

1 Introducción

1.1 Justificación

Durante las últimas décadas las regiones densamente urbanizadas han ido experimentando un deterioro de la calidad del aire asociado al incremento de emisiones de contaminantes atmosféricos. Es especialmente en las grandes ciudades donde este fenómeno se acentúa en un grado elevado. Sin embargo, las regiones urbanizadas no han sido las únicas afectadas por este problema. En las zonas rurales se ha detectado también un deterioro en la calidad del aire. El transporte, la transformación, la dispersión y la deposición de contaminantes primarios emitidos desde zonas urbanas e industriales son los mecanismos responsables del empeoramiento de la calidad del aire en ambientes rurales.

Los contaminantes atmosféricos son especies químicas que en concentraciones más elevadas de las usuales pueden ser dañinas para la salud humana, animal y vegetal. El incremento en la concentración de estas especies se debe a procesos naturales y sobretodo a actividades antropogénicas. Las emisiones de origen antropogénico juegan un papel cada vez más importante en los problemas de contaminación atmosférica, ya que, han experimentado un incremento gradual y sostenido durante la última mitad del siglo XX (WHO, 2000).

La emisión de contaminantes primarios (SO_2 , materia particulada, NO_x , etc.) a la atmósfera contribuye a la producción de especies químicas secundarias que deterioran la calidad del aire significativamente. Por ejemplo, la reacción fotoquímica entre óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos reactivos puede producir ozono (O_3) en niveles superficiales que puede inducir a la formación de la niebla fotoquímica (smog, smoke+fog) en zonas urbanizadas. Sin embargo, el impacto que ocurre en una región concreta no solo depende de las emisiones atmosféricas que se produzcan en esa zona, sino que depende de una compleja relación entre diferentes mecanismos de transporte, dispersión, reacción y deposición que engloban todos los procesos atmosféricos.

Por ello los estudios de la contaminación atmosférica se pueden afrontar desde distintos enfoques en función del mecanismo a analizar. Así, relacionados con la emisión, existen los estudios dirigidos a su reducción, en base a prevenir, minimizar o depurar los efluentes, y de otro lado los trabajos específicos destinados a cuantificar y describir las emisiones (es decir, a establecer lo que se denomina un inventario de emisiones). En lo referente a la dispersión de contaminantes, existen trabajos dirigidos a estudiar el comportamiento de la atmósfera y de los contaminantes emitidos en ella, trabajos siempre soportados por la modelización de la contaminación atmosférica (conocida también como la simulación de la dispersión atmosférica). Por último, y relacionado básicamente con la inmisión, tenemos la medida de las diferentes magnitudes implicadas (esto es, los niveles de calidad del aire, las variables meteorológicas que afectan a la dispersión, etc.), que con el refuerzo de los modelos tipo receptor pueden servir de ayuda a una correcta gestión del medio ambiente atmosférico (Baldasano y Millán, 2000).

La modelización de la calidad del aire o de la contaminación atmosférica es un intento de describir la relación funcional entre las emisiones y las concentraciones y deposiciones producidas (Bultjes, 2001). Los modelos de calidad del aire son

descripciones matemáticas del transporte atmosférico, la difusión y las reacciones químicas de los contaminantes atmosféricos (Seinfeld, 1988). Son una implementación numérica de las leyes de conservación físico-químicas y permiten describir y analizar los distintos fenómenos que ocurren. Estos modelos están formados por un módulo meteorológico que proporciona el estado atmosférico y su evolución, un inventario de emisiones que describe las tasas de emisión al medio atmosférico de la región de estudio, y un tercer módulo que resuelve las distintas reacciones químicas de los contaminantes atmosféricos más relevantes a partir de la información proporcionada por los dos anteriores módulos.

