

2 Zona de estudio: fisiografía y climatología

En este capítulo se presentan las características orográficas, topográficas y climatológicas del área de estudio, aspectos fundamentales para entender el régimen de vientos que se produce en la región. El primer apartado presenta una descripción general de la Península Ibérica basada en Ascón et al. (1991), Ascón et al. (1992) en lo referente a la orografía, y en Capel-Molina (2000) y Martín-Vide y Olcina (2001) en la climatología. A continuación se presentan los rasgos principales de la orografía de Catalunya, principales causantes de las circulaciones que se generan en las distintas situaciones atmosféricas, y la climatología de la región basado en Font et al. (1992).

2.1 Península Ibérica

La Península Ibérica se encuentra rodeada por grandes estructuras marinas. Al norte y oeste limita con el océano Atlántico, mientras que al este limita con el mar Mediterráneo. Esta característica, junto con su compleja orografía y localización (latitudes medias, ligeramente al sur de la circulación general de las depresiones atlánticas) producen una elevada diversidad de climas y regímenes de vientos en el territorio. La **Figura 2.1** enmarca a la Península Ibérica en el contexto europeo, con una compleja orografía e influida por dos continentes de características climáticas tan importantes como son Europa y África. Por eso, para situaciones sinópticas determinadas se producen gran número de tipos de tiempo distintos en toda la extensión de la Península Ibérica (Martín-Vide, 1984). Este hecho es tan característico, que incluso en el área geográfica de Catalunya (AGC) se presenta esta diversidad de tipos de tiempo para una determinada situación sinóptica.



Figura 2.1 Localización de la Península Ibérica.

2.1.1 Orografía

La altitud media de la Península, 650 m, es en gran medida superior a la del conjunto europeo, solo superada por Suiza (un estado alpino). Un 57.7% del territorio español rebasa los 600 m de altitud y cerca de una quinta parte (18.4%) supera los 1000 m (Martín-Vide y Olcina, 2001). Estos valores son claramente descriptivos de la compleja orografía que uno se puede encontrar por la Península (ver **Figura 2.2**).

La principal estructura que conforma la Península Ibérica es la Meseta. Una vasta plataforma elevada y basculada ligeramente hacia el Atlántico, con una altitud media de 650 m. Juntamente con ésta, el conjunto de cordilleras o grandes sistemas orográficos (con montañas que pueden alcanzar más de 3000 m) dispuestos alrededor de la propia Meseta caracterizan la orografía de la región.

La Meseta se divide en dos partes principales, la Meseta (o submeseta) norte y la Meseta sur. El Sistema Central es el accidente geográfico que las divide, orientado de oeste a este en la mitad peninsular. El sector septentrional de la Meseta, más elevado que el meridional, está ocupado por la extensa cuenca del río Duero. Al sur del Sistema Central, la alineación paralela de las Montañas de Toledo separa las cuencas del río Tago y el Guadiana. El entorno de la Meseta se encuentra limitado por grandes sistemas orográficos que la rodean, a excepción del límite con Portugal, donde la orografía se suaviza sensiblemente.

Los límites septentrionales de la Meseta son de oeste a este, el Macizo Galaico, de compleja conformación, las Montañas de León, y las Cordilleras Cantábricas (sistema orográfico de mayor altitud). Los Montes Vascos, situados más hacia el este presentan un relieve más moderado.

Por el nordeste, la Meseta está delimitada por el Sistema Ibérico. Éste está formado por un conjunto de cordilleras, y está dividido por la depresión de Teruel. El Sistema Ibérico separa la Meseta del nordeste Peninsular, con una orografía muy particular y compleja. Los límites meridionales de la Meseta están definidos por la Sierra Morena, que separa esta estructura de la depresión del Guadalquivir.

Las dos depresiones más importantes de la Península son la formada por el valle del río Ebro, y la del río Guadalquivir. La primera queda aislada de la costa mediterránea por las cordilleras litorales de Catalunya, en cambio, la del Guadalquivir se abre directamente hacia el océano Atlántico. Estos dos sistemas están bien delimitados por grandes accidentes geográficos.

Los Pirineos y el Sistema Ibérico delimitan la depresión del Ebro formando una canalización de masas de aire de gran magnitud. Análogamente, para el Guadalquivir, la Sierra Morena y el Sistema Penibético y Subbético conforman el amplio valle meridional de la Península.

Los valles de los ríos Duero, Tago y Guadiana forman depresiones significativas, aunque de menor envergadura a las dos anteriores.

Las dos grandes cordilleras Peninsulares, exteriores a la Meseta son al nordeste los Pirineos, que se elevan en el istmo que une la Península con el resto del continente, y al sur el Sistema Bético, con una disposición paralela a la costa. El sistema de los Pirineos está formado por montañas con cumbres superiores a los 3000 m de altitud en su parte central con una orientación de oeste a este. Por su parte, el Sistema Bético comprende las montañas más elevadas de la Península Ibérica, y se divide entre el Sistema Subbético y el Sistema Penibético.



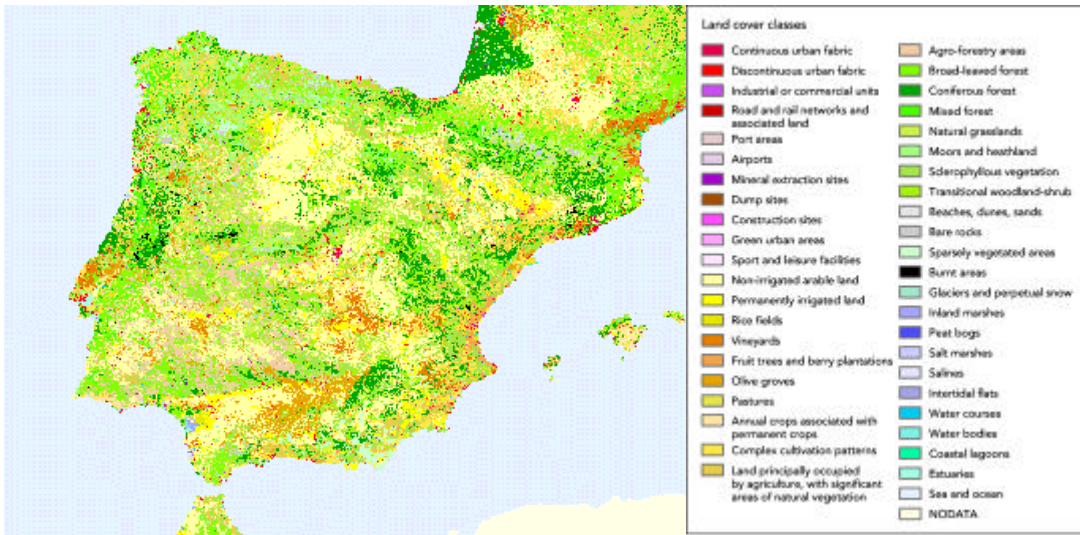
Figura 2.2 Orografía de la Península Ibérica (Fuente: Ascón et al., 1991).

Todo el litoral del levante peninsular se caracteriza por una compleja orografía con cordilleras litorales en la mayor parte. Desde el sur, se alzan las cordilleras del Sistema Penibético, el Sistema Subbético, más hacia el norte el límite sureste del Sistema Ibérico, y las cordilleras litorales y prelitorales de Catalunya. Esta complejidad no es tan acusada en la costa Atlántica, con cordilleras de menor altitud, exceptuando la región de Galicia, y con una apertura al atlántico en la mitad sur.

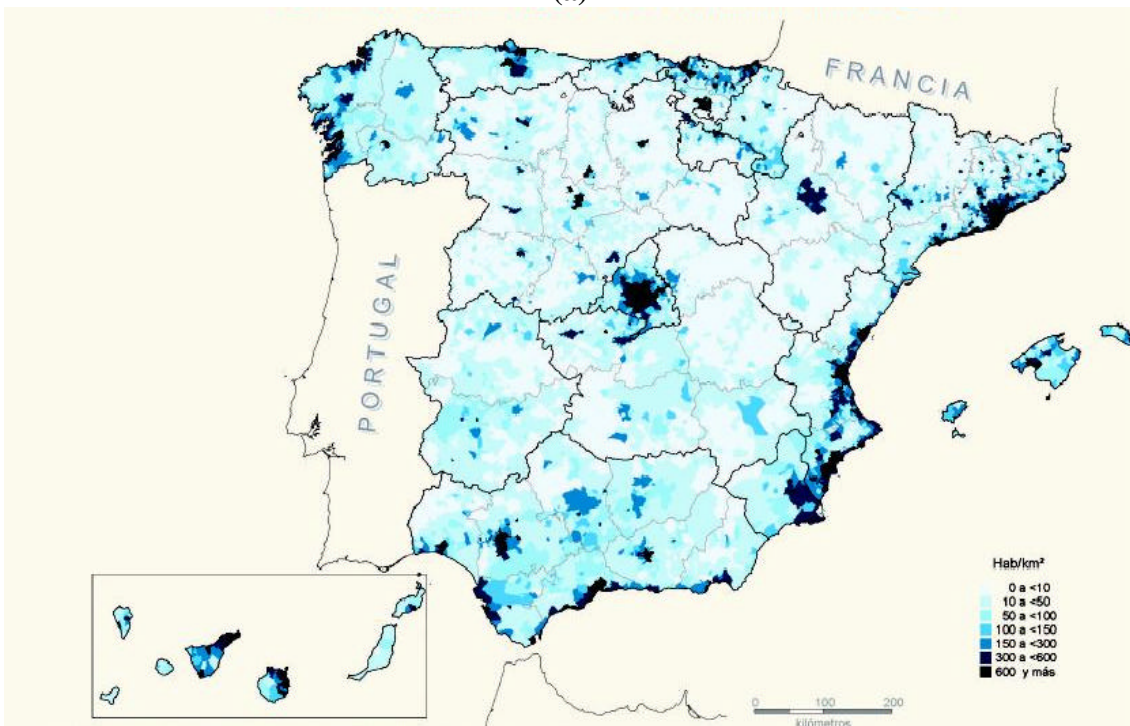
Esta complejidad orográfica pone de manifiesto la elevada variabilidad climática que se puede esperar en la Península y en los flujos dominantes en la misma.

