

Met 1996

1

1

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Ciencias de la Atmósfera

CARRERA: Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera **CUATRIMESTRE:** Segundo **AÑO:** 1996
CODIGO DE CARRERA: 20

MATERIA: Convección y Microfísica de Nubes
CODIGO: 9094

PLAN DE ESTUDIO: 1989

CARACTER DE LA MATERIA: Obligatoria

DURACION: Cuatrimestral

HORAS DE CLASE SEMANAL: Teóricas: 5 Seminarios:
Problemas: Teórico-Problemas:
Laboratorio: Prácticas: 4
Total de horas: 9

CARGA HORARIA TOTAL: 144 horas.

ASIGNATURAS CORRELATIVAS: T.P. de Dinámica de la Atmósfera 1.

FORMA DE EVALUACION: Exámen final.

PROGRAMA ANALITICO

1. Introducción. Ubicación de las escalas espaciales y temporales de la convección húmeda atmosférica. Justificación del estudio y la investigación de las nubes y la precipitación asociada. Distintos sistemas convencionales y especiales de observación de tormentas. Clasificación dinámica de las nubes. Escalas de parámetros macroscópicos que se utilizan en la clasificación de las nubes estratiformes, convectivas y orográficas.
 2. Termodinámica de sistemas nubosos. Planteo conceptual y general de la ecuación termodinámica en términos de una ecuación de balance de la entropía para un sistema de aire nuboso. Definiciones de cambios externos e internos, velocidad del sistema, velocidades y flujo de difusión. Distintos términos irreversibles que contribuyen a la fuente de entropía. Sistema cerrado adiabático. Flujos reversibles de fase. Equilibrio químico. Concepto de temperatura entrópica como una temperatura potencial general y distintas aproximaciones de la ecuación termodinámica general que tienen como solución distintas temperaturas potenciales definidas en la literatura. Discusión de las distintas aproximaciones para sistema cerrado adiabático saturado sin fase sólida en base a la estimación de errores relativos y el uso de las ecuaciones aproximadas juntamente con la teoría de la parcela. Derivación de la expresión para la temperatura potencial equivalente y procedimiento de Bolton para su cálculo. Derivación de la temperatura y de la temperatura potencial virtual del agua líquida conservativa en procesos adiabáticos saturados en ausencia de la fase sólida.
 3. Distintas fases del agua en las nubes y formas en las que se presentan. Síntesis de procesos microfísicos. Relaciones de mezcla de distintas categorías de partículas. Modelos globales

APROBADO POR RESOLUCION 09 16/11/97

("bulk") y explícitos que derivan un sistema de ecuaciones de continuidad para las distintas categorías del agua. Modelo global para nubes calientes precipitantes y para no precipitantes. Términos de autoconversión y de colección, evaporación del agua de lluvia y convergencia neta del flujo vertical de agua de lluvia relativo al aire. Método de cálculo de las relaciones de mezcla y de las variables termodinámicas en un ascenso adiabático reversible sin mezcla, sin hielo, sin efectos radiativos y difusivos suponiendo ajuste a la saturación. Diagrama de variables conservativas: temperatura potencial equivalente-relación de mezcla de agua líquida total (diagramas de Paluch). Conveniencia de su uso para analizar procesos de mezcla en las nubes.