Queda claro el relevante papel que tiene la dinámica atmosférica en los problemas de calidad de aire de una región. La meteorología rige varios procesos atmosféricos que controlan o tienen una influencia elevada en la evolución de las emisiones, la concentración de las especies químicas, aerosoles y materia particulada en la atmósfera. Estos procesos incluyen el transporte vertical, la advección, la dispersión turbulenta, la convección y la deposición seca y húmeda en superficie (Seamann, 2000). Sin embargo, los campos meteorológicos que se aportan a los modelos de calidad del aire pueden contener elevadas incertidumbres que afectan adversamente a las simulaciones del modelo de calidad del aire. Es por eso que es importante profundizar en la capacidad de los modelos meteorológicos en describir la evolución de la atmósfera con un elevado grado de detalle.

Los modelos meteorológicos aplicados como módulos de un modelo de calidad del aire se pueden dividir en tres grandes grupos: diagnóstico, pronóstico e híbridos. Los primeros son modelos cinemáticos que analizan observaciones meteorológicas recogidas en emplazamientos concretos. Están limitados por la disponibilidad de observaciones, la complejidad del terreno y la formulación física aplicada (conservación de la masa), y por eso no son capaces de reproducir estructuras espacio-temporales inferiores a las capturadas por las observaciones (Pielke y Uliasz, 1998). Los modelos de pronóstico, o modelos dinámicos, integran todas las ecuaciones primitivas de la física atmosférica en un sistema de coordenadas discreto. La resolución de este sistema permite obtener un campo físicamente consistente que es capaz de describir fenómenos que las observaciones no han capturado. Por último, los modelos híbridos son un desarrollo de los modelos dinámicos con la capacidad de asimilar datos observados durante la simulación. Estos modelos se denominan también modelos de pronóstico con asimilación de datos, y modifican las ecuaciones primitivas para hacer tender la solución a las observaciones. Este procedimiento recibe el nombre de asimilación de datos de cuatro dimensiones (*Four-dimensional Data Assimilation, FDDA*) (e.g., Fast, 1995). Aunque estos modelos híbridos son una variación de un modelo dinámico, se consideran separadamente porque su importancia en aplicaciones de calidad del aire está emergiendo (Seamann, 2000).

Los modelos de pronóstico se aplican cada vez más como módulo de los modelos de calidad del aire (Kumar y Russell, 1996) desplazando a los de diagnóstico. Los modelos de pronóstico aplicados en calidad del aire son similares a los modelos de predicción del tiempo. Las diferencias entre ambos residen en la escala meteorológica de estudio. Generalmente los modelos de calidad del aire se han aplicado en regiones de dimensiones inferiores a 1000 km de extensión, trabajando desde la mesoscala hasta la microscala. Sin embargo, los modelos de predicción del tiempo se aplican sobre regiones más extensas trabajando desde la macroscale hasta la mesoscale. Ambos

modelos se basan en las mismas ecuaciones primitivas para resolver la física atmosférica y se denominan entre la comunidad científica modelos numéricos de predicción del tiempo (*Numerical Weather Prediction*, NWP). Esta distinta aplicación reside en la naturaleza de los meteoros que afectan a la predicción del tiempo y a la naturaleza de las distintas especies químicas que influyen en la calidad del aire. Así, el desarrollo de una nube convectiva puede durar horas y ocupar una región de kilómetros, mientras que la generación de ozono por reacción fotoquímica se produce en pocos minutos y ocupa un espacio de pocos metros. Por esto los NWP de predicción del tiempo han presentado un enfoque en la resolución de las ecuaciones primitivas con la hipótesis hidrostática para simplificar el cálculo de las mismas. Estos modelos hidrostáticos son aplicables a la macroscale y la mesoscale alfa (ver **Capítulo 6**). Sin embargo, la necesidad de trabajar con resoluciones más finas en estudios de calidad del aire ha conducido a aplicar modelos más complejos que no consideran la hipótesis hidrostática, y que resuelven las ecuaciones primitivas sin esta aproximación. Éstos presentan un coste computacional más elevado, pero su ámbito de aplicación se extiende hacia la mesoscale gamma e incluso hacia la microscale. Así, se habla de modelos no-hidrostáticos. Está clara la distinta naturaleza del problema a estudiar, y por ello se aplican con distinta filosofía los NWP para calidad del aire y para predicción meteorológica. Con el auge de la capacidad de computación durante la última década se está produciendo una evolución en el desarrollo y aplicación de los mismos. Los modelos de predicción meteorológica se están aplicando a escala global y regional con una tendencia a aumentar su resolución de trabajo. Por su parte, los modelos meteorológicos de calidad del aire están tendiendo a aplicarse en dominios más extensos, y a la vez siguen aumentando la resolución de trabajo con aplicaciones a resoluciones horizontales de paso de malla de 1 km.