2.1.2 Usos del suelo y fisonomía humana

La complejidad orográfica de la Península Ibérica se traduce directamente con una heterogeneidad en los usos del suelo. La **Figura 2.3a** muestra un mapa de los usos del suelo de la Península Ibérica extraído de la base de datos CORINE de la *European Environmental Agency (EEA)*, NATure/LANd Cover Map (EEA, 2000).



(a)



(b)

Figura 2.3 (a) Usos del suelo de la Península Ibérica (Fuente: EEA, 2000); (b) Densidad de población de España por término municipal a 1 de enero de 2003 (Fuente: MAPA, 2004).

La Península se caracteriza por extensas regiones clasificadas como cultivos de secano, como es el caso de la Meseta Norte, parte de la Meseta Sur, Valle del Guadalquivir y

del Ebro. Los grandes sistemas orográficos presentan distintas coberturas forestales con zonas de nieves perpetuas en las cumbres más elevadas. Todo el límite septentrional y de poniente peninsular se caracteriza por un clima más húmedo, que se traduce con coberturas vegetales más desarrolladas, en comparación con el sur y el litoral mediterráneo. Los cultivos arbóreos son importantes en todo el arco mediterráneo y gran parte de la mitad este del valle del Guadalquivir. Los cultivos de regadío por su parte se concentran en su mayoría a lo largo del río Ebro y del Guadalquivir y en la mayor parte de la Región de Murcia.

La elevada heterogeneidad de los usos del suelo a lo largo de la Península es un reflejo de la compleja orografía de la misma. Esta variedad en la cobertura peninsular puede jugar un papel relevante en las circulaciones térmicas que se pueden inducir en la región en situaciones donde no se presente un dominio de la situación sinóptica y domine el desarrollo de fenómenos mesoscales.

Referente al uso urbano, destacan las grandes ciudades de la Península como son entre otras Madrid, Barcelona o Lisboa. Destaca la elevada urbanización presente a lo largo del litoral mediterráneo, en contraste con el atlántico. La densidad de población más elevada se concentra en el área Metropolitana de Madrid y en la de Barcelona, y a lo largo de toda la costa mediterránea con densidades de población superiores a 600 Hab/km². Hay una gran diferencia entre estas regiones y el interior de la Península donde la densidad es más de seis veces inferior. En el litoral norte destacan las grandes capitales de provincia, sobretodo en las regiones costeras, como es el caso de Galicia.

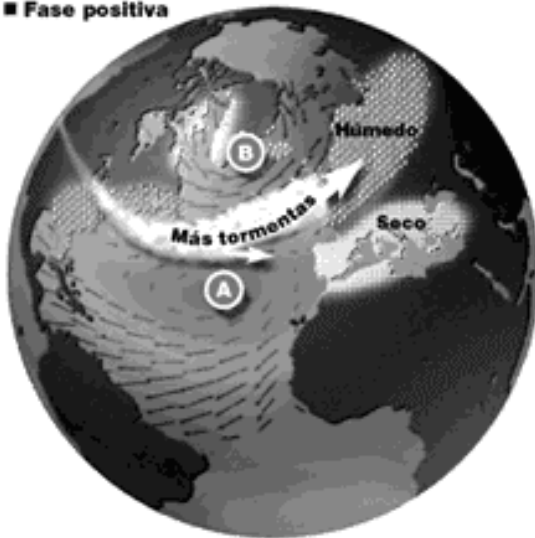
2.1.3 Climatología

2.1.3.1 Variabilidad climática

Las características climáticas de la zona presentan una variabilidad englobada en las variaciones del clima. Hasta los años 80 del siglo XX se hablaba de gran número de patrones de variabilidad climática que influían en las variaciones climáticas de distintas regiones. En los últimos años se ha visto que este gran número de patrones de variabilidad se pueden englobar en tres o cuatro patrones globales. Para el hemisferio norte se han identificado dos patrones principales, la Oscilación del Ártico denominada *Northern Annular Mode* (NAM) y el *Pacific-North American pattern* (PNA). Estos dos patrones o modos engloban los propuestos hasta el momento (Kerr, 2004). Referente a la variabilidad asociada a los climas europeos, como es el caso de la Península Ibérica, la NAM engloba la conocida Oscilación del Atlántico Norte (NAO). La NAO consiste en un dipolo norte-sur de anomalías de presión con un centro localizado sobre Islandia y otro de signo opuesto extendiéndose por las latitudes centrales del Atlántico norte entre 35°N y 40°N. Se habla de una fase positiva y una de negativa. La fase positiva de la NAO presenta un centro de presiones subtropical más intenso de lo habitual, con inviernos más húmedos y cálidos en el Europa septentrional, mientras que la región mediterránea presenta inviernos más fríos y secos. Por el contrario, durante la fase negativa, el patrón se invierte. La **Figura 2.4** muestra un esquema de las dos fases. Así, para entender el comportamiento climático de la Península Ibérica se debe tener presente a parte de la climatología analítica la climatología dinámica, con el conocimiento de los patrones de variabilidad climática identificados para el hemisferio norte.

Oscilación del Atlántico Norte

■ Fase positiva



■ Fase negativa

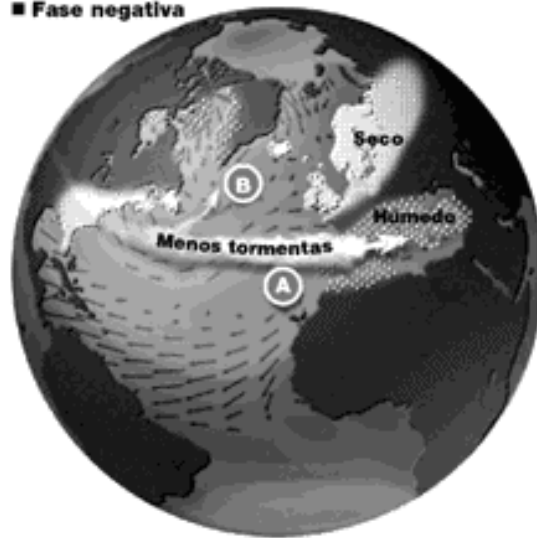


Figura 2.4 Esquema de las fases de la Oscilación del Atlántico Norte (Fuente: IDEO, Universidad de Columbia).

2.1.3.2 Rasgos climáticos

La localización de la Península entre los continentes europeo y africano, y entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, la sitúan en el dominio de un clima templado-frío y templado-cálido o subtropical. Esta localización es responsable de la estabilidad del tiempo y del clima continental de la meseta interior. El Mediterráneo constituye una fuente de calor y humedad que tiene un papel relevante en el tiempo y clima de la vertiente mediterránea de la Península, mientras que el clima del flanco septentrional y occidental está influido en gran medida por la presencia del océano Atlántico.

Los grandes centros de acción atmosférica que afectan la zona provienen generalmente del Atlántico. Al suroeste de la Península, el anticiclón de las Azores, de carácter subtropical, aporta masas de aire estable y cálido hacia la región, provocando largos períodos de sequía y aridez, tanto más acusada cuanto más hacia el sur y más hacia el este nos dirijamos por la península. Por el norte, también en el Atlántico, se originan depresiones que suelen penetrar por el mar Cantábrico y proporcionan un aire más frío y lluvioso. En algunas ocasiones estas depresiones se desplazan hacia el estrecho de Gibraltar e inducen lluvias intensas en el levante peninsular. Otro centro de acción importante está representado por las ciclogénesis que se originan en el mar Mediterráneo occidental, con una elevada influencia en la definición de las características climáticas del este peninsular.

Los frentes cálidos y fríos se distribuyen irregularmente, debido a la disposición del relieve, de tal forma que no permite un avance prolongado de las precipitaciones asociadas hacia el interior, y su paso frena el efecto suavizante de las brisas marinas sobre las temperaturas. Este hecho es la causa de una continentalidad climática bastante acentuada en el interior, con una amplitud térmica elevada.

