

# Resumen

En esta tesis los métodos de elementos finitos y espectrales (FEM - *finite element method* y SEM- *spectral element method*, respectivamente), aplicados a los problemas de simulaciones atmosféricas, se exploran a través del método de estabilización conocido como *Variational Multiscale Stabilization* (VMS). Tres razones fundamentales justifican este esfuerzo: (i) la necesidad de tener nuevos métodos de solución de las ecuaciones diferenciales a las derivadas parciales usando máquinas paralelas de gran escala —un entorno en expansión en muchos campos de la mecánica computacional, dentro de la cual la predicción numérica de la dinámica atmosférica (NWP-*numerical weather prediction*) representa una aplicación importante. Métodos del tipo basado en elementos (por ejemplo, FEM, SEM, Galerkin discontinuo) presentan grandes ventajas en el desarrollo de códigos paralelos; (ii) la flexibilidad intrínseca de tales métodos respecto a la geometría de la malla computacional hace que esos métodos sean los candidatos ideales para códigos atmosféricos con mallas adaptativas; y (iii) la difusión localizada que VMS introduce representa una mejora en las soluciones de problemas con física compleja en los cuales la difusión artificial clásica no funcionaría. La aplicación de FEM o SEM con VMS a problemas de simulaciones atmosféricas es una estrategia innovadora en un campo de investigación abierto. En primera instancia, FEM y VMS vienen descritos y derivados para la solución de flujos estratificados a bajo número de Mach en el contexto de la dinámica atmosférica. La validez del método para simular flujos estratificados es verificada por medio de test estándar aceptado por la comunidad dentro del campo de NWP. Los test incluyen simulaciones de flujos térmicos con efectos de gravedad. Se demostrará que la estabilidad del método numérico se preserva dentro de los regímenes de interés y se discutirá una comparación numérica de los resultados frente a aquellos hallados en la literatura. En segunda instancia, la capacidad de VMS para estabilizar métodos FEM en problemas de advección dominante (i.e. ecuaciones de Euler y ecuaciones de transporte) se implementa además en la solución a elementos espectrales de alto orden en problemas de advección-difusión. Hasta donde el autor sabe, esta es una contribución original a la literatura de métodos basados en elementos espectrales en problemas de transporte atmosférico. El problema de monotonicidad con métodos de alto orden es tratado mediante la combinación de SEM+VMS con una técnica de *shock capturing* para un mejor tratamiento de las discontinuidades. Esta es una alternativa a los filtros que normalmente se aplican a SEM para eliminar las oscilaciones de Gibbs que caracterizan las soluciones de alto orden. Como último punto, se implementa un esquema de humedad acoplado con el núcleo en elementos finitos; este es un primer paso hacia simulaciones atmosféricas más realistas. La microfísica de Kessler se emplea para simular la formación de nubes y tormentas cálidas (*warm clouds*: no permite la formación de hielo). Esta última parte combina la solución de las ecuaciones de Euler para atmósferas estratificadas con la solución de un sistema de ecuaciones de transporte de tres estados de agua: vapor, nubes y lluvia. La calidad del método es verificada utilizando simulaciones de tormenta en dos y tres dimensiones.