El ozono troposférico en Catalunya representa un problema importante teniendo en cuenta el número de incidencias relacionadas con la superación de los umbrales de información a la población establecidos en la Directiva 2002/3/EC para esta especie química. La red de vigilancia de la contaminación atmosférica (*Xarxa de Vigilancia i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica*, XVPCA) del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya ha detectado en distintas zonas excedencias del umbral de información a la población establecido por la unión Europea de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el período 1991-2004 la XVPCA registró 1498 casos de superación de este umbral, con un 80% de los mismos entre los meses de junio a agosto. La información proporcionada por las medidas de la XVPCA permiten identificar las zonas donde se producen los niveles medios de concentración de ozono más elevados: Anoia y Ripollès. Mientras que los valores de concentración máxima de ozono se producen habitualmente en las comarcas del Alt Camp, Barcelonès, Anoia y Osona, regiones donde se puede llegar a superar el umbral de alerta a la población de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Actualmente, los niveles medidos de fondo en las áreas rurales se sitúan alrededor de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el invierno y los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el verano.

Para comprender la dinámica de contaminantes en Catalunya es necesario estudiar con detalle, y a lo largo de un ciclo anual las circulaciones que se producen por la compleja orografía de la región. La información de los vientos de la región en superficie y altitud es necesaria para esta definición. La modelización meteorológica es una herramienta con elevada potencialidad para estudiar este campo.

Los problemas de contaminación atmosférica van muy relacionados con las condiciones meteorológicas presentes, como se deduce de lo discutido hasta el momento. Es importante analizar campos de vientos de una región para distintas situaciones meteorológicas. Para describir unos campos de vientos significativos se deben escoger situaciones meteorológicas características de la región y por ello se plantea el tema del estudio mediante la simulación numérica de distintas situaciones meteorológicas típicas que afectan a la región de interés. Con ello se quiere profundizar en el conocimiento de los flujos de la región y plantear unos modelos conceptuales de las circulaciones que se pueden producir en determinadas situaciones, que serán características del dominio de estudio.

1.2 Antecedentes

El presente tema de Tesis se enmarca dentro de en una línea de investigación dirigida por el Dr. José María Baldasano Recio, centrada en el estudio de la calidad del aire en Catalunya, que se remonta a la década de los 90. Con el objeto de profundizar en los procesos de transporte y dispersión de la atmósfera y en el desarrollo de episodios de contaminación fotoquímica se estableció una metodología basada en la modelización numérica de estos procesos complementada con observaciones reales.

El primer esfuerzo para profundizar en el conocimiento de los problemas de calidad del aire en Catalunya se concreta con el desarrollo de una herramienta para el soporte en la toma de decisiones sobre el impacto producido por centrales térmicas de generación de energía sobre el medio atmosférico (Baldasano et al., 1990). Con el desarrollo de este proyecto se establecen las bases en el estudio de la calidad del aire para Catalunya. Baldasano et al. (1991) describen las herramientas para el estudio de la dispersión atmosférica y sus necesidades. Éstas se fundamentan en tres grandes módulos, modelo meteorológico, inventario de emisiones y modelo fotoquímico o de transporte químico. Desde entonces se han desarrollado una serie de trabajos científicos con el objeto de mejorar el conocimiento sobre la calidad del aire en Catalunya y la dinámica de contaminantes en una región de especial complejidad.