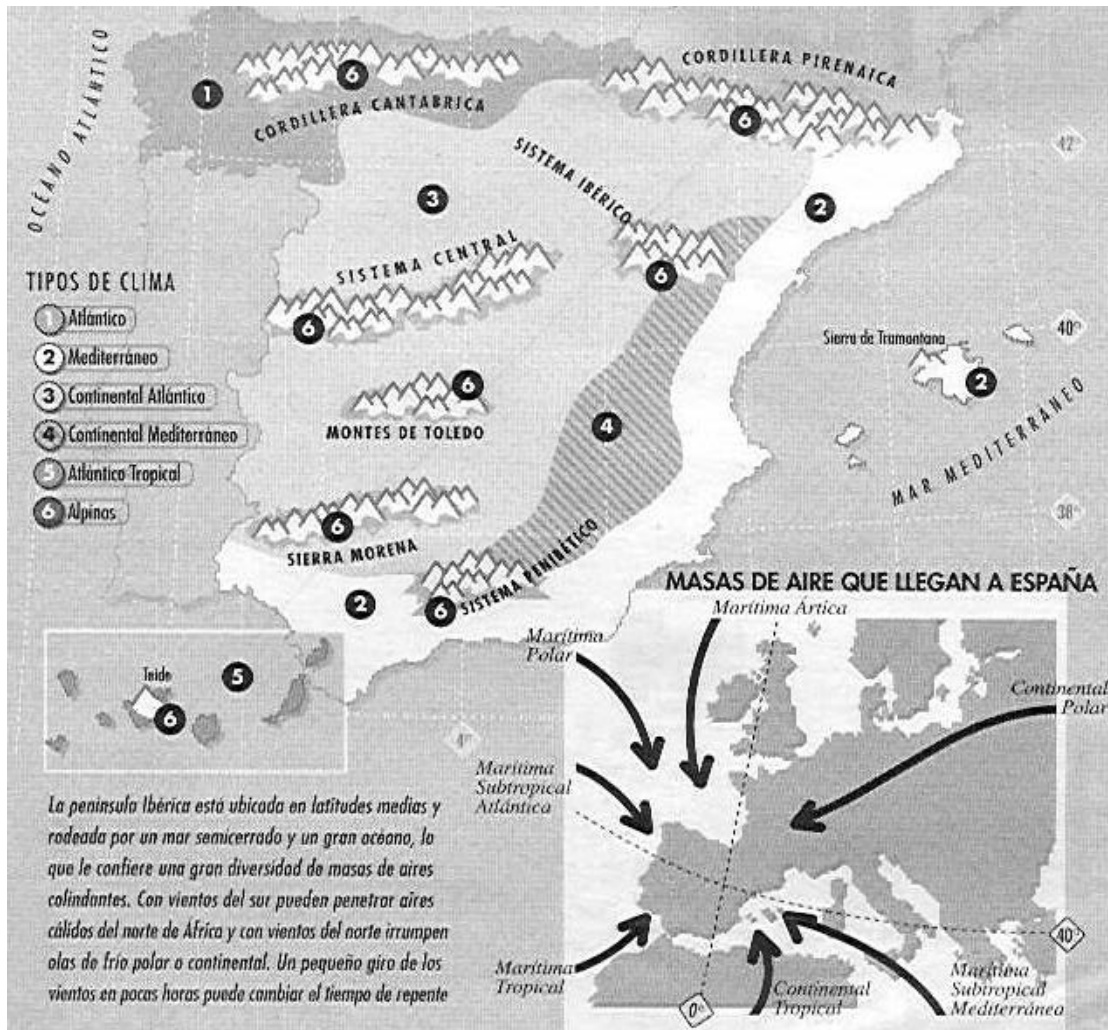


Figura 2.5 Esquema de los distintos climas de España (Fuente: INM).

La compleja orografía peninsular transforma un territorio templado-cálido o subtropical en uno templado-frío o frío y cambia zonas de escasa pluviometría en regiones que de otra forma serían lluviosas y viceversa. El factor orográfico juega un papel importante en la climatología peninsular. Algunos autores llegan a señalar que sin la existencia de los sistemas orográficos, la península se habría convertido en una zona seca y árida, especialmente toda la mitad sur hubiera pasado a ser una sucursal del Sahara (García de Pedraza y Castillo Requena, 1981).

Con estas particularidades se pueden identificar distintas zonas climáticas principales: atlántica, mediterránea, continental atlántica, continental mediterránea, y la de montaña o alpina en una primera aproximación. La **Figura 2.5** presenta esquemáticamente la distribución geográfica de estas zonas climáticas.

Estos rasgos fundamentales permiten identificar y caracterizar las distintas zonas climáticas presentadas anteriormente. Así, la fachada atlántica es donde se presenta una mayor precipitación de una manera bastante regular durante todo el año. Se caracteriza por las temperaturas frescas en verano y suaves durante el invierno. La franja mediterránea en cambio presenta una menor frecuencia de precipitaciones, y éstas se concentran en la primavera y el otoño, disminuyendo hacia el sur. Los inviernos son

más suaves, los veranos calurosos y las temperaturas más elevadas hacia el sur. La zona interior peninsular presenta los contrastes propios del clima continental, con inviernos fríos y veranos calurosos con escasez de lluvias, siendo éstas irregulares. Por otro lado, los grandes sistemas orográficos peninsulares, por efecto de la altitud, presentan un clima alpino, con temperaturas más bajas, sobretudo en invierno, y una pluviosidad elevada.

Tabla 2.1 Climas regionales más significativos de la Península Ibérica (Fuente: Capel-Molina, 2000).

Dominio	Clima regional	Región	Precipitación anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Amplitud térmica (°C)
Templado oceánico	Templado oceánico	Pirineos navarros, País Vasco, Cantabria, Asturias y norte de Galicia	1000-2000	12-14	baja
	Templado oceánico, con estación seca	Cantábrico oeste, Galicia, norte y centro de Portugal	900-3000	14-16	escasa
	Templado frío continental	Pirineos aragoneses y catalanes, interior de Catalunya, Sistema Ibérico, curso alto del río Ebro, meseta lucense y Alto Duero	800-2500	9-12	16-18
	Templado frío continental, con estación seca	Llanuras de Castilla, depresión del Ebro, cuencas altas y medias de los ríos levantinos	350-600	9-14	fuerte
Subtropical Mediterráneo	Mediterráneo oceánico	Golfo de Cádiz, Algarbe, Alentejo, y área del estrecho de Gibraltar	500-900	16-18	7-12
	Mediterráneo estepárico o subdesértico	Sureste Peninsular	200-300	18	12-16
	Mediterráneo continental	Bajo y medio Guadalquivir, Extremadura y provincia de Huelva	500-700	16-19	15-17
	Continental mediterráneo	Altiplanicies de Granada, Almería, Jaén, y altiplanos de Murcia, Alicante y Valencia	350-600	---	alta
	Mediterráneo de sotavento	País Valenciano y Baleares	400-700	18-19	---
	Mediterráneo valenciano	País Valenciano y Baleares	400-700	17-18	16-14
	Mediterráneo catalán	Litoral de Catalunya, comarcas del interior y próximas a la costa	600-800	14-17	15

Capel-Molina (2000) define once climas regionales fundamentales que se adscriben en dos dominios climáticos principales: dominio Mediterráneo y dominio templado-oceánico. Éstos se presentan en la **Tabla 2.1** con sus características más importantes.

a) Termopluviometría

La distribución de las precipitaciones en la Península Ibérica es compleja, y se observa una variedad de precipitación elevada. Sin embargo, si se observa un mapa de pluviometría peninsular, éste presenta una importante similitud con la orografía de la región. Los núcleos orográficos coinciden con los núcleos pluviométricos más importantes, aumentando la precipitación con la altitud. La compartimentación del relieve es la causante de los valores dispares que presenta la pluviometría de la Península Ibérica. Las diferencias en la precipitación de las regiones noroccidentales y surorientales son las más acusadas, hablando de un máximo de 3413 mm en el observatorio de Leonte, hasta un mínimo de 156 mm del cabo de Gata (Capel-Molina, 2000). La **Figura 2.6a** muestra el mapa de precipitación de la Península Ibérica. De un modo general se puede distinguir entre tres territorios pluviométricos:

- Iberia húmeda: Precipitaciones superiores o iguales a 800 mm.
- Iberia de transición: Entre 800 y 300 mm.
- Iberia árida: Precipitaciones inferiores a 300 mm.

Dentro de la Iberia húmeda se encuentra el núcleo galaico-duriense y cordilleras Pirenaica y Cantábrica. Esta área es la de pluviometría más elevada de toda la península. Los núcleos del Sistema Central también presentan valores elevados de precipitación, junto con los núcleos de los Montes de Toledo, Sierra Morena, Sistemas Béticos, núcleo de Monchique y del Montseny. Queda pues clara la relación entre los principales sistemas orográficos de la Península y la pluviometría.

La Iberia árida abarca preferentemente el sureste peninsular. Incluye la zona de la estepa litoral. La mayor parte de la Península comprende la Iberia de transición, abarcando las cuencas de los grandes ríos atlánticos y cuencas de los ríos de levante. Abarca buena parte de Andalucía, País Valenciano, Catalunya, las dos mesetas y varias regiones de Portugal.

El comportamiento termométrico de la Península presenta unos contrastes muy importantes entre las franjas litorales y el interior de la meseta. La considerable extensión superficial de la península Ibérica y su anchura posibilita diferencias notables en la temperatura media, con acentuados contrastes que se manifiestan por la presencia de la altiplanicie interior, rodeada de carenas montañosas que la aíslan de los mares circundantes, que la conducen a una notable continentalización (Ruiz Urrestarazu, 1982). Según se penetra hacia el interior, se va evidenciando esta continentalización. La **Figura 2.6b** muestra el mapa de temperatura media de la Península Ibérica.

Las temperaturas disminuyen ostensiblemente desde cualquier dirección que se acceda hacia la meseta. En conjunto la meseta constituye el espacio más frío de la Península. El litoral mediterráneo es el territorio más cálido junto con el valle del Guadalquivir debido a la influencia del cálido Mediterráneo y a las latitudes del sur.

