



**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos*



CARRERA: Doctorado de la UBA, Especialidad Ciencias de la Atmósfera y los Océanos

ASIGNATURA: **Estructuras Lagrangianas coherentes en fluidos geofísicos**

Año: 2016

Cuatrimestre: Segundo

CÓDIGO DE LA CARRERA: 56 - Doctorado y Posgrado

CÓDIGO DE LA MATERIA:

APROBADO POR RESOLUCIÓN Nº:

Puntaje Asignado:

CARÁCTER DE LA ASIGNATURA				PROFESORES	
REGIMEN	HORAS DE CLASE		Total	Dr. FRANCISCO J. BERON-VERA Dr. MARTIN SARACENO	
	Por Semana				
Cuatrimestral	Teóricas	40	60		
	Prácticas				
Bimestral	Laboratorio de computación	20			
	Laboratorio de fluidos				
Intensivo	X Trabajo de campo				
	Seminarios				

  

ASIGNATURAS CORRELATIVAS PRECEDENTES	
Trabajos Prácticos Aprobados	Asignaturas Aprobadas
Requiere	No requiere

**1. Fundamentos**

Los flujos que nos rodean se caracterizan por mostrar patrones ordenados o coherentes. Ejemplos incluyen la emergencia de filamentos o remolinos en distribuciones de plancton, contaminantes o desperdicios flotantes en la superficie oceano; la ocurrencia de estructuras similares en distribuciones de vapor de agua o contaminantes en la atmosfera; la confinación de aire con escasa concentración de ozono en la estratosfera Antártica; la persistencia de vórtices en atmosferas planetarias como la Gran Mancha Roja de Júpiter; el mantenimiento de bandas zonales en la distribución de nubes en esas atmosferas. Esto sugiere la existencia de una estructura subyacente en flujos geofísicos encargada de organizarlos en tales patrones. La estructura organizadora mencionada se conoce como *esqueleto lagrangiano*. Sus elementos constitutivos, los cuales vienen dados por superficies materiales muy especiales, se conocen como *estructuras lagrangianas coherentes*. Acceder a estas estructuras es beneficioso no solo del punto de vista teórico, ya que permite explicar la existencia de algún patrón, si no también desde del punto de vista practico, ya que es posible hacer cálculos precisos de transporte y hasta hacer predicciones de cómo una determinada distribución evolucionara en el tiempo. Desarrollos recientes en el área de sistemas dinámicos no-lineales dieron curso a la producción de técnicas especializadas que permiten extraer estructuras lagrangianas coherentes de campos de velocidad que dependen aperiódicamente en el tiempo (como el caso de un flujo turbulento en la naturaleza) y que están definidos en intervalos de tiempo finito (como el resultado de simulaciones, experimentos u observaciones). El objetivo de este curso es el de familiarizar al estudiante con estas técnicas y sus diversas aplicaciones geofísicas.



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos



## 2. Propósitos

1. Transmitir conocimientos modernos sobre transporte lagrangiano.
2. Producir conciencia sobre la importancia de los procesos de transporte.
3. Promover el análisis crítico de artículos de impacto en los diferentes temas tratados.
4. Generar experiencias de trabajo en grupo.
5. Favorecer la discusión científica.

## 3. Objetivos

1. Revisar el estado del arte de procesos de transporte.
2. Discutir el conocimiento moderno de temáticas de actualidad.
3. Comprender la relevancia de estas temáticas.

## 4. Contenidos

### 0. Introducción (2.5 h)

- 0.1 Motivación física.
- 0.2 Alcance y trabajos originales.
- 0.3 Aplicaciones y estructura geométrica.
- 0.4 Aproximación al problema.

### 1. Flujo, trayectorias y deformación (5 h)

- 1.1 Flujo.
- 1.2 Velocidad; aceleración; descripciones lagrangiana y euleriana.
- 1.3 Métodos clásicos de visualización de flujos (trayectorias, líneas de corriente).
- 1.4 Flujos estacionarios y periódicos.
- 1.5 Gradiente de deformación y velocidad de deformación.
- 1.6 Cinemática de la deformación.
- 1.7 Objetividad.

### 2. Caos en sistemas dinámicos (7.5 h)

- 2.1 Sistemas dinámicos.
- 2.2 Puntos fijos y orbitas periódicas.
- 2.3 Estabilidad local y mapeos linealizados
- 2.4 Sección de Poincare.
- 2.5 Subespacios invariantes: variedades estable e inestable.
- 2.6 Estabilidad estructural.
- 2.6 Signos de caos (conexiones homoclínicos y heteroclínicos,; sensibilidad a condiciones iniciales; mapeos de herradura).
- 2.7 Definiciones de caos.