Entendiendo la necesidad de aplicar herramientas que fueran capaces de modelar la evolución atmosférica se desarrolló un modelo de pronóstico meteorológico específico para el área geográfica de Barcelona, PROMETEO (Calbó y Baldasano, 1995). Constituye un modelo completo de pronóstico meteorológico que resuelve las ecuaciones primitivas de la física del aire, con la simplificación que no considera la humedad del aire, pero aplica un esquema de clausura de la turbulencia de segundo orden. Pronostica las principales variables atmosféricas necesarias para el estudio de la calidad del aire de una región, como son los vientos, la temperatura, y la energía cinética turbulenta. Profundizando en el conocimiento de las circulaciones atmosféricas en el área de Barcelona, Soriano et al. (2001) con el uso de modelización numérica y medidas LIDAR propuso un patrón de recirculación de los contaminantes atmosféricos en una situación de brisa de mar de un día de verano.

Por otro lado se desarrolló un modelo de emisiones para el área geográfica de Barcelona de $39 \times 39 \text{ km}^2$ (Costa, 1995). Este modelo estima las emisiones de distintas fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos como son el tráfico rodado, industrias, vegetación, actividad aeroportuaria y portuaria, estaciones de repostaje de gasolina, y

emisiones de actividades domésticas. Este modelo se extendió a un área que abarca 80 x 80 km² centrada en la ciudad de Barcelona (Toll y Baldasano, 2000). Parra (2004) extendió el estudio para toda Catalunya. El autor desarrolló un modelo de emisiones (EMICAT2000) con una resolución temporal de una hora y espacial de 1 km² con base el año 2000. Los resultados de dicho modelo sirven como entrada de un modelo fotoquímico aplicado en el Laboratorio de Modelización Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya que permite estudiar la dinámica de contaminantes del área geográfica de Catalunya (p.e., Jiménez y Baldasano, 2004).

El presente tema de investigación se inscribe como parte del proyecto de investigación *Integració Metodològica i de Models per a la Previsió i l'Anàlisi de la Contaminació i el Temps i dels seus Efectes* (IMMPACTE) del Departament de Medi Ambient y del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya desarrollado durante el período 2000-2003. Una de las tareas de este proyecto de investigación, asignada al Grupo de Modelización Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya dirigido por el Dr. J.M. Baldasano, se centraba en la simulación de distintas situaciones sinópticas típicas que afectan a Catalunya. El presente documento representa el conjunto de trabajos realizados a partir de la participación en dicho proyecto y que han colaborado en el desarrollo y puesta a punto de un modelo fotoquímico para el área geográfica de Catalunya.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de esta Tesis es la descripción de los campos de vientos del Área Geográfica de Catalunya (AGC) y la Península Ibérica para distintas situaciones meteorológicas típicas. El conocimiento de los regímenes de los vientos en el área de estudio permite profundizar en el conocimiento de la dinámica de los flujos de la región y las características de dispersión y transporte de contaminantes. La complejidad orográfica de la zona de estudio es uno de los factores claves para entender las dificultades que surgen cuando se intenta estudiar y describir el campo de vientos a partir de observaciones en superficie. Esto conlleva la aplicación necesaria de la modelización atmosférica para abordar este estudio. El objetivo se plantea a partir de la simulación de días representativos de distintas situaciones meteorológicas típicas. Por ello, se debe definir una metodología de selección de los días a simular.

La localización de la Península Ibérica condiciona la variedad de situaciones atmosféricas que la afectan. Al estar situada en latitudes medias, entre el océano Atlántico y un mar cálido y pequeño (mar Mediterráneo), limitando con dos continentes por el norte y sur produce que las situaciones típicas sean variadas y difieran sustancialmente de las que se pueden suceder en latitudes más septentrionales o meridionales. Esta complejidad hace abordar el tema de estudio partiendo del análisis del estado actual de las clasificaciones sinópticas típicas. De la revisión bibliográfica realizada, se ha encontrado un elevado número de trabajos con un enfoque subjetivo sobre el tema, en cambio, los trabajos objetivos de clasificación de situaciones atmosféricas afectando a la Península Ibérica representan un número muy inferior. De aquí, que se ha considerado un aporte importante desarrollar una metodología para aproximarse al análisis de clasificación de situaciones atmosféricas a partir de un método objetivo, o con un grado de objetividad superior a la mayoría de los trabajos revisados.