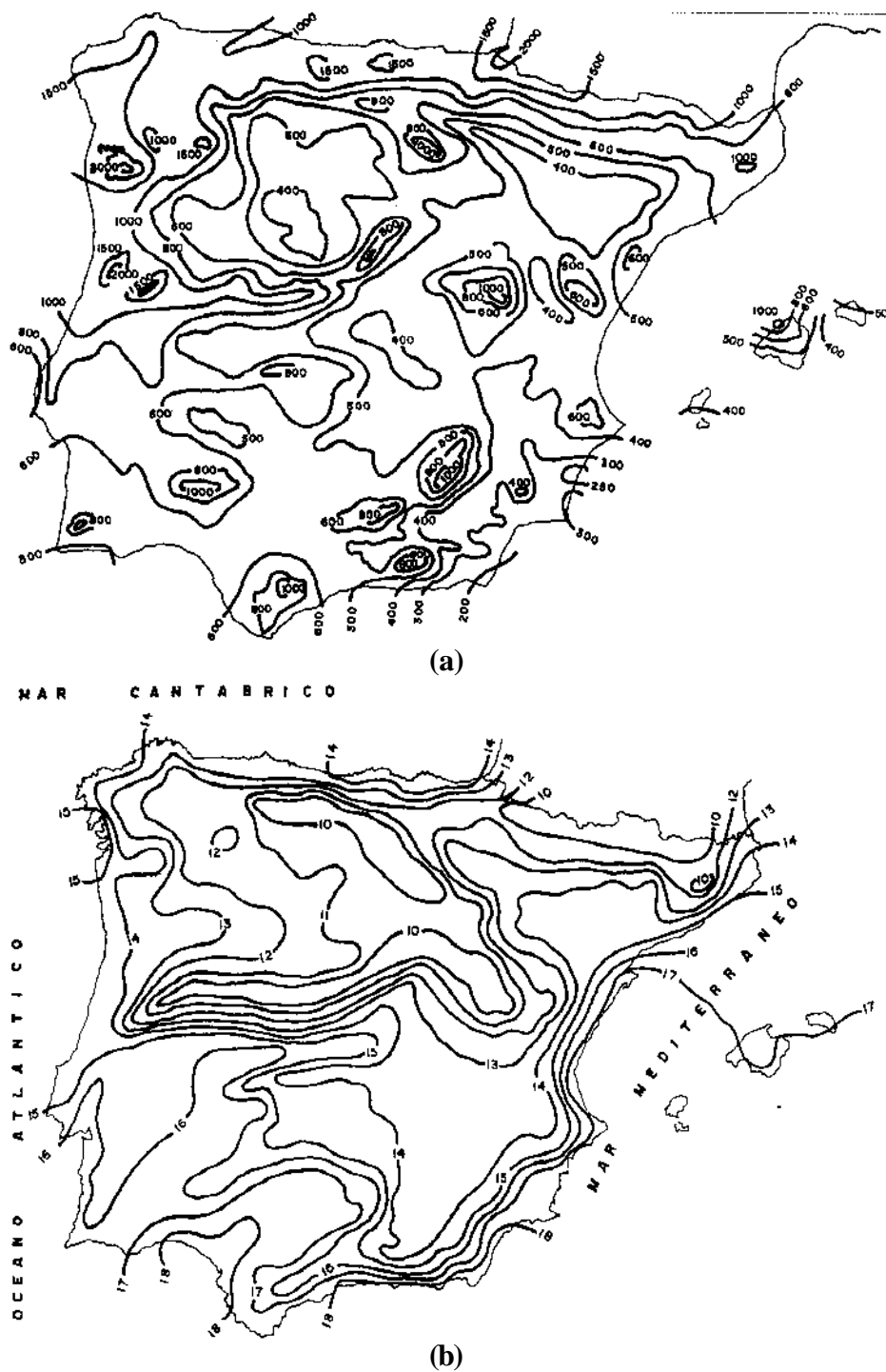


Figura 2.6 (a) Mapa de precipitación media anual en mm (período 1961-1990), y (b) temperatura media anual en °C para la Península Ibérica (Capel-Molina, 2000).

En el **Capítulo 4** se realiza una revisión bibliográfica de la climatología dinámica o sinóptica de la Península Ibérica y Catalunya. Es por eso que en este apartado no se introduce este tema, tan relevante para el estudio que se desarrolla, y se deja para más adelante.

b) Vientos

La orografía y la climatología dinámica de la Península Ibérica son causantes de unos vientos complejos y variables en todo el territorio. En su promedio anual, los vientos dominantes en la Península Ibérica son en la vertiente occidental atlántica los de componente W. En la franja litoral de Portugal predominan los vientos del N y del NW. Más hacia el interior, sigue dominando el flujo del N pero se va imponiendo la componente zonal y del SW. En el flanco oriental de la Meseta son los vientos de SE los dominantes. El litoral mediterráneo se caracteriza por una mayor presencia de vientos de primer y cuarto cuadrante. Estos últimos dominan también en el Cantábrico, mientras que la dirección dominante en el valle del Ebro es la WNW. La **Figura 2.7a** presenta los vientos anuales y las isobaras medias en la Península Ibérica.

Si se observa la situación bórica invernal típica del mes de enero, se acusa como la Península se constituye a modo de centro de divergencia de vientos secos hacia los mares circundantes, ver **Figura 2.7b**. Así, por el Cantábrico domina el S en San Sebastián y el W en Santander. En el litoral portugués, por encima de Lisboa, se establecen vientos de componente S, mientras que en latitudes menores dominan los flujos del N. Estos se extienden por toda la mitad suroccidental de la península. El interior continental está marcado por la presencia de una zona de altas presiones bien definida que induce una circulación anticiclónica en los vientos continentales. El litoral mediterráneo está dominado por los flujos hacia el mar, y en Catalunya se observa como la mitad norte está influenciada por los vientos del N, mientras que por el Ebro domina la componente W o NW.

Tomando como referencia la típica situación bórica estival del mes de julio, **Figura 2.7c**, los vientos soplan desviándose hacia el interior de la Península. Se establece una convergencia de vientos desde los mares circundantes hacia la meseta (Miller, 1975). Las isóbaras medias durante esta época del año muestran el dominio de las bajas presiones en el interior continental. Éstas presentan un origen térmico asociado a la baja térmica ibérica. En las Baleares se observa como domina una región de altas presiones relativas que corresponde a la compensación de la baja térmica ibérica sobre el Mediterráneo (e.g., Millán et al., 1997). El Cantábrico está dominado por vientos de componente N, y E hacia la mitad occidental. Portugal se ve afectado por flujos del segundo cuadrante inducidos por la presencia del anticiclón de las Azores en latitudes medias. Por el valle del Guadalquivir se observa la penetración de los vientos del SW, mientras que en el interior continental, las bajas presiones relativas inducen débiles flujos que presentan una circulación ciclónica. El litoral mediterráneo está dominado por los vientos de mar a tierra asociados al desarrollo de las brisas de mar. El WNW sigue predominando en el valle del Ebro, rasgo característico a lo largo del año.

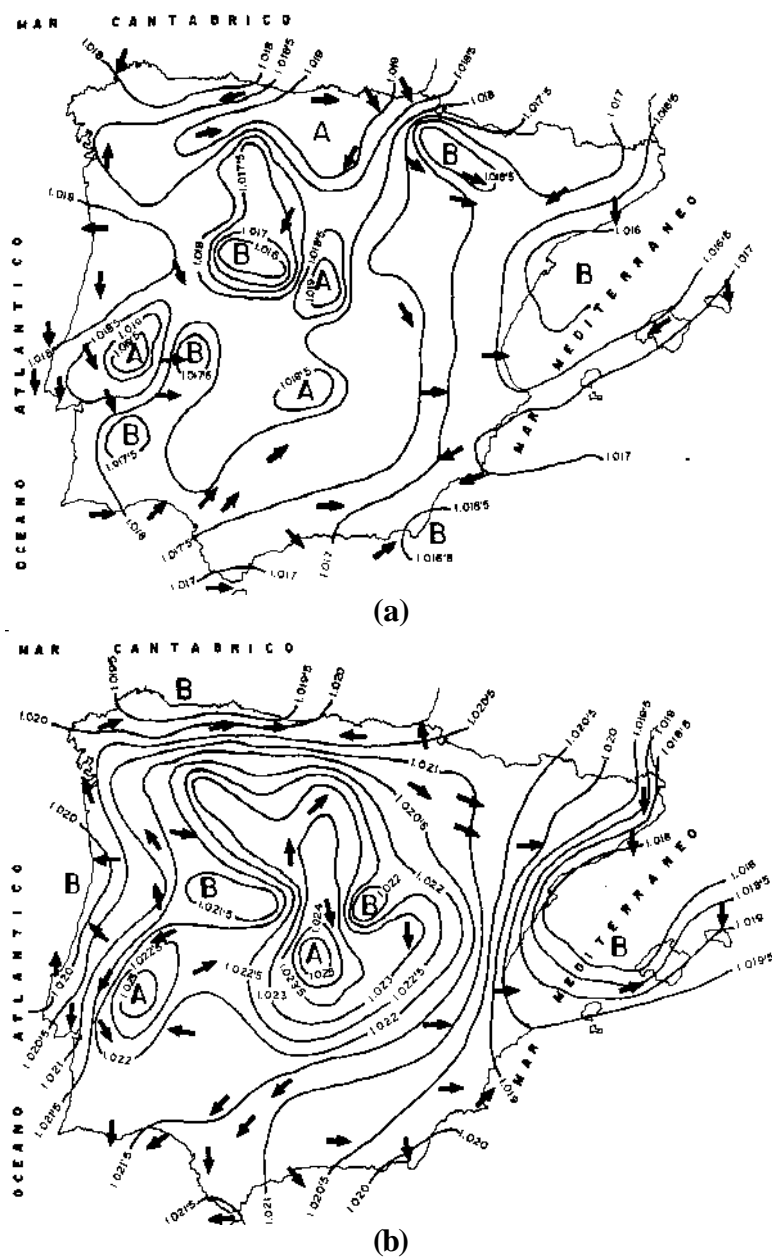


Figura 2.7 Mapa de isobaras y vientos anuales (a) medios, (b) de enero, y (c) de julio en la Península Ibérica [Presión reducida a nivel del mar en hPa] (Capel-Molina, 2000).

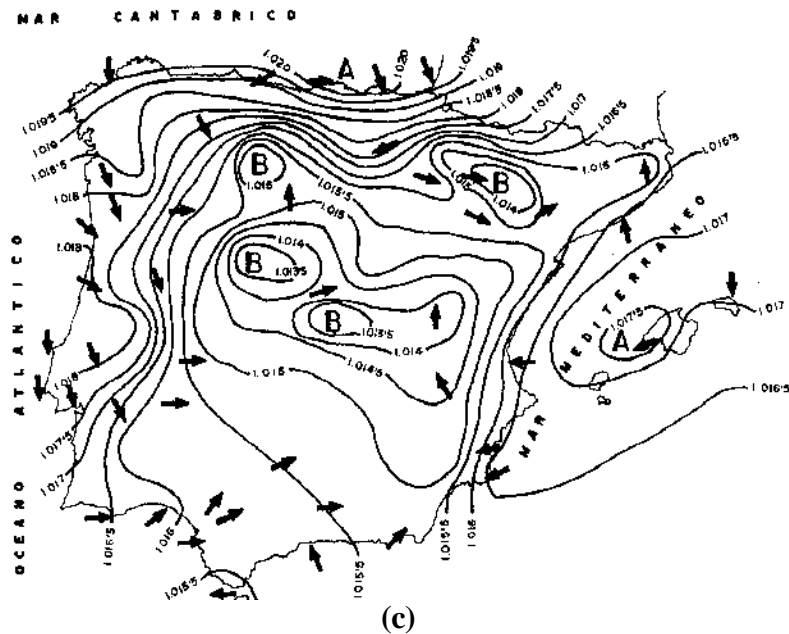


Figura 2.6 Cont.

La **Tabla 2.2** presenta un resumen de las denominaciones típicas de algunos vientos en distintas regiones de la Península Ibérica.