4. Definición de convección. Concepto de empuje. Revisión de los criterios de inestabilidad para desplazamientos verticales de amplitud infinitesimal en aire claro y en aire saturado. Revisión de los criterios de estabilidad a desplazamientos verticales de amplitud finita. Definición del concepto de energía potencial disponible convectiva. Distintas expresiones para el empuje. Interpretación de las perturbaciones no-hidrostáticas. Derivación de una ecuación de diagnóstico de las perturbaciones de presión contribuciones por el empuje y dinámica. Aceleración vertical debida a la carga de hidrometeoros.
5. Características observacionales de la convección en nubes cálidas no precipitantes. Su estructura cinemática, termodinámica y distribuciones del agua líquida. Inferencias acerca del arrastre y la mezcla a partir del uso de diagramas de variables conservativas. Distintos tipos de cumulus de buen tiempo y estructura vertical termodinámica en equilibrio con este tipo de nubes. Distintas organizaciones de nubes cumulus no profundas: celdas cerradas y abiertas, calles longitudinales y transversales, diferencias en las conversiones de energía cinética que explican el dominio de las primeras en presencia de un perfil vertical lineal del viento. Rol de las ondas de gravedad generadas por la misma convección en la organización de los cumulus congestus y cumulonimbus.
6. Tratamiento teórico del arrastre en las nubes cumuliformes. Consideraciones generales. Tratamiento continuo y homogéneo: derivación del sistema de ecuaciones para un modelo lagrangiano unidimensional de nubes cumulus incluyendo un término relacionado con el arrastre. Distintas analogías con fenómenos de laboratorio para el cierre de sistemas de ecuaciones: jet, térmica, pluma. Perfiles que resultan de los cálculos con el modelo pluma en condiciones estacionarias. Tratamiento discontinuo e inhomogéneo del arrastre. Comparación de resultados en términos de espectros de tamaños de gotas con el modelo continuo. Evidencias de este tipo de arrastre lateral y vertical en el análisis de datos observacionales. Concepto de selección por empuje y delimitación de la ubicación de los puntos que representan aire nuboso en el diagrama de Paluch. Criterio de inestabilidad por arrastre en el tope de la nube cumulus y generación de descendentes penetrativas. Escalas del espesor de penetración y de las velocidades descendentes por episodios de mezcla de aire subnuboso no-diluido con aire del entorno en distintos niveles de las nubes no-precipitantes. Efecto de una cortante vertical del viento en el campo de las perturbaciones dinámicas de la presión y en la asimetría en el núcleo de la ascendente. Forzante

dinámico resultante en caso de cortante direccional del viento. Efecto de retroalimentación entre las perturbaciones de la presión y las descendentes penetrativas por arrastre.

7. Distintos tratamientos tendientes a filtrar las ondas acústicas y su validez en la escala convectiva. Fundamentación de la no inclusión de la rotación terrestre. Análisis de escala de Ogura y Phillips para convección seca profunda (aproximación inelástica) y no-profunda (aproximación Boussinesq). Problemas que plantea la inclusión del vapor de agua y una atmósfera de referencia no-adiabática en la aproximación para convección húmeda. Análisis energético incluyendo una cortante vertical del viento en el entorno.
8. Modelos de simulación numérica de la convección en dos y en tres dimensiones: sus componentes. Aplicaciones de los resultados de los modelos. Ejemplo de un modelo bidimensional de convección profunda: sus características, su aplicación a la simulación de una tormenta ordinaria severa conducente a la generación de un "microburst". Comparación de la evolución simulada de los distintos hidrometeoros y las características dinámicas en las distintas etapas de la tormenta con evolución documentada por los sistemas de observación y con los resultados de otro modelo bidimensional. Identificación de distintos rasgos y modelo conceptual de las distintas etapas de este caso real en base a la información de los radares Doppler y de doble polarización.
9. Convección húmeda y profunda. Tormentas convectivas aisladas. Morfología y clasificación de las tormentas unicelulares, multicelulares y superceldas. sus peculiaridades. Procesos físicos principales que controlan el crecimiento y la evolución de las tormentas convectivas aisladas: estructura termodinámica y cortante vertical del viento. Evidencias observacionales de desarrollo en niveles medios de rotación. de bifurcación de la celda original, de propagación de la tormenta respecto de los vientos del entorno, de intensificación preferencial de la celda con rotación ciclónica, formación de un mesociclón y ubicación en capas bajas de los máximos de ascenso y de descensos y de la vorticidad vertical. Características de los tornados. Tornados asociados a superceldas y su ubicación respecto al mesociclón. Tornados asociados a otros tipos de tormentas. Flujo en tornados. Vórtices de succión. Escala de intensidad de daños por tornados.
10. Fundamentación de los comportamientos observacionales descriptos en 9. a partir del análisis de las ecuaciones evolutivas de movimiento vertical, de vorticidad horizontal y vertical y de la ecuación de diagnóstico de las perturbaciones dinámicas de la presión y de los resultados de la experimentación con modelos convectivos tridimensionales. Explicación de la intensificación de la vorticidad vertical en la etapa pretornádica y causas de la formación de la descendente de oclusión.
11. MICROFISICA DE NUBES. Teoría clásica de la nucleación homogénea. Concepto de energía superficial y sobresaturación. Modificación de la regla de las fases y de la ecuación termodinámica al incluir el efecto de curvatura. Barrera de energía libre de Helmholtz en la fase metaestable original sobresaturada para formación de gérmenes de la nueva fase por agregación fortuita de moléculas. Radio del germen crítico como función de la sobresaturación (ley de Kelvin). Minimización de la barrera de

