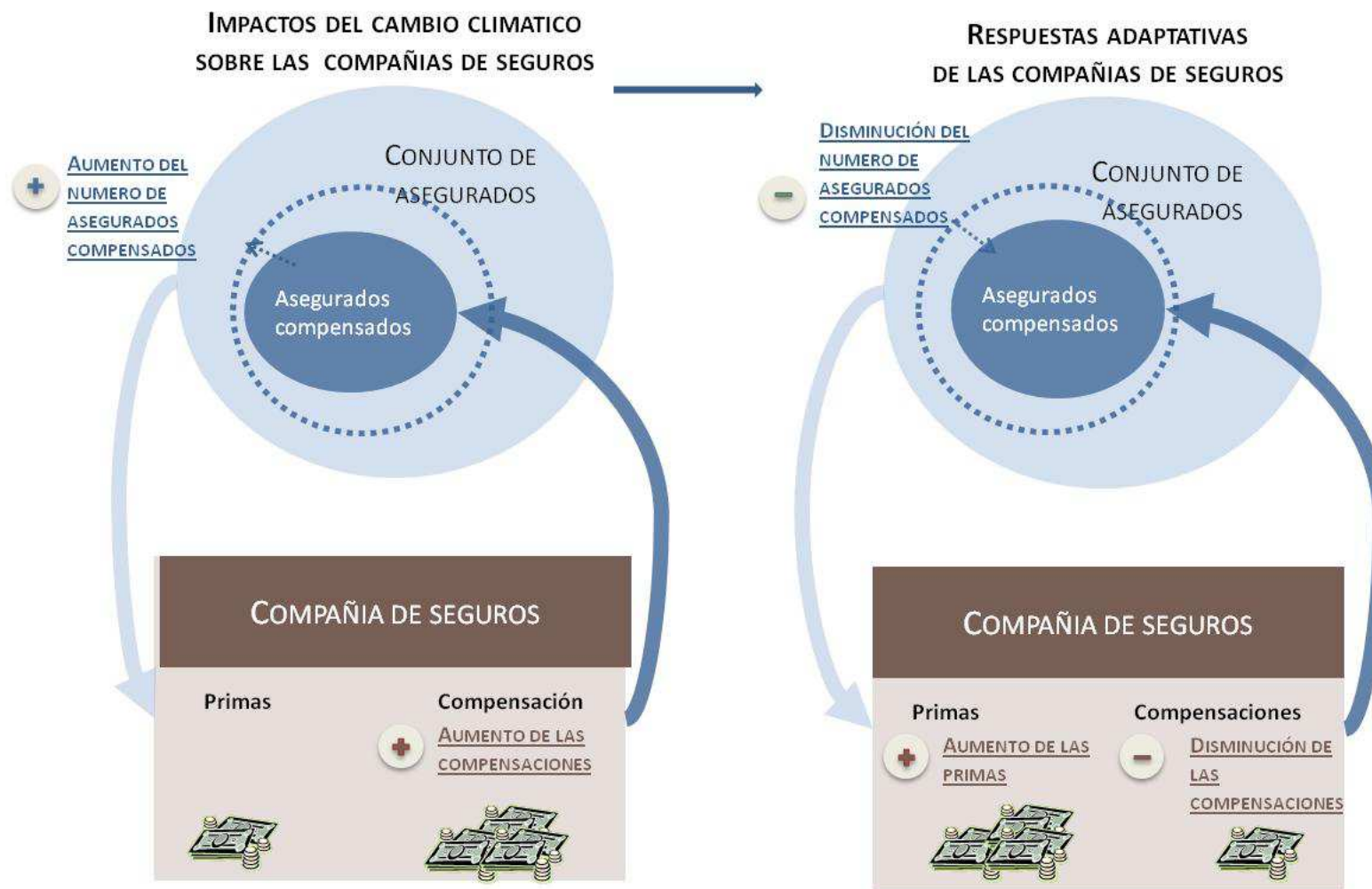


Figura 83: Esquema de los impactos del cambio climático sobre las compañías de seguros y las respuestas adaptativas de estas (Fuente: ACTeon, 2011, según http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0102/impacts/impacts.htm).