Tabla 2.2 Denominaciones típicas que reciben algunos vientos en la península Ibérica (Fuente: Capel-Molina, 2000).

Denominación del viento	Dirección	Región
<i>nortada</i>	Componente N y NNW	Litoral de Portugal
<i>tramontana</i>	N	Catalunya y Balears
<i>mistral</i>	NW	Balears y litoral catalán
<i>levante</i>	Componente E	Gran parte de la península
<i>llevant</i>	E	Catalunya y Balears
<i>cierzo</i>	WNW	Aragón
<i>ábrego</i>	SW	Iberia atlántica
<i>poniente</i>	W	Toda la Península
<i>vendaval</i>	Racheado del SW	Algarbe, golfo de Cádiz, y bajo Guadalquivir
<i>gregal</i>	NE	Zona marítima de Balears
<i>Leveche, migjorn, llebeig</i>	S o SW cálido y seco	Costas de Levante y sureste peninsular
<i>garbí</i>	Brisa persistente del E	Catalunya y Castellón
<i>regañón</i>	N	Tierra de Campos
<i>solano</i>	Viento del E de carácter terral	La Mancha y Extremadura

A parte de estas estructuras principales se distinguen también unas de secundarias, como son la Serralada Transversal y la Plana de l'Empordà, así como los deltas y los llanos costeros. En conjunto, en la región predominan en abundancia las cordilleras, depresiones y altiplanos, siendo la comunicación entre ellos a menudo por collados accidentados o por desfiladeros.

En la **Figura 2.8** se observan estas estructuras y los principales accidentes orográficos de la zona. La complejidad física del territorio a sido remarcada por distintos autores, antiguos y contemporáneos, con una visión laberíntica de su estructura que con el paso de los años se ha llegado a estructurar a partir de las tres grandes unidades expuestas anteriormente. Con ello, se quiere remarcar que un estudio en detalle de los fenómenos que se suceden en esta región ha de partir de una visión global, incidiendo a posteriori en el análisis más detallado de cada zona. Resaltar que las zonas que requieren un estudio de detalle son numerosas y diversas.

2.2.1.1 Pirineos

Más de una tercera parte del territorio de Catalunya corresponde a los Pirineos, que se elevan al norte con montañas de más de 3000 m de altura. En todo su conjunto forman una gran cordillera de 450 km de longitud y unos 100 km de anchura, extendiéndose desde el golfo de Vizcaya hasta el Cap de Creus, constituyendo el istmo que une la Península Ibérica con el resto del continente europeo. La parte catalana de los Pirineos abarca unos 220 km de longitud.

La formación se puede dividir desde un punto de vista hidrográfico y en función de su estructura litológica.

Desde el punto de vista hidrográfico se distingue entre Pirineo Occidental y Oriental. Esta distinción se basa en el hecho que las aguas del Pirineo Occidental van a parar a la cuenca interior del Ebro a través del Segre y sus afluyentes, mientras que las del Pirineo Oriental se abocan directamente al Mediterráneo a través del Ter y el Llobregat, sus afluentes y otros ríos menores. Estos dos sistemas quedan divididos por la fosa tectónica de Vallespir-Cerdanya-Urgell. Esta fosa representa la canalización natural más importante de los Pirineos. Separada por la Serra dels Clats, al este el valle de Rotjà (Francia) va a parar a la Plana del Rosselló, mientras que al oeste se presenta el importante valle de la Cerdanya que se extiende hacia poniente.

El Pirineo occidental es más accidentado. Presenta montañas más elevadas y una mayor amplitud. Destacan el Aneto con 3504 m, el valle de Aran, y el valle de Andorra. Las elevadas montañas conforman valles de orientación norte-sur en gran parte de esta región. Por su lado, los Pirineos orientales presentan una menor amplitud, y sus montañas no son tan elevadas.

Si se analizan los Pirineos desde un punto de vista litológico, estos se pueden dividir entre el Pirineo axial y los Prepirineos. Los Prepirineos limitan al sur con la Depresión Central, y constituyen el límite meridional del gran sistema orográfico del AGC.

2.2.1.2 Depresión Central

La Depresión Central abarca casi todo el interior de Catalunya, desde las extensas planas leridanas hasta la plana de Vic, y desde los relieves de la cordillera Prelitoral hasta las primeras cordilleras prepirenaicas. Presenta una gran amplitud hacia el oeste, donde se produce el nexo con las grandes estepas y planas aragonesas, pero desaparece hacia levante, donde queda comprimida entre el Pirineo y el Sistema Mediterráneo, formando lo que se conoce como cordillera o sistema Transversal.

La región occidental de la Depresión Central está constituida por la zona de las llanuras más importantes de Catalunya. Así, la Plana de Lleida y Plana d'Urgell representan la extensión más homogénea y extensa del AGC en lo que hace referencia a orografía y usos del suelo. Las dos llanuras limitan al norte con los Prepireneos, con la cordillera del Montsec como elemento más destacable en esta zona, y al sur con la cordillera Prelitoral hasta el altiplano de la Segarra al este. La orografía de esta región está dispuesta en forma de cuña con las regiones de menor altitud. Hacia el oeste se presenta como un enorme valle desde un punto de vista mesoscalar.

Formando parte de la Depresión Central encontramos el Pla de Bages, así como la Plana de Vic. El Pla de Bages queda limitado al norte por los Prepireneos, al oeste por la cordillera de las Garrigues, Castelltallat y Rubió de menor altitud, al sur por Montserrat y Sant Llorenç del Munt, y al este queda dividido de la Plana de Vic por la cordillera Font Joana y Granera. Se aprecian tres canalizaciones orográficas de los Prepireneos hacia el Pla siguiendo el curso de los afluentes del río Llogregat y el mismo. Siguiendo el curso del río Llobregat hacia el mar se aprecia la canalización hacia el sur del Pla de Bages hacia el litoral.

La Plana de Vic representa la parte más oriental de la Depresión Central. Se encuentra rodeada al este por dos sistemas montañosos importantes, la Serralada Transversal y las Guillerries. Se aprecian tres canalizaciones importantes desde la Plana de Vic. La primera sigue el curso del río Ter hacia su nacimiento en los Pirineos, a sotavento del Puigmal, montaña de los Pirineos orientales. La segunda canalización se constituye siguiendo el mismo río, pero esta vez hacia el mar. Presenta un tramo que circula entre la cordillera de Sant Bernat y la Serralada Transversal hacia Girona. Por último, la canalización del Congost hacia la Depresión Prelitoral es otro paso natural de la Plana de Vic hacia la costa. A diferencia del Pla de Bages, esta llanura se encuentra más rodeada de importantes cordilleras, y presenta una menor extensión. Estas características son responsables en parte de la particular dinámica atmosférica de la región.

2.2.1.3 Sistema Mediterráneo

El Sistema Mediterráneo comprende el conjunto de cordilleras y depresiones que se alinean de forma paralela al litoral mediterráneo, desde la plana empordanesa hasta el Ebro. Se suele dividir en tres grandes ámbitos: la Serralada Litoral, la Depresión Prelitoral y la Serralada Prelitoral, a parte de otras subunidades como son las llanuras costaneras y los deltas de los ríos. El conjunto se dispone paralelo a la línea de costa, con una orientación general NE-SW, de forma que, hacia el noreste converge con los últimos rasgos pirenaicos representados por la Serralada Transversal.

La cordillera Litoral está formada por un conjunto de sierras paralelas a la costa, predominantemente situadas en la mitad norte del Litoral. Por su parte, la cordillera Prelitoral se sitúa a unos 50 km hacia el interior. Ésta está constituida por montañas y cordilleras más elevadas y se extiende desde las tierras del sur hacia la mitad norte. Entre ambas cordilleras destaca la depresión Prelitoral, con una elevada urbanización en toda su extensión.

Los distintos ríos que desembocan en el mar Mediterráneo vehiculan por valles que se forman entre las diversas cordilleras del litoral e interior del AGC. Así, destaca el valle del Ebro, que penetra en el AGC con un recorrido sinuoso hasta llegar al Delta del Ebro. Subiendo hacia el norte destaca el río Francolí, que va deslizándose desde la Conca de Barberà por el congosto entre las montañas de Prades y la sierra de Miramar hacia Tarragona. En el litoral central se encuentra la desembocadura del río Llobregat. Éste circula desde la sierra del Cadí (Prepirineos) por toda la Plana de Bages (Depresión Central), pasando por el congosto entre Montserrat y Sant Llorenç del Munt hasta desembocar en el Delta del Llobregat. Otro río importante es el Besòs. Con todos sus afluentes conforma una serie de canalizaciones naturales hacia el interior del AGC por la Depresión Prelitoral y hacia la Plana de Vic. Estos dos ríos trazan un curso desde el interior de los Prepirineos hacia el mar con canalizaciones naturales que pueden forzar el transporte de masas de aire con recorridos muy extensos. Por último, destacar la canalización natural entre la sierra del Montnegre y la Sierra Marina hacia la Depresión Prelitoral siguiendo el río Tordera.

A parte del conjunto cordillera Litoral – depresión Prelitoral – cordillera Prelitoral, la Plana de l'Empordà representa una basta extensión de territorio comprendida dentro del sistema Mediterráneo. Rodeada por cordilleras, representa una zona con pocos accidentes geográficos, y expuesta al mar Mediterráneo. Al norte limita con la sierra de la Albera y de la Balameta, al sur con las Gavarres y al oeste con la sierra de Finestres. En esta región destaca el Cap de Creus y el macizo del Montgrí. Es una zona caracterizada por las tramontanadas al estar poco protegida por los Pirineos, y quedar dentro del radio de acción de este viento regional tan característico del AGC.

Toda esta intrincada orografía es básica para describir las circulaciones de las masas de aire que se producen en capas bajas de la troposfera. Así, los distintos valles de los ríos más importantes del AGC se convierten en canalizaciones naturales de los flujos que afectan a la zona. En una suma de escalas, los Pirineos y la Depresión Central gobiernan el comportamiento más general de los flujos, mientras que las particularidades de los vientos de la región se concretan a partir de las cordilleras y valles más locales.

