



Modelado Numérico de la Atmósfera

Ubicación curricular

Materia optativa de la Licenciatura en Meteorología y Ciencias de la Atmósfera y materia de posgrado de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.

Correlatividad

Para cursar la materia los alumnos deberán tener aprobados los Trabajos Prácticos de las materias Meteorología Dinámica, Meteorología Sinóptica y Laboratorio de Previsión del Tiempo. Los alumnos podrán cursar la materia en forma simultánea con la materia Computación en caso que no tengan aprobados los trabajos prácticos de esta última.

Para rendir el examen final los alumnos deberán tener aprobadas las materias Meteorología Dinámica, Meteorología Sinóptica, Laboratorio de Previsión del Tiempo y Computación.

Dictado de la materia

Segundo semestre de cada año

Profesor

Dr. Guillermo Jorge Berri, profesor de la Cátedra de Micrometeorología y Turbulencia Atmosférica.

Jefe de Trabajos Prácticos

Mag. Ing. Félix Marcial Carrasco Galleguillos, Ayudante Diplomado de la Cátedra de Micrometeorología y Turbulencia Atmosférica.

Modalidad de dictado

La materia se dicta en 4 horas de clases teóricas y 4 horas de clases prácticas semanales, totalizando 128 horas de clase en el semestre. En las clases teóricas, a cargo del profesor de la materia, se presentan los conceptos básicos del modelado numérico atmosférico, las diferentes técnicas y métodos de resolución y ejemplos de diferentes tipos de modelos. En las clases prácticas se trabaja en entorno Linux preferentemente, o con acceso a terminal en Windows/Apple, con el modelo WRF instalado en un cluster dedicado a tal fin. El modelo WRF es ampliamente utilizado en la comunidad meteorológica.

Las clases prácticas se enfocan en la descripción, funcionamiento y pos procesamiento de las salidas del modelo. Esta última parte se realiza utilizando el lenguaje de programación Python v3. Los alumnos realizan experimentos de ejecución del modelo utilizando las herramientas antes indicadas para posterior discusión de resultados. Por lo tanto se requiere disponer de un computador personal con acceso a Internet para el trabajo on line.



Requisitos de aprobación

Para aprobar los trabajos prácticos, los alumnos deberán completar exitosamente la elaboración de un proyecto de simulación de su interés con el modelo WRF. Los alumnos deberán configurar el modelo apoyándose tanto en las clases prácticas como en bibliografía apropiada y deberán, al final del curso, exponer sus resultados en un seminario y presentar un informe. Esto los habilitará para rendir el examen final.

Objetivos de la materia

El objetivo de la materia es introducir al alumno en los conceptos del modelado atmosférico, describiendo las diferentes etapas de desarrollo de un modelo numérico y sus componentes. Se parte de la formulación teórica del modelo y la elección del sistema de ecuaciones a resolver, de acuerdo al objetivo que se persigue y los fenómenos atmosféricos que se quiere modelar. Se presentan las diferentes técnicas de resolución numérica de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales, la definición y la resolución espacial del dominio, condiciones iniciales y condiciones de frontera y las técnicas de asimilación de datos. Se describen los diferentes tipos de modelos, globales, de mesoescala y microescala, de área limitada, los modelos acoplados océano-atmósfera y los modelos anidados. Se describen las diferentes técnicas de validación de los modelos, la presentación e interpretación de resultados y el tratamiento estadístico de los mismos. Se presentan ejemplos de modelos de pronóstico del tiempo y de pronóstico climático. De este modo los alumnos podrán adquirir un conocimiento integral sobre el modelado numérico, el cual constituye la herramienta fundamental de la investigación teórica y aplicada en las ciencias de la atmósfera.

Programa de la materia

Unidad 1

Introducción y generalidades del modelado numérico de la atmósfera. Reseña histórica. Tipos de modelos, utilidad y su formulación de acuerdo a su propósito. Los fenómenos físicos a modelar. Discretización en tiempo y espacio, parametrizaciones. Soluciones exactas y soluciones aproximadas de ecuaciones diferenciales. Planteo correcto del problema. Error de truncado de las aproximaciones numéricas en diferencias finitas. Aproximaciones numéricas de diferentes órdenes. Consistencia, convergencia y estabilidad de la solución numérica de un problema diferencial lineal. Teorema de Lax.