energía en caso de superficie esférica del germen. Velocidad de nucleación. Discusión de los órdenes de magnitud y comparación con las condiciones atmosféricas reales para la nucleación de la fase líquida a partir del vapor y de la fase sólida a partir del vapor o de la fase líquida.

Nucleación heterogénea. Presencia de aerosol en la atmósfera. Tamaños, concentraciones, fuentes y sumideros. Núcleos insolubles mojables. Núcleos solubles. Determinación de la relación entre la humedad relativa y el tamaño de las gotas formadas a partir de soluciones en equilibrio con el vapor. Curvas de Kohler. Efectos opuestos de la curvatura y del soluto.

Crecimiento de una gota aislada por condensación. Planteo de las ecuaciones de difusión del vapor y de conducción del calor en estado estacionario. Planteo del crecimiento de una población de gotas por condensación. Evolución de la sobresaturación y del espectro del tamaño de gotas. Comparación de los tiempos de crecimiento con los reales. Discusión.

Proceso que conduce a la precipitación en nubes cálidas. Espectros observados de tamaños de gotas de distintas nubes. Diferencias en nubes marítimas y continentales. Derivación de distintas expresiones para la velocidad terminal de caída de gotas esféricas como función del radio. Interacción de gotas de distintos tamaños. Eficiencias de colisión incorporando o no la influencia en la trayectoria de la gota a ser colectada del flujo generado por la gota colectora y el efecto de turbulencia. Concepto de kernel geométrico. hidrodinámico y turbulento. Eficiencia de coalescencia y de colección. Modelo continuo de crecimiento de las gotas por colección. Cálculo de radios finales en función de las variables dinámicas, del contenido de agua líquida del espesor de la nube. Dificultades de este modelo para reproducir los tiempos reales de formación de gotas precipitantes. Ecuación estocástica de crecimiento por colección y evolución típica de la función de distribución de masa hacia una bimodal. Evolución del radio dominante hacia los tamaños precipitantes en tiempos reales. Tiempo de autoconversión y su dependencia de la turbulencia. Ruptura de gotas.

Nucleación homogénea y heterogénea de la fase sólida en las nubes frías o en las mixtas. Concentraciones, naturaleza, origen y temperaturas de activación de núcleos higroscópicos. Temperaturas de congelación de gotas sobreenfriadas en función del radio.

Crecimiento por depósito del vapor de un cristal. nieve. Factor de forma. Proceso de Bergeron Findeisen. Velocidad de crecimiento de un cristal en función de la temperatura en una atmósfera saturada respecto al agua. Distintos hábitos cristalinos básicos: placas, columnas y dendritas y variedades complejas. Alternancia de los hábitos para distintos intervalos de temperatura.

Crecimiento de partículas de hielo en las nubes por colisión y agregación. Velocidades terminales de caída de distintos hábitos cristalinos. Copos de nieve.

Crecimiento de partículas de hielo por escarchamiento. Evolución hacia el graupel y hacia la piedra de granizo. Regímenes de crecimiento seco y de crecimiento húmedo. Hielo poroso, compacto y esponjoso de acuerdo a la concentración de burbujas de aire y el agua líquida contenidas en la partícula. Clasificación de la precipitación sólida. Características del granizo. Ecuaciones de crecimiento del granizo y de balance calórico. Criterio de determinación del régimen de crecimiento del granizo en base al contenido de agua líquida en la nube. Estructura en capas y

distintas trayectorias posibles del granizo en una nube de tormenta. Multiplicación de partículas de hielo por siembra o por fragmentación.

