



*1821 Universidad de Buenos Aires*

## **Resolución Consejo Directivo**

**Número:**

**Referencia:** EX-2022-04295279- -UBA-DMESA#FCEN posgrado Dinámica de la Alta  
Atmósfera sesión 05/09/2022

---

### **VISTO:**

La nota presentada por la Dirección del Departamento de Ciencias de la  
Atmosfera y los Océanos, mediante la cual eleva la información del curso de posgrado  
Dinámica de la Alta Atmósfera (DOC8800408) para el año 2022,

### **CONSIDERANDO:**

lo actuado por la Comisión de Doctorado,  
lo actuado por la Comisión de Posgrado,  
lo actuado por este Cuerpo en la sesión realizada en el día 05 d septiembre 2022,  
en uso de las atribuciones que le confiere el Artículo 113° del Estatuto Universitario,

**EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**R E S U E L V E:**

**ARTÍCULO 1º:** Aprobar el dictado del curso de posgrado Dinámica de la Alta Atmósfera (DOC8800408) de 160 horas de duración, que será dictado por el Dr. Sergio Dasso.

**ARTÍCULO 2º:** Aprobar el programa del curso de posgrado Dinámica de la Alta Atmósfera (DOC8800408) que como anexo forma parte de la presente Resolución, para su dictado en el primer cuatrimestre de 2022.

**ARTÍCULO 3º:** Aprobar un puntaje máximo de cinco (5) puntos para la Carrera del Doctorado.

**ARTÍCULO 4º:** Establecer un arancel de CATEGORÍA 4 estableciendo que dicho arancel estará sujeto a los descuentos y exenciones estipulados mediante la Resolución CD N° 1072/19. Disponer que los fondos recaudados ingresen en la cuenta presupuestaria habilitada para tal fin, y sean utilizados de acuerdo a la Resolución 072/03.

**ARTÍCULO 5º:** Disponer que de no mediar modificaciones en el programa, la carga horaria y el arancel, el presente Curso de Posgrado tendrá una vigencia de cinco (5) años a partir de la fecha de la presente Resolución.

**ARTÍCULO 6º:** Comuníquese a todos los Departamentos Docentes, a la Dirección de Estudiantes y Graduados, a la Dirección de Movimiento de Fondos, a la Dirección de Presupuesto y Contabilidad, a la Biblioteca de la FCEyN y a la Secretaría de Posgrado con copia del programa incluida. Cumplido, pase a ATMOSFERA#FCEN y resérvese.

## **ANEXO**

### **PROGRAMA**

#### Dinámica de la Alta Atmósfera

##### 1) Fundamentos

Este curso busca aportar conocimientos básicos y esenciales para comprender la dinámica de la alta atmósfera terrestre, dando una introducción sólida a los mecanismos dinámicos elementales y colectivos en este sistema. El curso pretende también aportar conocimientos fundamentales para comprender la estructura global del entorno terrestre y de aquellos procesos que dominan la interacción entre sus diferentes capas.

El curso también contempla la posibilidad de alumnos interesados en profundizar estas temáticas y considera incluir contenidos que muestran fronteras de conocimiento que en la actualidad están aún abiertas a investigaciones.

Se presentan las leyes principales de la teoría cinética de gases neutros y de plasmas, así como también su manifestación macroscópica en el marco de los fluidos neutros y la magnetohidrodinámica, respectivamente. Se desarrollan los marcos teóricos de procesos dinámicos cruciales en la alta atmósfera. Se introducen equilibrios macroscópicos que determinan estructuras estables en la alta atmósfera, así como también diversos mecanismos dinámicos fundamentales en este sistema (e.g., como responde el sistema a perturbaciones y forzados, tanto internos como exógenos); estas descripciones se presentan con rigor cuantitativo en los marcos teóricos detallados durante el curso.

Este curso constituye así un marco fundamental y de gran interés para alumnos en geociencias.

## 2) Propósitos

Proveer a los estudiantes elementos teóricos para comprender diversos mecanismos físicos relevantes en diferentes regiones de la atmósfera terrestre.

Proveer un marco teórico para el estudio de la dinámica de la alta atmósfera terrestre.