En el Estado español, los fundamentos del sistema de cobertura de catástrofes y, en particular, el daño por inundaciones, han estado basados en la aplicación de una prima no diferenciada para todos los riesgos que se cubren en la totalidad del territorio y que gestiona el Consorcio de Compensación de Seguros. Así, un incremento en los daños por inundaciones no afectaría en gran medida al sector del seguro privado dado que todos los asegurados pagan una cantidad fija independientemente del grado de exposición en el que se encuentren. En el caso de las sequías, las compañías privadas de seguros y reaseguros podrían verse afectadas debido sobre todo a la exposición de los seguros agrícolas (Benito et al., 2005).

Los efectos del cambio climático sobre la salud humana también podrían tener una incidencia negativa en los seguros médicos. El incremento de los riesgos motivados por la incertidumbre de los efectos del cambio climático hará necesario un aumento de los costes asociados a las primas de riesgo. Por lo tanto, las pólizas serán más costosas a causa del problema de la selección adversa (Andreu y Mensi, 2006).

En el lado francés, el sistema de seguro de catástrofes francés, Cat-Nat, podría ser modificado mediante la participación del Estado, por ejemplo con un aumento de las indemnizaciones públicas y la multiplicación de las intervenciones de la Caja Central Reaseguradora (*Caisse Centrale de Réassurance*). El sistema de seguros mutualizado, Nivalliance (Recuadro 8), también podría verse afectado por el cambio climático. La **disminución progresiva de la cobertura de nieve** podría, en efecto, comprometer la viabilidad del sistema.

Recuadro 8 : Un ejemplo de sistema de seguros para las estaciones de esquí.

Nivalliance es un sistema de seguros mutualizado de responsabilidad compartida para gestores de estaciones de esquí. Cubre el riesgo de pérdida de ingresos debido a los riesgos de explotación.

El principio es el siguiente: cada año a principios de la temporada, todos los operadores pagan una prima de seguro en función de su volumen de negocio. A finales de la temporada, si el volumen de ventas de la temporada se queda atrás en comparación con el promedio de las últimas tres temporadas, el operador se ve compensado por una fracción de su pérdida.

Fuente: <http://www.domaines-skiables.fr>

4. Referencias bibliográficas

4.1. Libros, artículos y documentos

ACA Aigua i canvi climàtic http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/llibre_aigua_canvi_climatic.pdf

ACA Aigua i canvi climàtic http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/llibre_aigua_canvi_climatic.pdf

ACA. (2010). Plan de Gestión de Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña 2010

Ademe Languedoc-Roussillon (2011).Etat des lieux des effets attendus du changement climatique en Languedoc-Roussillon, 28 p.

Almorox, J., (2006). Clasificación agroclimatológica de Papadakis. OpenCourseWare, Universidad Politécnica de Madrid.

Andreu, M.J. y Mensi, A. (2006). Impacto financiero del cambio climático. Oportunidades de inversión. IDEC, Universidad Pompeu Fabra.

Asconit Consultants (2010). Engagement du volet adaptation au changement climatique pour le SRCAE Rhône-Alpes, 107 p.

Barrera Escoda, A. et Cunillera, J. (2011). Proyecciones de cambio climático para Cataluña (NE Península Ibérica). Parte I: modelización climática regional. Tethys 8, 77-89. Primer Informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per Catalunya durant el segle XXI, model (1971–2000).

Barrera-Escoda, A. et Cunillera, J. (2011). Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI Catalunya. Informe tècnic, Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya, 22 pp.

Barrera-Escoda, A. et Cunillera, J. (2010). Study of the precipitation evolution in Catalonia using a mesoscale model (1971–2000). Advances in Geosciences 26, 1–6.

Basagaña,X. et al. (2011). Heat Waves and cause- specific mortality at all ages. E-pidemiology. Vol. 22-6, DOI: 10.1097/EDE.0b013e31823031c5.