Unidad 2

El problema de la condición inicial. La ecuación de pronóstico de primer orden, diferentes esquemas: esquema adelantado de Euler, esquema atrasado, esquema trapezoidal, esquema simplificado de Runge-Kutta, esquema centrado de Leapfrog, esquema simplificado de Adams-Bashforth. Estabilidad de los esquemas de 2 y 3 niveles. Estabilidad de los esquemas iterativos y no iterativos de 2 niveles para el oscilador amortiguado. Estabilidad del esquema de 3 niveles para el oscilador amortiguado.



Unidad 3

El problema de la condición de contorno. La ecuación elíptica de Poisson. Método de relajación en 1 y 2 dimensiones. Relajación simultánea y relajación secuencial. Sobrerelajación. Método de eliminación de Gauss. Soluciones mediante la transformada de Fourier. Aplicaciones en meteorología.

Unidad 4

La ecuación advectiva lineal. Criterio de estabilidad de Courant, Friedrich y Lewy. Modo computacional y modo físico. Dispersión computacional en el espacio. Velocidad de fase y velocidad de grupo. Esquema de diferenciación corriente arriba. Esquemas de orden superior. Ecuación advectiva en dos dimensiones. El error de aliasing. La ecuación advectiva no lineal. Esquema de Arakawa. Conservación de la energía.

Unidad 5

La ecuación de pronóstico de segundo orden. Ecuación parabólica. Planteo correcto del problema. Esquemas implícitos. Esquema de Crank-Nicholson. Retículos irregulares. Transformación de la coordenada vertical. Transformación de las coordenadas horizontales. Ecuación hiperbólica, estabilidad.

Unidad 6

Método de Galerkin, la ecuación de Galerkin. El método espectral. El método de los elementos finitos. Aplicación del método de Galerkin a la ecuación advectiva. Comparación con el método de diferencias finitas. Aplicaciones: ecuación advectiva no lineal y ecuación de difusión.

Unidad 7

Parametrización de procesos subreticulares, diferentes opciones. Definición del dominio espacial. Ejemplos de diferentes modelos, modelos acoplados océano-atmósfera, modelos en mesoescala y microescala, modelos anidados, de interacción mar-atmósfera, modelos globales y de área limitada. Modelos de diagnóstico y modelos de pronóstico.

Unidad 8

Ejecución operativa de los modelos. Determinación de las condiciones iniciales y las condiciones de frontera. Asimilación de datos. Dependencia de la solución de la resolución del modelo y de las condiciones iniciales.

Unidad 9

Procesamiento de los resultados de los modelos. Técnicas analíticas y gráficas. Presentación e interpretación de resultados. Análisis estadístico de resultados. Ejemplos de modelos de pronóstico del tiempo y de pronóstico climático.

Unidad 10

Evaluación de los modelos. Validación del modelo y verificación de resultados. Criterios de evaluación. Comparación con soluciones teóricas, con resultados de otros modelos y con



observaciones. Verificación de pronósticos de predictando continuo y discreto, categórico, y estadístico. Diferentes técnicas

Bibliografía

Durrant D., *Numerical Methods for Fluid Dynamics*, Springer, New York, 2010, 516 pag.

Kalnay E., *Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability*, Cambridge University Press, 2012, 341 pag.

Lauritzen P., Jablonowski Ch., Taylor M., Nair R., *Numerical Techniques for Global Atmospheric Models*, Springer, Berlin, 2011, 577 pag.

Messinger F. and Arakawa A., *Numerical Methods Used in Atmospheric Models*, GARP Publication Series n° 17, 1976.

Pielke R. A. *Mesoscale Meteorological Modeling*, segunda edición, Academic Press, 2013, 760 pag.

Wilks D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press, 2011. 704 pag.

Dr. Guillermo J. Berri