Generar conciencia de la importancia que tiene la comprensión de los procesos dinámicos en la alta atmósfera basados en leyes cuantitativas, para desarrollar modelados globales de la atmósfera terrestre.

Promover el análisis crítico de resultados científicos basados en experimentos numéricos y en observaciones a partir del conocimiento de procesos básicos.

Generar experiencias de trabajo en grupo.

Fomentar la lectura crítica de trabajos científicos.

Favorecer la discusión científica.

## 3) Objetivos

Conocer y dimensionar la estructura global del entorno terrestre. Distinguir sus diferentes capas. Reconocer las propiedades y los procesos dinámicos principales en cada una de sus capas.

Conocer con profundidad las propiedades y estructura de la alta atmósfera.

Comprender y disponer conocimiento cuantitativo de los procesos físicos que dominan en cada una de las regiones principales de la alta atmósfera.

Dominar el conocimiento básico que fundamenta los procesos dinámicos principales en la alta atmósfera.

Adquirir herramientas matemático-físicas y computacionales para realizar modelados del sistema.

Reconocer las ventajas de los modelados numéricos frente a los analíticos y viceversa,

dependiendo del interés del problema.

Formar criterio propio y disponer de fundamentos para poder determinar posibles influencias mutuas, y acotar estas influencias, entre las diferentes regiones del entorno terrestre, desde los procesos físicos relevantes en cada región y en cada interfase.

Analizar una publicación científica y extraer conceptos principales y conclusiones.

#### 4) Contenidos

##### I. Estructura global de la atmósfera neutra de la Tierra

Nociones de teoría cinética de gases. Organización y subdivisión de la atmósfera según diferentes criterios y parámetros del gas (temperatura, composición de especies, mecanismo de transporte vertical, camino libre medio, ligadura gravitatoria, etc.).

Principales mecanismos físicos de equilibrios y transporte en la atmósfera. Modelos hidrostáticos. Ordenamiento gravitatorio. Perfiles de densidad, presión y temperatura.

Dinámica atmosférica debida a gradientes térmicos, ondas de Rossby, ondas de gravedad y calentamiento radiativo. Nociones de Química de la Atmósfera. Cinética Química.

Fuerzas de fricción. Procesos difusivos. Difusión molecular. Nociones de turbulencia hidrodinámica. Disipación, difusión y mezclado turbulento. Homosfera y heterosfera.

Velocidad de escape. Exosfera. Exobase. Flujo de escape y estabilidad atmosférica.

Distribución de densidad exosférica.

##### I. Alta atmósfera

Composición de la termosfera y de la ionosfera. Fuentes y sumideros. Colisiones.

Dinámica global de la termosfera. Balance energético global en la termosfera. Espectro de radiación solar. Densidad de flujo de energía espectral. Absorción de la radiación solar y deposición de energía en la alta atmósfera. Dinámica del acoplamiento entre materia y fotones. Ionización. Fotodisociación y fotoionización. Efectos de la radiación

solar UV sobre la dinámica de la alta atmósfera. Procesos de calentamiento, enfriamiento y transporte térmico. Enfriamiento radiativo. Convección. Difusión. Balance de calor. Perfil de temperatura en la alta atmósfera. Vientos termosféricos. Ecuación de balance de momento. Dinámica de ondas en la alta atmósfera (ondas acústicas, ondas de flotación, ondas de gravedad). Estimulación a la fluorescencia. Emisión 'Airglow'. Mecanismos de excitación y emisión. Transporte de energía en la termosfera. Modelado numéricos de procesos en la alta atmósfera.

#### I. Ionosfera y electromagnetismo en la alta atmósfera

Parámetros de estado de la alta atmósfera ionizada. Perfiles de altura. Estructura de la ionosfera (capas D, E y F). Mecanismos de producción y pérdida de iones. Composición química y dinámica de población. Perfiles de densidad de la ionosfera baja y la ionosfera alta. Tiempos característicos en la ionosfera. Variaciones sistemáticas en densidades de ionización. Ondas de radio. La ionosfera como reflector. El rol del campo magnético. Electrojet auroral. Electrojet ecuatorial. Precipitación de protones energéticos. Teoría de plasmas tenues. Derivas de centro de guía. Procesos colectivos. Modos básicos de oscilación e inestabilidades. Propagación de ondas en ionosfera. Acoplamiento termosfera-ionosfera. Arrastre de iones por flujos neutros. Generación de separación de carga y campos eléctricos. Eventos luminosos transitorios (TLEs, TransientLuminousEvents: sprites, elves, blue jets, halo ortrolls). Circuito global eléctrico de la atmósfera. Estructura de la alta atmósfera polar. Auroras. Disipación de energía de partículas aurorales. Origen de las partículas aurorales. Modelos numéricos de la ionosfera. Modelos que acoplan electromagnetismo con fluidos en alta atmósfera.