2.2.2 Usos del suelo y fisonomía humana

A parte de la complejidad orográfica de la región, se debe considerar también la gran heterogeneidad en usos del suelo. En la **Figura 2.9a** se observan los distintos usos del suelo para Catalunya. Queda patente la gran diversidad presente a lo largo del territorio, debido básicamente a la ocupación del mismo. Destacan las importantes extensiones de uso forestal, así como el cultivo agrícola y de regadío en el interior y costa sur. Cabe resaltar el elevado uso urbano que se observa en las inmediaciones de la ciudad de Barcelona, constituyendo el área metropolitana de Barcelona.

La **Figura 2.9b** presenta la densidad de población por municipios de Catalunya en el año 2001. Queda muy claro el importante peso que tiene el área metropolitana de Barcelona, así como el litoral de la mitad costera norte. En el interior, la densidad disminuye sensiblemente, concentrándose en capitales de comarca, y hacia los Pirineos, ésta disminuye en gran medida.

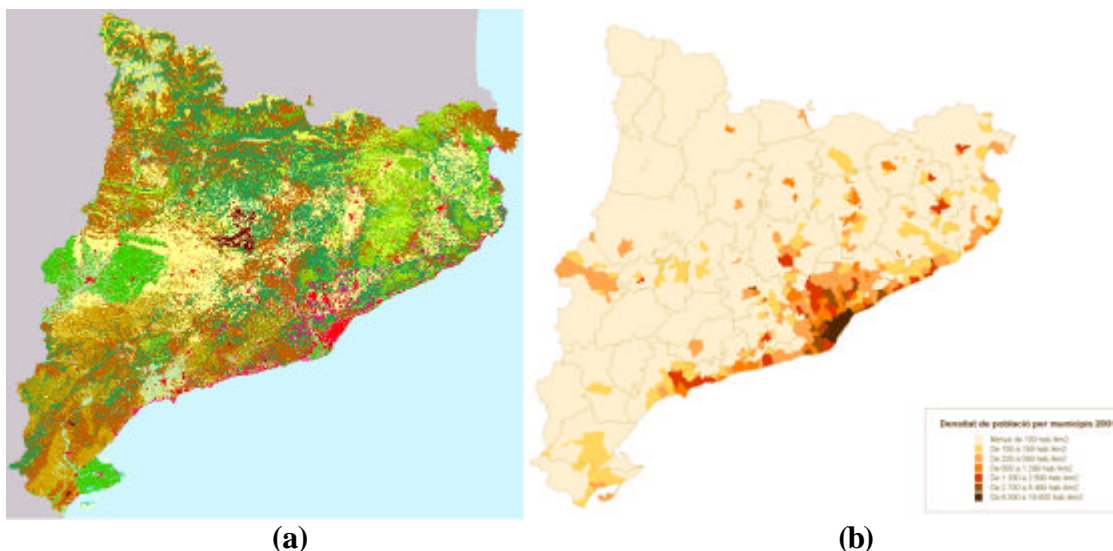


Figura 2.9 (a) Mapa de usos del suelo de Catalunya del año 1997 y (b) mapa de la densidad de población de Catalunya de 2001 (Fuente: Departament de Medi Ambient y Departament de Política Territorial i Obres Públiques).

Asociando la densidad de población con los focos de contaminación atmosférica de origen antropogénico se observa como el área metropolitana de Barcelona, y en particular la propia ciudad de Barcelona representan los focos más importantes para el área de estudio, junto con la región de Tarragona. También, todo el litoral central y norte catalán destaca por su elevada densidad de población en comparación con el interior. Teniendo en cuenta este hecho, y lo comentado en la descripción del medio físico de Catalunya, las canalizaciones naturales que pueden partir de Barcelona y sus vecindades son de notable interés para estudios de dispersión de contaminantes, y particularmente en estudios de contaminación fotoquímica. En éstos, el transporte de contaminantes primarios o precursores a largas distancias es un tema clave para la descripción y comprensión de la formación de contaminantes secundarios como el ozono a regiones alejadas de los núcleos de población más importantes.

En este sentido, la canalización del Besòs y el río Congost hacia la Plana de Vic representa una de las vías naturales más importantes de transporte de contaminantes primarios desde Barcelona al interior. Precisamente, es en la plana de Vic donde se producen los mayores problemas de desarrollo de episodios de contaminación fotoquímica en Catalunya. Análogamente, la canalización del Llobregat tiene que jugar un papel importante en los episodios de contaminación fotoquímica afectando a la región de la plana de Bages. Cabe resaltar que otra zona con importantes problemas de este tipo está en Alcover. Esta región recibe los contaminantes primarios de Tarragona, atribuibles a la industria petroquímica allí instalada.

2.2.3 Climatología

De lo descrito en el **Apartado 2.1.2**, la zona geográfica de Catalunya está expuesta al dominio mediterráneo. El clima mediterráneo presenta grandes rasgos con veranos secos y cálidos, e inviernos suaves. Las precipitaciones son escasas e irregulares, y a menudo torrenciales. La orientación y ubicación de Catalunya, abierta a las corrientes de aire cálidas subtropicales, así como la protección orográfica sobre las corrientes de aire frío centroeuropeas y las circulaciones atlánticas, genera una diversidad de subclimas con características bien marcadas. Con todo, en función de la situación con relación a la altitud y al mar se pueden distinguir varios subclimas del dominio mediterráneo que se presentan a continuación:

- **Clima atlántico:** se localiza únicamente en el valle de Aran, en donde llegan los vientos húmedos provenientes del Atlántico. Clima húmedo y lluvioso todo el año, temperaturas frescas y nevadas frecuentes en invierno.
- **Clima alpino y subalpino:** localizado en las tierras altas de los Pirineos. Temperatura media anual muy baja, precipitación abundante, en gran parte en forma de nieve.
- **Clima mediterráneo de alta montaña:** localizado en el Prepireneo, comprende las comarcas de Cerdanya, Ripollès, la Cordillera Transversal y el Montseny. Las lluvias y precipitaciones son menos abundantes, el invierno moderado, mientras que el verano es más cálido.
- **Clima mediterráneo de montaña media y baja:** se sitúa en el Prepireneo meridional, en zonas elevadas de la Depresión Central y en alturas superiores a los 700 m de la cordillera Litoral. Precipitaciones menos abundantes. La zona oriental del Prepireneo es más húmeda que la occidental debido a su cercanía al mar.
- **Clima mediterráneo litoral:** típicamente mediterráneo, con un verano muy caluroso y seco, con fuertes precipitaciones durante el otoño. Temperaturas suaves y moderadas. Es propio de toda la costa, de la Cordillera Litoral y de la Depresión pre-litoral.
- **Clima mediterráneo de tendencia continental:** localizado en las planicies de la Depresión Central. Precipitaciones irregulares y temperaturas extremas tanto en invierno como en verano caracterizan este dominio climático.

2.2.3.1 Termopluviometría y radiación solar

Los distintos factores climáticos de Catalunya están altamente influenciados por la orografía de la región. La **Figura 2.10** muestra los mapas climáticos de temperatura, amplitud térmica y precipitación media anual de Catalunya (Ninyerola et al., 2000) y el mapa de radiación solar media en Catalunya (Baldasano et al., 2004).

La temperatura media en Catalunya varía entre 4° y 18° desde los Pirineos hasta el Delta del Ebro. Las zonas de alta montaña presentan las temperaturas más frías, mientras que en todo el litoral e interior de la Depresión Central se producen las temperaturas más elevadas. La variabilidad térmica anual es importante en todo el territorio. La amplitud térmica presenta su máximo en las tierras del interior con valores superiores a los 20 °C, siendo la Depresión Central la región con los valores más elevados de amplitud térmica. Se observa una zona intermedia, que comprende los Prepireneos y el Sistema litoral y

Prelitoral, con amplitudes entre 16 y 18°C, mientras que la región con la amplitud térmica menor comprende la mayor parte de la costa catalana y las montañas pirenaicas.

La pluviometría presenta un comportamiento bien marcado. Se observa una región muy húmeda que comprende la mitad norte de Catalunya, y sierras elevadas del Sistema litoral, mientras que por otro lado destaca el interior, caracterizado por una precipitación escasa. Las zonas más pluviosas, con valores superiores a 1200 mm, se presentan en los Pirineos y Serralada Transversal. Las planicies del interior de Catalunya, Pla de Bages y Plana de Vic, presentan valores intermedios de precipitación junto con el litoral norte. Las tierras de poniente son las que destacan por su reducida precipitación anual con valores de 400 mm o inferiores.