Los resultados obtenidos a partir de la metodología desarrollada se han utilizado para seleccionar los días específicos a simular con un modelo numérico de mesoscala. Estos días son representativos de una situación típica que afecta a la Península Ibérica. Se ha decidido seleccionar días con un comportamiento representativo de los resultados obtenidos, y con la condición necesaria de disponer de datos para inicializar el modelo mesoscalar.

Los diferentes hitos que se han marcado para conseguir realizar el objetivo principal del tema de estudio se describen a continuación.

1.3.1 Identificación de las situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica

El primer paso para estudiar los campos de viento del AGC y la Península Ibérica se fundamenta en el conocimiento de la climatología sinóptica de la región. La atmósfera es un medio en constante evolución caracterizada por una sucesión de situaciones meteorológicas que aunque no se repiten exactamente pueden llegar a presentar similitudes importantes. Así, si se consigue caracterizar las situaciones más usuales que afectan a una región se puede realizar un estudio sobre los vientos y circulaciones que acontecen en la zona, pudiendo caracterizar de un modo general dichas circulaciones.

El primer hito planteado en el tema de investigación es caracterizar el estado del arte sobre la clasificación de situaciones sinópticas de la Península Ibérica. Para ello se ha realizado una extensa revisión bibliográfica de distintos trabajos que proponen clasificaciones de las distintas situaciones sinópticas. La climatología sinóptica intenta estudiar el clima de una zona a partir de la sucesión de situaciones atmosféricas que la afectan, sirviendo como base para definir las situaciones a analizar.

Como se ha comentado, esta revisión ha puesto de manifiesto la necesidad de desarrollar nuevas metodologías con un enfoque más objetivo para profundizar en la climatología dinámica de la Península Ibérica.

1.3.2 Análisis de retrotrayectorias durante el período 1997-2002

El elevado número de clasificaciones de situaciones sinópticas encontradas y la dificultad de encontrar una propuesta unificada de todas ellas ha conducido al planteamiento de este objetivo. Se ha aplicado una metodología numérica automatizada de clasificación para poder cuantificar las situaciones más características de la región.

Se plantea trabajar con retrotrayectorias numéricas con destino en Barcelona para el período 1997-2002. A partir de esta extensa base de datos se desarrolla un algoritmo de clasificación automatizado para obtener distintos grupos de trayectorias con la mayor similitud posible dentro de los grupos, y lo más distintas entre distintos grupos.

A partir de los resultados obtenidos de este análisis de retrotrayectorias se escogen una serie de días representativos de situaciones atmosféricas típicas afectando la Península Ibérica. Debido al elevado número de situaciones distintas, se ha optado por analizar un

número reducido de situaciones para poder profundizar en su descripción. Así, de los días seleccionados a partir de los resultados del análisis de retrotrayectorias se realizan las simulaciones numéricas de las mismas. Estos días servirán para describir los campos de vientos del AGC con detalle.

1.3.3 Adopción y evaluación de un modelo meteorológico para trabajar con elevada resolución

Para la realización de las simulaciones se hará uso de una herramienta informática, modelo meteorológico numérico mesoscalar. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica de los modelos numéricos más destacados desarrollados hasta el momento para poder seleccionar uno. Al haber un amplio abanico de modelos meteorológicos, se adoptará el que se considere tenga mayores prestaciones teniendo en cuenta la disponibilidad del mismo y su adaptabilidad de aplicación al dominio de estudio de interés. La revisión bibliográfica se centra en los modelos de pronóstico meteorológico, al ser estos las herramientas más potentes para simular la evolución atmosférica en una región de estudio con una orografía tan compleja como es el AGC.