Bates B. et al. (2008). Le changement climatique et l'eau – Document technique VI du GIEC, GIEC, 237 p.

Beguería, S. and Lorente, A. (1999). Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo aragonés occidental. Geographicalia, 37, 1-15.

Benito, G., Barriendos, M., Llasat, C., Machado, M. and Thorndycraft, V. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático - A. Riesgo de crecidas fluviales. In: Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático, 840 pp, MIMAM 2005.

Bielza de Ory, V., (2001). Patrimonio y turismo sostenible desde la ordenación del territorio: el caso del Pirineo aragonés. Estudios Geográficos, LXII, 245, 583-603.

Brisson, N. Levraut, F. (2010). Synthèse du projet Climator, 24 p.

Caballero, Y. et Noilhan, J. (2003). Etude de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin Adour Garonne, rapport pour Météo France et l'Agence de l'Eau Adour Garonne, 26 p.

Camins Just, J., (2007). El cambio climático en los glaciares de los Pirineos. Editorial Barrabés.

Cataluña. Plan Técnico de Gestión Forestal

Cataluña. Campaña de vigilancia y control del ozono troposférico en Cataluña

Catalunya. Pla d'Actuació per prevenir els efectes de les onades de calor sobre la salut

Cerdan et al.. (2011). Impacts of global changes on soil vulnerability in Mediterranean basin. Proceedings of the International Symposium on Erosion and Landscape Evolution, Anchorage, 18-22 September 2011,

Clarimont, S., (2008). Turismo de invierno y Cambio Climático: La producción de nieve artificial en los Pirineos, ¿un uso eficiente del agua? Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua.

Collantes, F., (2003). Energía, industria y medio rural: el caso de las zonas de montaña españolas (1850-2000). Revista de Historia Industrial, Nº 23, 65-93.

Comité de bassin Adour-Garonne (2009). SDAGE Adour-Garonne 2010-2015, chap. 5, 112 p.

Comité de massif des Pyrénées (2006). Schéma interrégional d'Aménagement et de Développement des Pyrénées, 52 p.

Confalonieri U, Menne B, Akhtar R, Ebi KL, Hauengue M, Kovats RS, Revich B, Woodward A. (2007) Human health 2007. In: Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson. Eds. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 391-431.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2005). Evaluación preliminar de la incidencia del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2007). Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2007). Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la C.H. Ebro. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Confédération Pyrénéenne du tourisme (2011). Dossier de Presse hiver 2011-2012, 20 p.

Confédération Pyrénéenne du tourisme (2010), Pyrénnotes la lettre d'information de l'observatoire du tourisme pyrénéen, décembre, 14 p.

Confédération Pyrénéenne du tourisme (2011) Tourisme pyrénéen-bilan de saison été 2010 juin, 14 p.

CRGF (2008). Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique, 4 p.

Daubet B., De Miguel Macaña S., Maurette A. (2007). Le livre blanc des forêts pyrénéennes - Pour une gestion durable des forêts, GEIE FORESPYR, pp. 83

Delecolle R. et al. (1999). Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française, In 'C.R. Acad. Agric. Fr., 85 n°4'. Pp 45- 51.

Duquesne C. (2008). Synthèse bibliographique des effets du réchauffement climatique sur le massif des Pyrénées, Observatoire Pyrénées du Changement Climatique, 60 p.

Dusbois & Céron (2006). Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme : étude exploratoire en vue d'un programme de recherche, 131 p.

EEA (2009). Progress toward the European 2010 biodiversity target, EEA Report, N°4, 52 pp.

España (2008) Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Boletín Oficial del Estado, 229, 22 de septiembre, 38472-38582.

Espejo, C. (2004). La energía solar fotovoltaica en España. Nimbus N°13-14, 5-31.

Etchevers P. et Martin, E. (2002). Simulation de l'enneigement Pyrénéen à l'aide des modèles Safran-Crocus, Météo-France

García-Ruiz, J.M., López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Lasanta-Martínez, T. y Beguería, I., (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. Earth-Science Reviews 105, 121–139.