#### I. Contorno superior de la alta atmósfera y forzados exógenos

Modelado del campo geomagnético. Magnetosfera. Anomalía del Atlántico Sur.

Movimiento de partículas cargadas en el campo geomagnético. Derivas de centro de guía en la magnetosfera. Sistemas de corriente en el espacio. Principales mecanismos de decaimiento de corrientes espaciales (interacción por intercambio de carga, ondas ión-ciclotrón).

Poblaciones de partículas en la magnetosfera interna. Cinturón de radiación.

Corriente de anillo. Plasmasfera. Acoplamiento magnetosfera-ionosfera. El campo geomagnético externo. Asimetría día-noche. Corriente de magnetopausa diurna. Sistema de corriente de la magnetocola. Poblaciones de partículas en la magnetosfera exterior.

Nociones de magnetohidrodinámica. Reconexión magnética. El medio interplanetario y el viento solar, estructura estacionaria de gran escala. Acoplamiento magnetosfera-viento solar. Tormentas Geomagnéticas. Subtormentas. Modos de oscilación del plasma en el medio interplanetario. Nociones de turbulencia en el viento solar. Absorción y disipación de energía del viento solar en el entorno terrestre polar. Disipación de energía de partículas aurorales. Introducción a los modelos atmosféricos globales (WACCM, CCMC, TIME-GCM, BATS-RS, etc). Modelados numéricos de regiones específicas y modelados globales.

##### 5) Encuadre metodológico

El dictado de esta asignatura prevé clases teóricas y clases prácticas.

En las primeras se abordarán ejes temáticos referidos a los contenidos de las distintas unidades a través de exposiciones a cargo del profesor de la materia.

Las clases prácticas estarán a cargo del profesor con la ayuda de personal auxiliar docente, y consistirán principalmente en la coordinación y supervisión de trabajos realizados por los propios alumnos del curso, así como también de explicaciones a cargo de los docentes de técnicas y métodos matemáticos y numéricos para lograr las soluciones a diferentes problemas analíticos que resultan de la aplicación de las leyes de

la física y de la química a diferentes regímenes y regiones del sistema de estudio.

Parte de las clases de trabajos prácticos se desarrollarán frente a computadoras, de tal forma que el propio alumno implementa esquemas y métodos numéricos para la resolución de los problemas planteados.

Las clases prácticas se organizarán a partir de Guías de Trabajos prácticos, que acompañarán cada módulo de la materia. La práctica requerirá del manejo de modelos de complejidad creciente (desde modelos simples que enfatizan en dinámicas locales hasta modelos globales de la dinámica de la alta atmósfera y toda la atmósfera terrestre) y diversos métodos y técnicas matemáticas para su resolución cuantitativa, para lo cual se proveerán clases introductorias acerca del uso de herramientas computacionales que faciliten el trabajo en el laboratorio numérico.

La intervención docente será tal que favorezca la problematización de los conceptos trabajados, el análisis crítico y la comprensión de los resultados empleando el bagaje teórico. Para ello se prevé la puesta en práctica de distintas estrategias: ejercitación, análisis y resolución de problemas.

#### 6) Modalidad de evaluación

El curso, además de propiciar la discusión parcial de resultados durante las clases prácticas y el trabajo en laboratorio, propone la exposición y discusión de resultados por parte de los alumnos en cuatro oportunidades; cada una al final del desarrollo de cada uno de los cuatro grandes módulos descriptos en los contenidos (i.e.: 1. Estructura global de la atmósfera neutra de la Tierra, 2. Alta atmósfera, 3. Ionosfera y electromagnetismo en la alta atmósfera, y 4. Contorno superior de la alta atmósfera y forzados exógenos), con el objeto de realizar una evaluación parcial del desarrollo del curso.