Síntesis de los distintos mecanismos que conducen a la precipitación líquida o sólida en superficie en nubes estratiformes cálidas o frías y en nubes cumuliformes cálidas o mixtas respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

- Bolton. 1980: "The Computation y equivalent Potential Temperature". Monthly Weather Review. vol. 108. págs. 1046-1053. American Meteorological Society.
- Bavers. R.. 1965: "Elements of Cloud Physics". The University Chicago Press.
- Cotton. W.R. y Anthes. R.A.. 1989: "Storm and Cloud Dynamics". Academic Press. Inc.
- Emanuel. K.A.. 1994: "Atmospheric Convection". Oxford University Press.
- Hauf. T. y Höller. H.. 1987: "Entropy and Potential Temperature". Journal of the Atmospheric Sciences. vol. 44. nº 20, págs. 2887-2901. American Meteorological Society.
- Houze. R.A.. 1993: "Cloud Dynamics". Academic Press.
- Kessler. E.. 1986: "Thunderstorm Morphology and Dynamics". University of Oklahoma Press.
- Kingsmill. D.E. y Wakimoto. R.M.. 1991: "Kinematic, Dynamic and Thermodinamic Analysis of a Weakly Sheared Severe Thunderstorm over Northern Alabama". Monthly Weather Review. vol. 119. págs. 262-297.
- Klemp. J.B. y Rotunno. R.. 1985: "A study of the Tornadic Region within a Supercell Thunderstorm". Journal of the Atmospheric Science. vol. 40. nº 2. págs. 359-377.
- Lipps. F.B. y Hemler. R.S.. 1982: "A Scale Analysis of Deep Moist Convection and Some Related Numerical Calculations". Journal of the Atmospheric Sciences. vol. 39. págs. 2192-2210. American Meteorological Society.
- Lipps. F.B. y Hemler. R.S.. 1980: "Another Look at the Thermodynamic Equation for Deep Convection". Monthly Weather Review. vol. 108. págs. 78-84. American Meteorological Society.
- Nicolini. M.. 1993: "Simulación numérica de una tormenta generadora de un "microburst". su verificación. Meteorológica. vol. 18. págs. 23-32. Centro Argentino de Meteorólogos.
- Mason. B.J.. 1962: "Clouds, Rain and Rainmaking".
- Ogura. Y. y Phillips. N.A.. 1962: "Scale Analysis of Deep and Shallow Convection in the Atmosphere". Journal of the Atmospheric Sciences. vol. 19. nº 2. págs. 173-179. American Meteorological

Society.

- Pruppacher, H.R. y Klett, J.D., 1978: "Microphysics of Cloud and Precipitation". Reidel Publishing Company.
- Ray, P.S., 1986: "Mesoscale Meteorology and Forecasting". American Meteorological Society.
- Rogers, R.R., 1976: "Física de las Nubes". Reverté, S.A.
- Rotunno, R. y Klemp, J.B., 1985: "On the Rotation and Propagation of Simulated Supercell Thunderstorms". Journal of the Atmospheric Sciences. vol. 42. nº3. págs. 271-292. American Meteorological Society.
- Tuttle, J.D. : Bringi, V.N. : Orville, H.D. y Kopp, F.J., 1989: "Multiparameter Radar Study of a Microburst: Comparison with Model Results". Journal of the Atmospheric Sciences. vol. 46. págs. 601-620.
- Wakimoto, R.M. y Bringi, V.N., 1988: "Dual-Polarization Observations of Microburst Associated with Intense Convection: The 20 July Storm during the MIST Project". Monthly Weather Review, vol. 116. págs. 1521-1539. American Meteorological Society.
- Weisman, M.L. y Klemp, J.B., 1982: "The Dependence of Numerically Simulated Convective Storms on Vertical Wind Shear and Buoyancy". American Meteorological Society.

FECHA: 2do. Cuatrimestre de 1996

Matilde Nicolini
Firma Profesora

MATILDE NICOLINI
Aclaración

Firma Director

Dra. NORBERTA NICOLINI
DIRECTOR

Aclaración