Seleccionado el modelo de trabajo, se debe analizar su aplicabilidad a la región de estudio. Ésta presenta una compleja topografía, lo que obliga a aplicar el modelo con elevada resolución para poder describir con detalle los campos de viento de la zona. Para analizar estos aspectos se han desarrollado varios estudios de sensibilidad.

Uno de los estudios realizados se basa en analizar la sensibilidad del modelo a distintas técnicas de anidamiento. Como se ha comentado, la complejidad orográfica del AGC, y el interés de realizar una descripción con detalle de los campos de vientos de la región implica aplicar el modelo numérico con elevadas resoluciones de trabajo. Para ello, las técnicas de anidamiento son básicas, ya que permiten obtener resultados muy detallados de zonas concretas habiendo tenido en cuenta la evolución sinóptica de la situación en un dominio exterior más extenso, pero con menor detalle. Es importante describir la sensibilidad del modelo a estas técnicas de anidamiento para tener una valoración de la calidad de los resultados obtenidos. Estas técnicas se aplican debido a las limitaciones computacionales que no permiten realizar simulaciones con extensos dominios y resoluciones muy elevadas.

Otro estudio que se ha realizado a lo largo del desarrollo del tema de investigación ha sido la actualización de las características geofísicas del suelo dentro del modelo mesoscalar y analizar la sensibilidad del mismo a dichos cambios. Los distintos trabajos realizados se describen con detalle, y permiten constatar la sensibilidad del modelo respecto a distintas propiedades del suelo.

Por último, se ha analizado el comportamiento del modelo trabajando con distintas parametrizaciones de la capa frontera. De los distintos trabajos realizados, se ha observado que la parametrización de la capa frontera presenta una influencia muy elevada en los resultados obtenidos por el modelo. Los resultados de estos estudios de sensibilidad han servido para definir la configuración de trabajo del modelo mesoscalar para simular los distintos días representativos de las situaciones atmosféricas típicas.

1.3.4 Análisis en detalle del campo de viento simulado.

El objetivo principal del presente tema de Tesis es el estudio en detalle de los campos de viento para el área geográfica de Catalunya con elevada resolución obtenidos a partir del uso de un modelo meteorológico. Se analizarán una serie de días representativos de las situaciones atmosféricas más relevantes de la región para conocer las circulaciones que se producen. La simulación de un día representará el análisis de 24 horas de evolución del campo de vientos horario medio para la situación en cuestión. Se trabajará con una resolución horizontal de 2 km.

La descripción presenta la situación sinóptica, describiendo en un primer paso el campo de temperaturas y estructura vertical atmosférica de la Península Ibérica, para proceder a la descripción del campo de vientos tanto de la Península Ibérica como del AGC. Debido a las resoluciones de trabajo, la descripción de la Península Ibérica no presenta un grado de detalle tan elevado como el del AGC.

También se analiza en detalle la producción de energía cinética turbulenta. Esta variable proporciona un conocimiento de los procesos turbulentos que se producen en la atmósfera, y permite evaluar la magnitud de los fenómenos de mezcla y dispersión turbulenta. Para los estudios de contaminación atmosférica, es de gran utilidad para la comprensión de los fenómenos dispersivos y su estructura atmosférica. Con ello, se quiere profundizar en el conocimiento de la turbulencia, su origen, transporte y disipación para distintas situaciones atmosféricas típicas sobre la región de estudio.

Los resultados se evaluarán siguiendo una metodología de evaluación cuantitativa. La base de esta evaluación se realizará con estadísticos y con representaciones gráficas, para poder cuantificar numéricamente el comportamiento del modelo al simular las diferentes situaciones y su evolución durante la simulación.

Se compararán los resultados para las distintas situaciones sinópticas analizadas. Así, se podrá evaluar la capacidad del modelo para describir distintas situaciones, pudiéndose constatar la precisión de la simulación en función de la situación estudiada. Esta precisión se cuantificará con relación a la simulación que presente los mejores resultados.