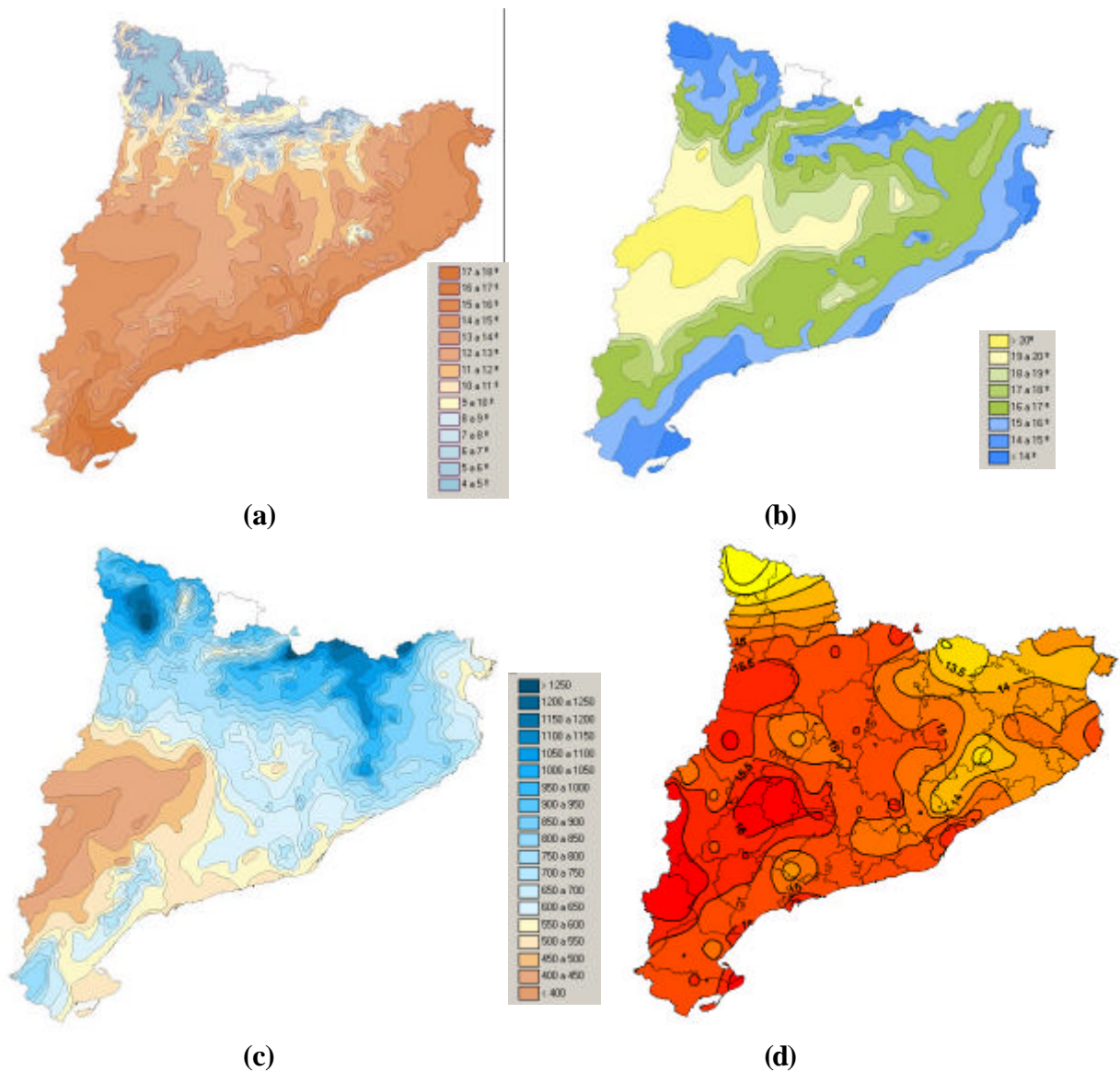


Figura 2.10 (a) Temperatura media anual en °C, (b) amplitud térmica media anual en °C, (c) precipitación media anual en mm, y radiación solar media anual en MJm⁻² (Fuente: (a)-(c) Ninyerola et al., 2000; (d) Baldasano et al., 2004).

Las precipitaciones y las temperaturas discriminan la Cataluña lluviosa de la seca, y la Cataluña moderada de la extrema. Este doble contraste pluviométrico y térmico tiene

repercusiones importantes en el paisaje físico y humano. Afecta a la vegetación, los ríos y el tipo de suelo.

El régimen pluviométrico se caracteriza por tener unos veranos secos y calurosos con un rasgo climático que se refleja en su vegetación típicamente mediterránea, adaptada al medio con la reducción del follaje y la esclerofilia de las hojas durante la sequía estival; y unos inviernos suaves, con máxima pluviometría durante la primavera y el otoño.

Por último, los valores medios de radiación solar anual en Catalunya se mueven entre los 13 y 18 MJm⁻². Los Pirineos occidentales y la cordillera Transversal presentan los valores inferiores de precipitación, debido en gran medida a factores meteorológicos. El interior se caracteriza por una irradiación muy elevada durante el verano y baja en invierno. El comportamiento de la radiación solar es coherente con los factores termopluviométricos, y pone de manifiesto la elevada influencia de la compleja orografía de Catalunya sobre la climatología de la región.

2.2.3.2 Los vientos en Catalunya: Rosas de vientos

La complejidad de los vientos superficiales en Catalunya se pone de manifiesto al observar las rosas de vientos de distintas estaciones meteorológicas a lo largo del territorio. Las **Figura 2.11**, **Figura 2.12** y **Figura 2.13** muestran las rosas de vientos anual de las estaciones meteorológicas del Servei Meteorològic de Catalunya (XMET) para los años comprendidos entre 1997 y 2001. Para captar la influencia de la orografía se han representado las rosas de vientos sobre un mapa orográfico de Catalunya. Los puntos indican la localización exacta de la estación meteorológica, y la numeración permite identificar la estación a partir de la información sobre las estaciones XMET adjunta en el **Anexo 2** La rosa de vientos más cercana al punto o número de estación meteorológica es la que corresponde a dicha estación. Como se observa, el número de estaciones meteorológicas se ha ido incrementando desde 1997. Aquellas estaciones donde no se representa la rosa de vientos no estaban operativas en el año de interés o presentaban un malfuncionamiento.

Las estaciones de los Pirineos muestran un régimen de vientos superficial marcado por la orografía local. Las canalizaciones dominantes quedan claramente reflejadas, siguiendo las direcciones de los valles principales donde se encuentran las estaciones. En los Pirineos occidentales domina la dirección N-S, mientras que en los Pirineos orientales la componente SW-NE presenta una mayor presencia en varias estaciones. Esta región se caracteriza por presentar unas calmas del 25%, aunque la estación del Pont de Suert (nº9) registra calmas del 40% y la de Sant Pau de Segúries (nº34) del 35% (ver **Figura 2.13** abajo). Estas estaciones se localizan en valles muy cerrados y protegidos del régimen sinóptico general. Este fenómeno también se observa en el resto de los Pirineos, pero no de una forma tan acusada.

Las estaciones localizadas en las tierras de Lleida muestran una dirección dominante del SW, y con menor frecuencia del SE-E. Esta zona presenta una orografía muy llana, y poco protegida de los flujos del valle del Ebro, por ello presenta muy pocas calmas, con valores inferiores al 10%. En cambio, en el Pla de Bages y Plana de Vic dominan los flujos de componente sur, y al quedar más protegidas, las estaciones registran calmas superiores al 25%. Destaca la estación de Vic (nº45) con un registro de calmas superior

al 40% en la mayoría de los años. La conformación orográfica protege toda la planicie de Vic, que se ve enclavada en una región abrigada aerológicamente por los Pirineos y la cordillera Transversal. Las simulaciones que se presentarán en el **Capítulo 7** permitirán describir las causas por las que la Plana de Vic, y en parte el interior nordeste de Catalunya, presenta un régimen de calmas tan elevado.

El Sistema Litoral presenta un dominio de los vientos de componente W en su mitad sur y de NW en la mitad norte. Las calmas en las estaciones de esta región se encuentran entre el 10 y el 20%. La estación de Falset (nº13) registra calmas del 25% al quedar protegida por las Cordilleras por levante.

Por último, el litoral y la costa presentan calmas inferiores al 10%. Los flujos dominantes son de componente NW en las costas de Tarragona, mientras que en las costas centrales se impone la dirección W-E, virando a N hacia la Costa Brava. El régimen de brisas estivales queda reflejado con las direcciones de componente SE, S y SW que muestran las distintas estaciones.

Comparando los cinco años disponibles se observa una ligera variabilidad interanual en las rosas del viento inherente a la variabilidad meteorológica, sin embargo, la influencia de la orografía en la región es uno de los fenómenos más importantes que regula las direcciones dominantes de los vientos superficiales. El flujo sinóptico dominante se ve claramente modificado por las canalizaciones y obstáculos orográficos de la compleja orografía catalana, produciendo una variedad de circulaciones rica y compleja por todo el territorio.

También quedan de manifiesto las limitaciones de la información aportada por las rosas de vientos. Por una parte, proporcionan información muy localizada de los vientos, y viendo la complejidad orográfica de Catalunya no es de extrañar que en pocos kilómetros el comportamiento de los mismos pueda variar significativamente del registrado en una estación. Por otro lado, no se puede analizar con detalle la evolución de los flujos en la región. La pérdida de la componente temporal en un territorio tan complejo no permite realizar una descripción de conjunto detallada. Ya se intuye un comportamiento de los flujos marcadamente dispar en las regiones de alta montaña, del interior de Catalunya y del litoral. Además, esta variabilidad regional se debe combinar con la variabilidad temporal que es de esperar en los vientos. Por ello, para describir con detalle los flujos en una región tan compleja es interesante aplicar herramientas que permitan modelizar el flujo en toda la zona de trabajo teniendo en cuenta la evolución temporal. Así, la modelización permite obtener información de extensas zonas de donde no se dispone de información, y sirve como complemento a las observaciones reales disponibles.