Gottfried, Michael, Harald Pauli, Andreas Futschik, Maia Akhalkatsi, Peter Barancok, Jose Luis Benito Alonso, Gheorghe Coldea, et al. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change ». Nature Clim. Change 2 (2) : 111-115. doi:10.1038/nclimate1329.

Govern d'Andorra. (2012). Departament d'Estadística. <http://www.estadistica.ad>

Ibarra, P. (2002). El medio natural de los Pirineos: límites y condicionantes para el desarrollo de actividades económicas. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural, nº 2, 9-42.

INERIS (2009). Interactions entre pollution atmosphérique et changement climatique, 13 pp.

Instituto Aragonés de Estadística - IAEST. Gobierno de Aragón. Estadísticas demográficas, datos del padrón municipal.

Instituto de Estudios Turísticos (IET), (2010). Balance del Turismo 2009. Resultados de la actividad turística en España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Instituto Nacional de Estadística, (2011). Encuesta de Ocupación en Alojamientos Turísticos (Alojamientos de Turismo Rural).

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), (2006). Minicentrales hidroeléctricas. Manuales de Energías Renovables, 6. Madrid.

IPCC (2002). Les changements climatiques et la biodiversité, Document technique V du GIEC, 89 p.

IPCC (2007), "Climate Change 2007: Impacts Adaptation and Vulnerability", Contribution du Groupe de travail II au *Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge

IPCC (2007), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 104 p.

IPCC (2007), Annexe II - Glossaire des contributions des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC. 14 p.

IPCC (2012). SREX - Managing The Risks Of Extreme Events And Disasters To Advance Climate Change Adaptation. http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf

Isoard, S., Grothmann, T. and Zebisch, M., (2008). *Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation: Theory and Concepts*, Workshop 'Climate Change Impacts and Adaptation in the European Alps: Focus Water', UBA Vienna

Julián, A., Peña, J.L., Chueca, J., Zabalza, J., Lapeña, A. y López, I., (2000). Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: metodología y resultados. Boletín de la AGE Nº30, 119-134.

Jump S. and Penuelas J. (2005). Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change, Ecology Letters, Vol. 8, Issue 9, p. 1010-1020

Kuhn K.G., Campbell-Lendrum D.H. y Davies C.R. (2002). A continental risk map for malaria mosquito (Diptera: Culicidae) vectors in Europe. J Med Entomol. 39(4), 621-30.

Lasanta Martínez, T., (2002). Los sistemas de gestión del Pirineo central español durante el siglo XX: del aprovechamiento global de los recursos a la descoordinación espacial en los usos del suelo. Revista de estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural. 2, p 173-195. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático" Oficina Española de Cambio climático. Ministerio de Medio ambiente.

Lasanta, T., Laguna Marín-Yaseli, M. & Vicente-Serrano, S.M., (2007). Do tourism-based ski resorts contribute to the homogeneous development of the Mediterranean mountains? A case study in the Central Spanish Pyrenees. Tourism Management, 28(5), 1326-1339.

Lavaud J. (2009). L'impact du changement climatique en Midi-Pyrénées, l'exemple des Pyrénées, ARPE Midi-Pyrénées, 78 p.

Lebon E. (2002). Changements climatiques : Quelles conséquences pour la viticulture ?, 6 p.

Lehner, B. et al., (2005). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated assessment. *Climatic Change*, 75, 273-299

Lelièvre, F. S. Sala & F. Volaire (2011). Impacts du changement climatique 1950-2009 sur la production fourragère dans le sud de la France, projet Climfourel, 43 p.

Lelièvre, F., S. Sala & F. Volaire (2011). Changement du climat dans le sud de la France, projet Climfourel, 45 p.

Lenoir J. et al. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century, *Science* 27 June 2008: 1768-1771.

Létard et al. (2004). La France et les français face à la canicule, les leçons d'une crise, Rapport d'information du Sénat n°195, 391 pp.

Lindner et al. (2008) Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. European Forest Institute, Joensuu, Finland.