1.3.5 Síntesis de los objetivos

A modo de resumen se enumeran a continuación los objetivos que se plantean en el presente trabajo. La **Figura 1.1** presenta un diagrama donde se puede ver el desarrollo de los mismos.

- Objetivo principal: descripción de los campos de vientos del área geográfica de Catalunya y la Península Ibérica para distintas situaciones meteorológicas típicas.
- Objetivos específicos:
 - Identificación de las situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica
 - Revisión bibliográfica de clasificaciones sinópticas

- Cuantificación de las situaciones sinópticas que afectan a la Península Ibérica
- Análisis de retrotrayectorias
 - Selección de los días a simular con el modelo meteorológico
- Adopción y evaluación de un modelo meteorológico
 - Revisión bibliográfica de los principales modelos meteorológicos
 - Selección del más conveniente para el tema de estudio
 - Evaluación del modelo para trabajar con elevada resolución: estudios de sensibilidad
- Análisis en detalle del campo de vientos del AGC
 - Simulación de los días de estudio
 - Descripción del campo de vientos de los resultados de la simulación
 - Validación de las simulaciones
 - Comparación con medidas en superficies y radiosondeos

1.4 Estructura del documento

El documento se estructura en cinco grandes apartados. Una primera sección de introducción, una de fundamentos relacionados con el tema de investigación, una tercera donde se presentan los trabajos prácticos desarrollados, una cuarta sección de conclusiones y bibliografía, y por última una quinta sección con los anexos y apéndices a la memoria de Tesis. Cada sección está constituida por una serie de capítulos.

La introducción comprende dos capítulos. En el primero se desarrolla la justificación y los objetivos que se han marcado para el desarrollo del tema de Tesis. En el segundo capítulo se presenta la zona de estudio, caracterizada por una orografía muy compleja. Para ello, se describen los rasgos topográficos más significativos y los elementos climáticos más importantes con el fin de presentar y caracterizar la región de trabajo.

La segunda sección introduce varios temas fundamentales para la comprensión de los trabajos desarrollados. Así, se incluye un capítulo de fundamentos sobre la influencia de la orografía sobre los flujos. Se presentan los distintos fenómenos que pueden acontecerse en una región con orografía compleja como es la región de estudio. El segundo capítulo de esta sección presenta una extensa revisión bibliográfica de las distintas clasificaciones de las situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica y el AGC para poder empezar a caracterizar las circulaciones características de la región.

A continuación, la tercera sección contiene los trabajos prácticos realizados durante el presente tema de Tesis. Un primer capítulo presenta el análisis de cúmulos realizado para retrotrayectorias con destino en Barcelona. Este análisis permite cuantificar la frecuencia de las distintas circulaciones que afectan a la Península Ibérica y Catalunya. De los resultados obtenidos se seleccionan los días a simular con el modelo meteorológico. Estos días son representativos de los grupos resultantes del análisis. A continuación, se presenta el modelo meteorológico mesoscalar utilizado para las simulaciones. Se describen los dominios de estudio y su configuración, y se incluyen los estudios de sensibilidad realizados con el mismo. Introducido el modelo numérico de trabajo se presentan las simulaciones realizadas de las distintas situaciones atmosféricas

típicas. En primer lugar se describen los campos de vientos modelados y a continuación se realiza una validación de los resultados comparándolos con observaciones en superficie y altura.

La cuarta sección presenta las conclusiones y recomendaciones a las que se han llegado con el desarrollo de los temas de investigación tratados. En esta sección se incluye también la bibliografía consultada.

Por último, la quinta sección presenta los distintos anexos y apéndices de la memoria. El **Anexo 1** contiene los resultados horarios de los distintos campos meteorológicos simulados para las diferentes situaciones atmosféricas. En el **Anexo 2** se adjunta la información meteorológica utilizada para validar las simulaciones. La metodología aplicada para el cálculo de los estadísticos de la validación de las simulaciones se describe en el **Apéndice A**. Para una mejor visualización de los resultados los anexos y apéndice se presentan en formato CD-ROM adjunto al final de la memoria.