La aprobación del curso dependerá, además, de dos instancias:

1) La presentación de un seminario y la entrega de una monografía escrita, ambos sobre el mismo tema específico, previamente consensuado con los docentes. El seminario/monografía podría estar basado en una publicación científica relevante que será también consensuada previamente con el profesor. Durante la exposición del seminario y durante la devolución del docente sobre la monografía, el profesor evaluará el conocimiento del alumno de los contenidos del curso.

2) Un examen final global e integrador del curso, que podrá ser escrito u oral.

7) Recursos

Los estudiantes tendrán a su disposición a partir de un sitio web de la materia, toda la información pertinente a la organización del curso (i.e. cronograma, contactos, programa) así como también al material empleado: guías de trabajos prácticos, bibliografía, tutoriales, enlaces a sitios de interés, entre otros.

El ámbito para el dictado de clases debe contar con capacidad para proyección de una parte de las clases a partir de computadoras personales, así como también de pizarra tradicional para el desarrollo de los temas tratados.

El ámbito para el desarrollo de las clases de trabajos prácticos deberá contar con un laboratorio de computación adecuado, tanto en cantidad de puestos de trabajo como en las plataformas y programas instalados, dado que deben ejecutarse programas específicos que contienen herramientas numéricas para el desarrollo de modelado numérico. No será necesario que la totalidad de las clases se desarrollen en este laboratorio de computación, ya que estas facilidades se requerirán solo en un número limitado de oportunidades.

8) Bibliografía

## Bibliografía Básica

- Andrews D.G., An introduction to atmospheric physics, Cambridge, 2000
- Gombosi T.I., Physics of the Space Environment, Cambridge, 2004
- Hargreaves J.K., An introduction to geospace: the science of the terrestrial upper atmosphere, ionosphere and magnetosphere, Cambridge, 1992
- Kelley M.C., The Earth's Ionosphere: Plasma Physics & Electrodynamics, Academic Press, 2009
- Moldwin M., An Introduction to Space Weather, Cambridge, 2008
- Parks G.K., Physics of the Space Plasma. An Introduction, Westview, 2004
- Prölss G.W., Physics of the Earth's Space Environment, Springer, 2004
- Russell C.T., Luhmann J.G. & Strangeway R.J., Space Physics – An Introduction, Cambridge, 2016
- Schunk R.W. & Nagy A.F., Ionospheres: Physics, Plasma Physics, and Chemistry, Cambridge, 2009

## Bibliografía Específica Complementaria

- Akasofu S., Exploring the secrets of the Aurora, Kluwer, 2002
- Alperovich L.S., Hydromagnetic waves in the magnetosphere and the ionosphere, Springer, 2007
- Bothmer V. & Daglis I.A., Space Weather – Physics and Effects, Springer, 2007
- Burlaga L.F., Interplanetary Magnetohydrodynamics, Oxford, 1995
- Camporale E., Wing S. & Johnson J.R., Machine Learning Techniques for Space Weather, Elsevier, 2018
- Cravens T.E., Physics of the Solar System Plasmas, Cambridge, 2004
- Dasso S. & Shea M.A., Magnetosphere, ionosphere and their connection to Space

Weather, Adv. In Space Research (a COSPAR Pub), 65, 2081-2082, 2020

Kalnay E., Atmospheric Modeling: Data Assimilation and Predictability, Cambridge, 2003

Kamide Y. &Chian A., Handbook of the Solar-Terrestrial Environment, Springer, 2007

Khazanov G.V., Kinetic Theory of the Inner Magnetospheric Plasma, Springer, 2010

Kivelson M.G. & Russell C.T., Introduction to Space Physics, Cambridge, 1995

Neubert T., On Sprites and Their Exotic Kin, Science (300), 747, 2003

Scherer K., Fichtner H., Heber B., and Mall U., Space Weather: The Physics behind a Slogan, Springer, 2005

Schrijver C.J. &Siscoe G.L., Heliophysics. Space Storms and Radiation: Causes and Effects, Cambridge, 2010

Zhao A. et al., The AstroPhysicsl Journal, 931:55 (10pp), 2022