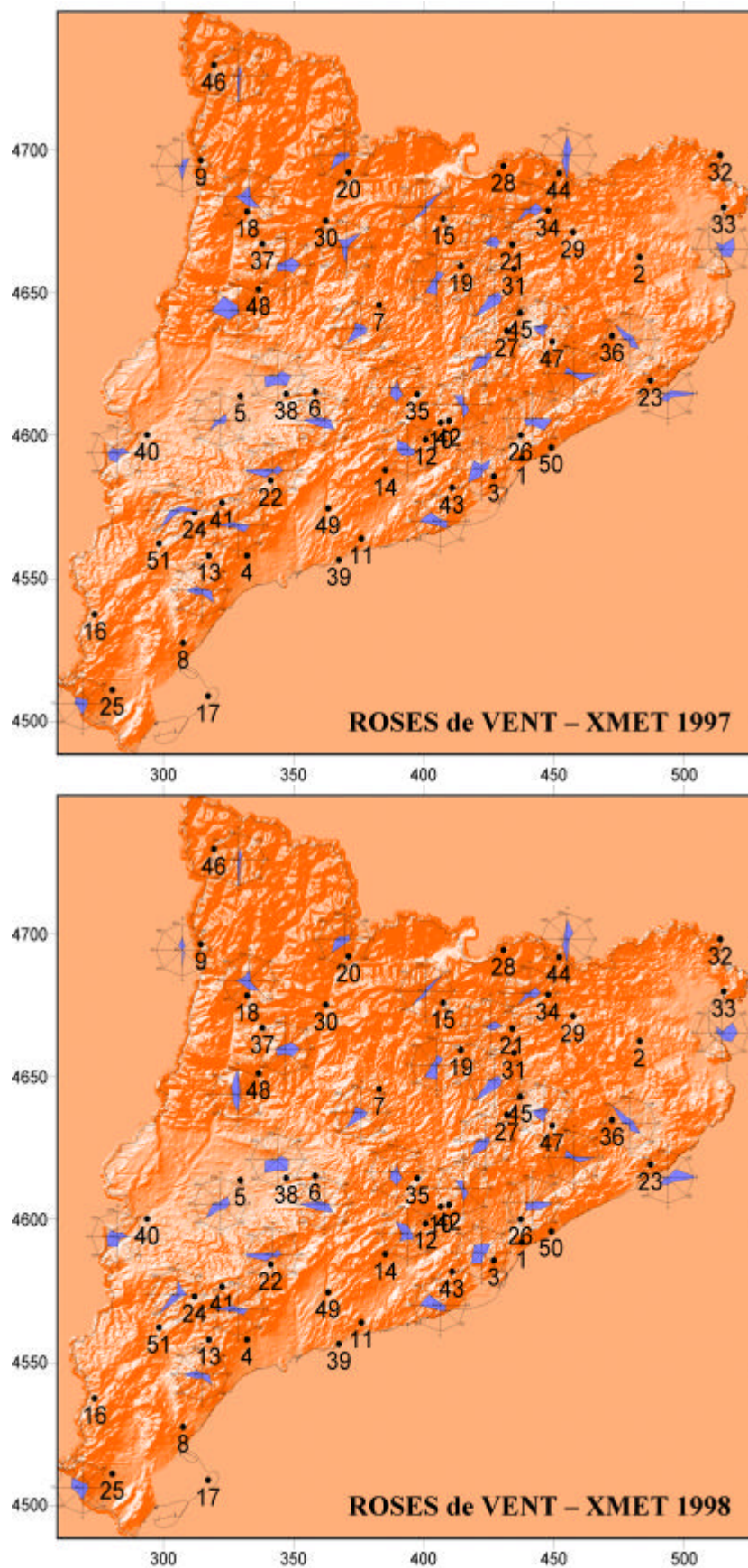


Figura 2.11 Rosas de vientos de las estaciones XMET en Catalunya para el año 1997 y 1998.

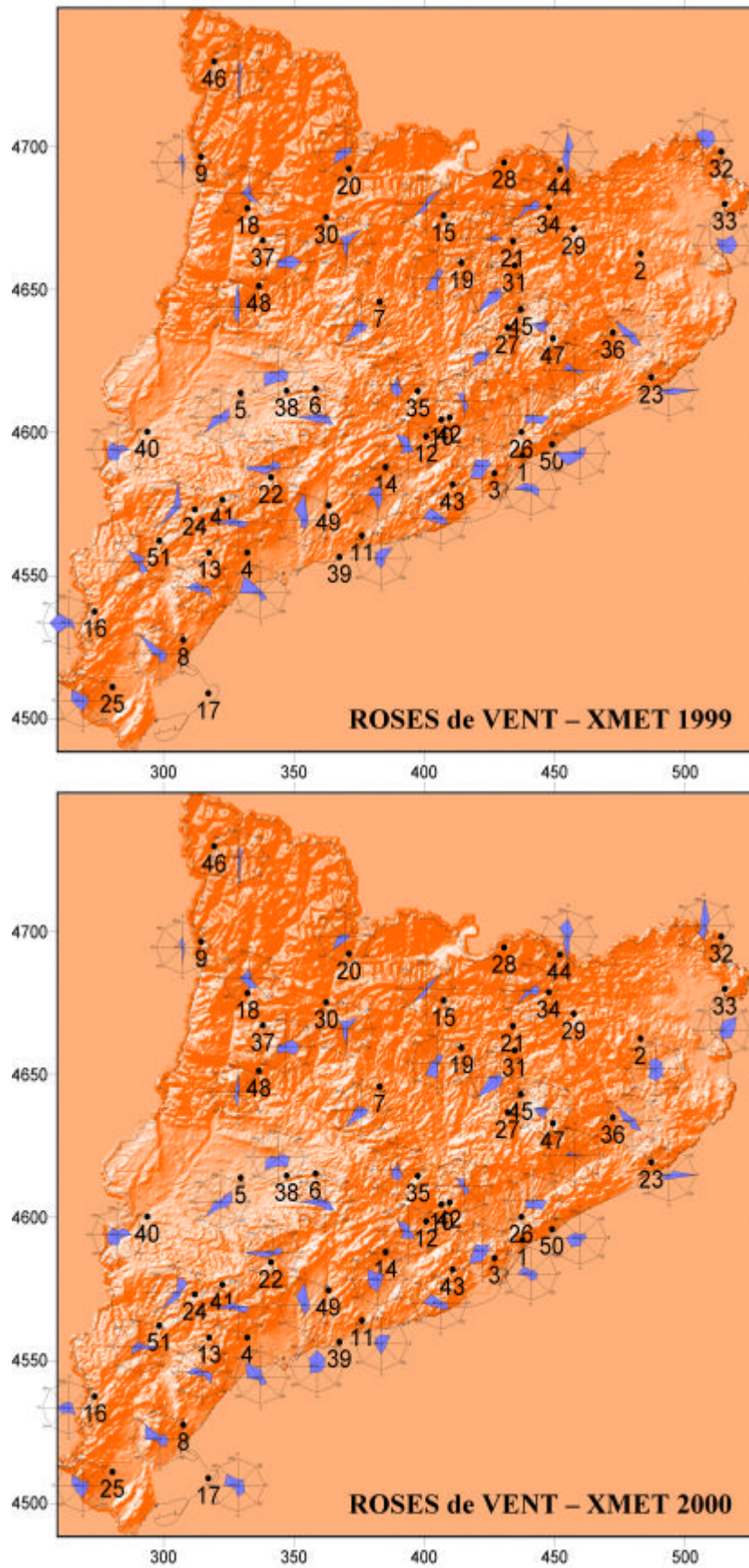


Figura 2.12 Rosas de vientos de las estaciones XMET en Catalunya para el año 1999 y 2000.

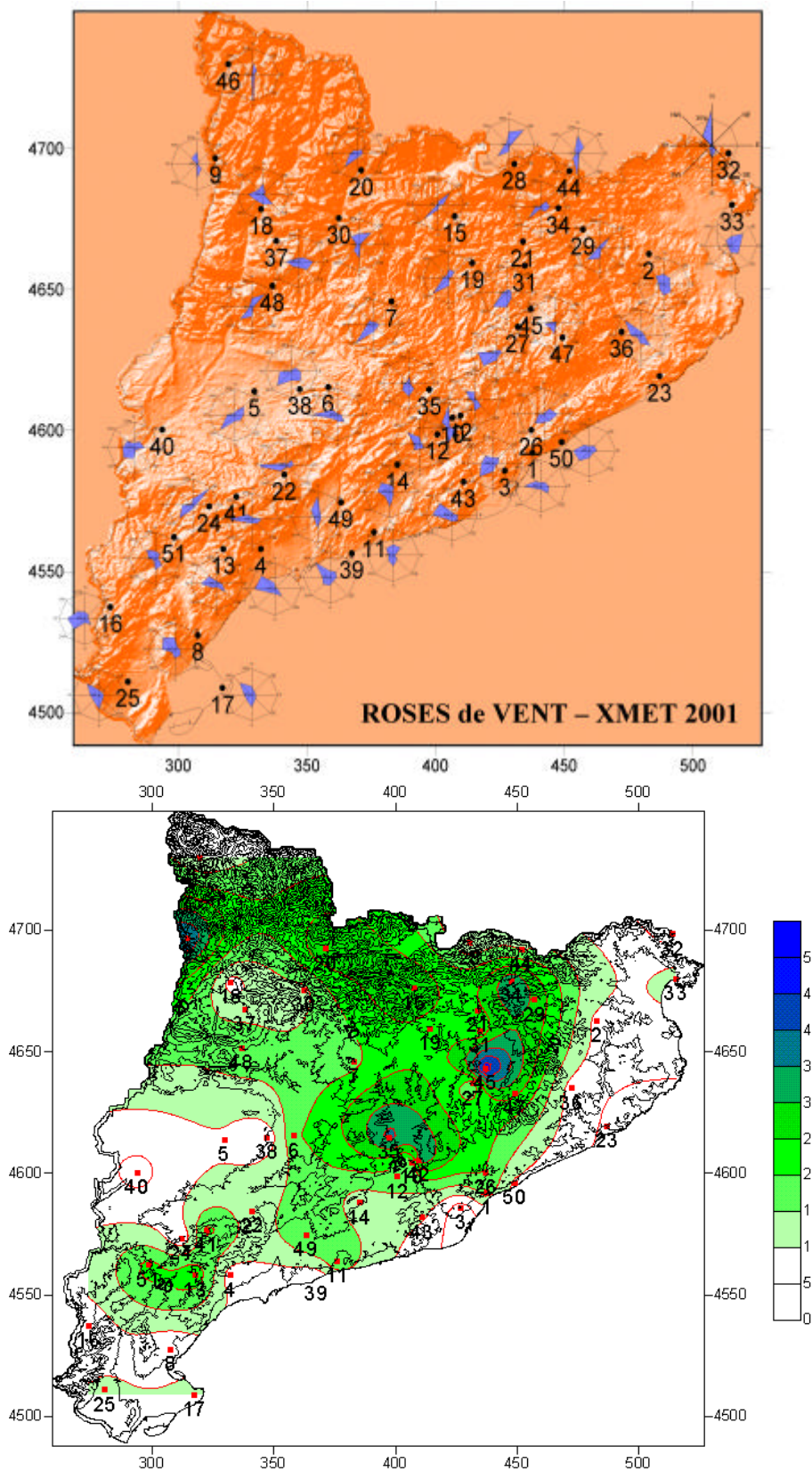


Figura 2.13 Rosas de vientos de las estaciones XMET en Catalunya para el año 2001 (arriba), y calmas (%) registradas en las estaciones XMET interpoladas para el dominio de Catalunya (abajo).