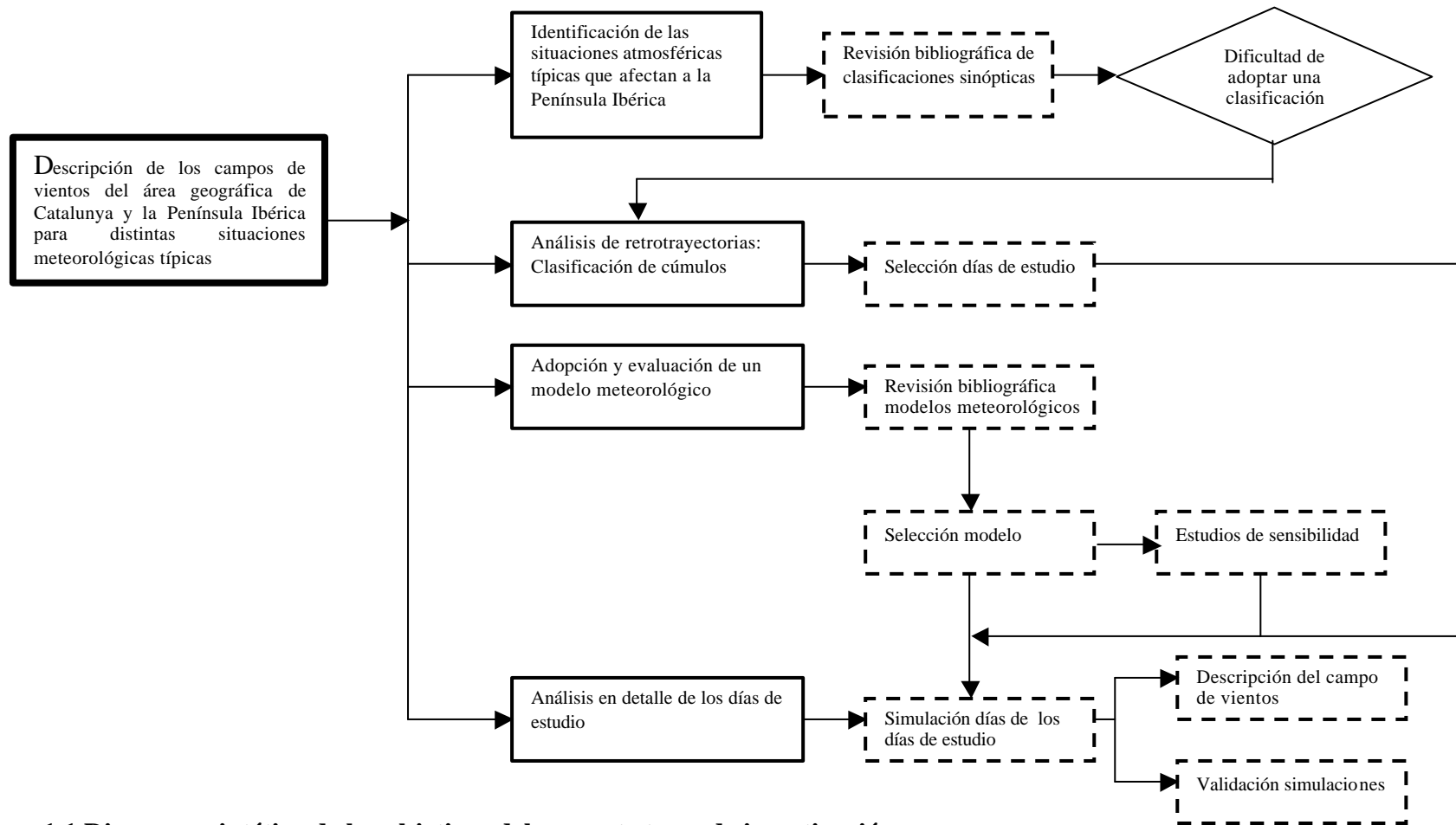


Figura 1.1 Diagrama sintético de los objetivos del presente tema de investigación