Llebot, E. , coord. (2009). Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, J.E. Llebot (coord.). I Generalitat de Catalunya, Catalunya pp. 243-307, 2010.

López-Moreno, J. I. & Beniston Beniston, M. y Lopez-Moreno, J.I. (2008) Daily precipitation intensity projected for the 21st century : seasonal changes over the Pyrenees, *Theoretical and Applied Climatology*, 95, 375-384.

López-Moreno, J. I., S. Goyette and M. Beniston, (2008), Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models,. *Int. J. Climatol.* 28, 1535–1550

Lurgi M, López BC, Montoya JM (2012a). Climate change impacts on body size and food web structure on mountain ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367, 3050-3057

Lurgi M, López BC, Montoya JM (2012b). Novel communities from climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367, 2913-2922

MARM (2008). Control general de los glaciares del pirineo español. Año hidrológico 2007-2008. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/control_general_de_los_glaciares_del_pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf

MARM-CEDEX (2011). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural. Disponible en http://www.marm.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/EGest_CC_RH.aspx

Maton L. (2010). Le changement climatique dans les Pyrénées Orientales : Impacts sur l'agriculture et stratégies d'adaptation, Livret du participant - Atelier réalisé dans le cadre du projet de recherche VULCAIN (ANR-06VULN008), 13 p.

MeteoCat. (2011). Temperatura i nivell del mar. Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics (BAIC). Any 2010
Diponible en:
http://www20.gencat.cat/docs/meteocat/Continguts/Climatologia/Indicadors%20climatic%20a%20Catalunya/pdf/BAIC%202010/BAIC%202010_capitol_4_temp_nivell_mar.pdf

Mieczkowski, Z. (1985). The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism. *Le géographe canadien* XXIX(3): pp. 220-233.

Ministerio de Fomento, (2010). Observatorio Hispano-francés de Tráfico de los Pirineos. Suplemento al documento nº5. Principales cifras actualizadas al año 2008.

Miquel C. (2012). Étude préliminaire sur les changements climatiques dans le massif des Pyrénées: caractérisation et effets previsibles sur la ressource en eau. http://www.opcc-ctp.org/etudes/memoire_IDPE_2012_CMiquel_EauEtEnvironnement_v0.pdf

Moisselin J.-M. et Dubuisson B. (2004). Les indices climatiques observés, annexe A du rapport final du projet IMFREX, 16 pp.

Moreau J.-C., Lorgeou J. (2007). Premiers éléments de prospective sur les conséquences des changements, *Fourrages* 191, p. 285-296

Moulin, C.H., (2011). Sensibilité des systèmes d'élevage aux aléas climatiques et adaptations mises en œuvre par les éleveurs, projet climfourrel, 16 p.

Observatorio de la Sostenibilidad en España, (2011). Los bosques en España (2011, Año Internacional de los Bosques). En: Ediciones Mundiprensa (Eds.). Informe Sostenibilidad en España 2011, 426p. Madrid.

Observatorio Pirenaico del Cambio Climático, (2010). Compartir los conocimientos sobre el impacto del cambio climático en montaña. Enero-Septiembre 2010. Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTP).

Oficina Española de Cambio Climático, (2006). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Marco para la coordinación entre Administraciones Públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid

Olcina, J. (2008) Panel científico-técnico de seguimiento de la política del agua. Prevención de riesgos: cambio climático, sequías e inundaciones. Universidad de Alicante.

Ostro, B. et al. (2012) The impact of summer temperatures on public health in Barcelona and Catalonia. *Int J Biometeorol* DOI 10.1007/s00484-012-0529-7

Pascal M. (2010) Impacts sanitaires du changement climatique en France, quels enjeux pour l'InVS ?», Institut de veille sanitaire, 57 p.

Penuelas J. y Boada M. (2003). A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain), *Global Change Biology*, Vol. 9, Issue 2, p. 131-140

Prohom y Cunillera,(s/d). Servei Metereològic de Catalunya.

Rapport interministériel (2009), Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France - rapport de la seconde phase : Partie III - Rapport des groupes sectoriels, 231 pp.

Redaud J.L. (2002). Changement climatique et impacts sur le régime des eaux en France, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 41 p.

Région Midi-Pyrénées (2010). La prise en compte régionale des défis liés au changement climatique et à la perte de la biodiversité, 142 p.

René, P. (2007). Les glaciers des Pyrénées français: présentation et variations récentes [Association Moraine].

Rhône-Alpes énergie-environnement (2007). Changement climatique, comment s'adapter en Rhône-Alpes ?, 40 p.

Roman-Amat B. (2007). Préparer les forêts françaises au changement climatique, 125 p.

Sebastiá, M.T., (2007). Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland. *Journal of Applied Ecology*, 44: 158–167.

Séguin B. (2007). Impacts du changement climatique et adaptation de l'agriculture, INRA, 6 p.

Séguin B. (2007). Le réchauffement climatique : impacts sur les agricultures européennes, INRA, 14 p.

Serrano Muela, P., Regüés, D. y Nadal-Romero, E., (2010). La variabilidad temporal de la respuesta hidrológica en una pequeña cuenca mediterránea forestada del Pirineo central. *Pirineos. Revista ecología de montaña*, 165, 193-213.

Serrano, E., Martinez de Pison, E. y Lampre, F., (2004). Desaparición de los glaciares pirenaicos españoles. Greenpeace.

Service Presse INRA (2003). Abricotiers : les risques d'une floraison plus précoces et plus réduites

SGAR Midi Pyrénées (2011). Etudes stratégies d'adaptation territoriale au changement climatique dans le Grand-Sud-Ouest, 44 p.

Singer B.D. et al. (2005). Increasing Amb a 1 content in common ragweed ([83] *Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO2 concentration, *Funct Plant Biol* ; 32: 667-70.

Turco, M. y M. C. Llasat, (2011). Trends in indices of daily precipitation extremes in Catalonia (NE Spain), 1951–2003. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 3213–3226, doi:10.5194/nhess-11-3213-2011.

Uche, J. y Carrasquer, B., (2010). Análisis prospectivo sobre la interrelación agua y energía en la Cuenca del Ebro. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Universidad de Zaragoza.

UNISDR (2003). Inverser le cours des catastrophes pour un développement durable. Campagne mondiale pour la prévention des catastrophes. Glossaire.

Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J. I. & Beguería, S., (2007). La precipitación en el pirineo español: diversidad espacial en las tendencias y escenarios futuros. Pirineos, 162, 43-69.

Villar, L et Dendaletche, C. (1994). Pyrenees. France, Spain and Andorra. In S. D. Davis, V.H. Heywood & A. C. Hamilton (eds.), Centres of Plants Diversity, a Guide and Strategy for their Conservation 1: 61-64. Information Press, Oxford.

Villar, L., (1988). El elemento endémico en la flora del Pirineo occidental español. In: Homenaje a Pedro Montserrat. Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, 371-381.

Ziska L.H. et al. (2003) Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health, J Allergy Clin Immunol ; 111:290-5.

4.2. Sitios de internet consultados

Agence biologique : <http://www.agencebio.org>

Agencia europea del medio ambiente: <http://www.eea.europa.eu/>

Agencia Catalana de l'Aigua <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos>

Calidad del aire de Aragón : <http://www.aragonaire.es>

CREAF <http://www.creaf.uab.es>

CREAL <http://www.creal.cat/>

CTFC <http://www.ctfc.cat/>

Climobs (observatoire francophone du changement climatique) : <http://www.universcience.fr/climobs>

Confederación Hidrográfica del Ebro. Sistema de Información Geográfica. Disponible en: <http://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx>

CTP (s/d) Atlas Estadístico del Pirineo / Atlas statistique des Pyrénées: www.atlas.ctp.org

Domaines skiables de France : <http://www.domaines-skiables.fr>

EEA. (2008) Results from JRC study. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-flow/river-flow-assessment-published-sep-2008>

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées : http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0102/impacts/impacts.htm

Gobierno de Aragón : <http://www.aragon.es>

Hazi – Corporación del Gobierno Vasco para el desarrollo del medio rural y marino: <http://www.hazi.es/>

ICAEN (Institut Català d'Energia): <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>

INRA : <http://www.inra.fr>

Institut Geològic de Catalunya: www.igc.cat

Instituto Geográfico Nacional: www.ign.es

Le Monde des Pyrénées : <http://www.pyrenees-pireneus.com>

Ministère de l'Industrie: www.industrie.gouv.fr

Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino <http://sig.marm.es/geoportail/>

Neiker : www.neiker.net

Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique : <http://opcc-ctp.org/>

Observatorio Pirenaico de Cambio Climático: www.opcc.org

ONERC : <http://onerc.developpement-durable.gouv.fr>

Organisation Mondiale de la Santé :
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/fr/index.html>

Proyecto ACCUA http://www.creaf.uab.es/accua/ACCUA_tecnica_internet.pdf

Proyecto FLUXPYR <http://fluxpyr.eu/eng/>

Proyecto K-Egokitzen <http://www.neiker.net/k-egokitzen/inicio.html>

Proyecto IMFREX : <http://imfrex.mediasfrance.org/>

Proyecto SCAMPEI : <http://www.cnrm.meteo.fr/scampeii/>

Red Eléctrica Española (REE), 2011. Mapa del sistema eléctrico peninsular. Disponible en: http://www.ree.es/transporte/mapa_red_transporte.asp

Sección de Fauna y Flora: www.espaciopirineos.com

Wikipedia, 2006. Mapa de regiones biogeográficas de Europa.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Europe_biogeography_countries.svg

El Estudio sobre la adaptación de los pirineos frente al cambio climático, cofinanciado por la región Midi-Pyrénées en el marco del POCTEFA, es liderado por un comité de seguimiento compuesto de:

➤ **Representantes de las siguientes instituciones:**

Région Aquitaine - Delegación Agricultura, Desarrollo Sostenible y Turismo & Dirección de los fondos estructurales y de cooperación transfronteriza

Région Languedoc-Roussillon - Dirección del Medio Ambiente

Comunidad de Trabajo de los Pirineos

Gobierno de Andorra - Ministerio de Turismo y Medio Ambiente

Generalitat de Catalunya - Oficina Catalana del Cambio Climático

Región Midi-Pyrénées - Dirección del Medio Ambiente y del Desarrollo Sostenible

Agencia Regional para el Medio Ambiente de Midi-Pyrénées (ARPE)

Gobierno de Navarra - Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente

Agencia Europea del Medio Ambiente - Departamento de Sistemas Naturales

➤ **Miembros del Consejo Científico del OPCC:**

Maria del Carmen LLASAT BOTIJA - Doctora en Física - Grupo de Análisis de situaciones meteorológicas adversas (GAMA) – Universidad de Barcelona

Bernat CLARAMUNT LÓPEZ - Director del Grupo de Investigación Alpina (GREP) del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Marta Guadalupe RIVERA - Centro de Investigación en Economía y Desarrollo Agroalimentario (CREDA-UPCIRTA)

Maria Teresa SEBASTIA - Profesora de Botánica - Centro Técnico Forestal de Cataluña (CTFC)

Marie-Christine ZELEM - Profesor de sociología - Centro de Estudios e Investigación Trabajo, Organización, Poder (CERTOP) - Universidad de Toulouse II Le Mirail

El estudio está realizado por el agrupamiento siguiente: ACTeon – BC3 - FreshThoughts

Contactos

Comunidad de Trabajo de los Pirineos

C/ Ramón y Cajal, 7 - Torre del Reloj - E - 22700 JACA

Tel.: +34 974 36 31 00 - Fax: +34 974 35 52 29

www.ctp.org

www.opcc-ctp.org

Conseil Régional Midi-Pyrénées

22, boulevard du Maréchal Juin - 31406 Toulouse Cedex 9

Tél: +33 (0)5 61 33 50 50 - Fax: +33 (0)5 61 33 52 66

www.midipyrenees.fr