**3. Caos en sistemas hamiltonianos (7.5 h)**

- 3.1 Ecuaciones de Hamilton.
- 3.2 Integrabilidad.
- 3.3 Retrato de fase.
- 3.4 Flujos hamiltonianos periódicos: secciones de Poincare y toros invariantes.
- 3.5 Puntos homoclínicos y heteroclínicos.
- 3.6 Perturbaciones; método de Melnikov.
- 3.7 Comportamiento cerca de puntos elípticos (teorema de Poincare-Birkhoff; teorema KAM; teorema de torsión)
- 3.8 Flujos hamiltonianos múltiplemente periódicos.
- 3.9 Hamiltonianos degenerados.

**4. Estructuras lagrangianas coherentes (25 h)**

- 4.1 Motivación.
- 4.2 Pre-requisitos para una teoría autoconsistente (objetividad, tiempo finito, invariancia lagrangiana, coherencia espacial).
- 4.3 Descripción objetiva de deformación lagrangiana (mapeo de flujo; tensores de esfuerzos; advección material; dualidad futuro/pasado).
- 4.4 Exponentes de Lyapunov (motivación; historia; problemas).
- 4.4 Teoría local de estructuras lagrangianas coherentes.
- 4.5 Teoría global de estructuras lagrangianas coherentes.
  - 4.5.1 Curvas extremales de deformación absoluta.
  - 4.5.2 Curvas estacionarias de deformación relativa.
    - Corte lagrangiano promedio: estructuras hiperbólicas y parabólicas.
    - Estiramiento promedio: estructuras elípticas; vórtices coherentes.
- 4.6 Análisis de núcleos de estructuras lagrangiana coherentes.
- 4.7 Teoría inercial de estructuras lagrangianas coherentes.
- 4.8 Aspectos computacionales.
- 4.9 Descripción de los varios campos de velocidades a utilizar en las aplicaciones.

**5. Aplicaciones (22.5 h)**

- 5.1 Aplicaciones oceánicas.
  - Golfo de México (derrame de petróleo; boyas derivantes; mareas rojas).
  - Atlántico Sur (anillos de Agujas; intercambio océano Índico-Atlántico; clima).
  - Pacífico Norte (anillos; boyas sumergidas).
  - Giros subtropicales (acumulación de basura; boyas superficiales).
- 5.2 Aplicaciones atmosféricas.
  - Troposfera (cenizas volcánicas).
  - Estratosfera (agujero de ozono).
- 5.3 Aplicaciones a atmósferas planetarias.
  - Gran Mancha Roja de Júpiter.
  - Corrientes de chorro como barreras de transporte.

ul -



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos*



#### 5. Modalidad de evaluación

La evaluación del presente curso se basará en la aplicación de un método a elegir a algún flujo observado o simulado.

#### 6. Recursos

Los estudiantes tendrán a su disposición un espacio físico que cuente con proyector (medio audiovisual) y pizarrón. Por su parte el profesor una computadora con acceso a internet para el desarrollo de sus clases.

#### 7. Bibliografía sugerida

- Beron-Vera, F. J. (2014). Flow coherence: Distinguishing cause from effect. In J. Klapp et al. (eds.), *Experimental Fluid Mechanics, Environmental Science and Engineering*, Springer-Verlag.
- Haller, G. (2014). Lagrangian coherent structures. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 47, 137-162.
- Haller, G. and F. J. Beron-Vera (2013). Coherent Lagrangian vortices: the black holes of turbulence. *J. Fluid Mech.* 731, R4.
- Ottino, J. M. (1989). *The kinematics of mixing: stretching, chaos and transport*. Cambridge University Press.

**Dr. Francisco J. Beron-Vera**  
Department of Atmospheric Sciences  
Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences  
University of Miami

**Dr. Martin Saraceno**  
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y de los Océanos  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires



Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Referencia Expte. N° 506.233 vinc 01

Buenos Aires, 22 AGO 2016

**VISTO:**

la nota de la Dra. Matilde Rusticucci, Directora del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, mediante la cual eleva la información del curso de posgrado **Estructuras Lagrangianas coherentes en fluidos geofísicos**, que será dictado del 5 al 16 de diciembre de 2016 por los Dres. Francisco Berón Vera y Martín Sarraceno,

**CONSIDERANDO:**

lo actuado por la Comisión de Doctorado,

lo actuado por la Comisión de Postgrado

lo actuado por este Cuerpo en Sesión Ordinaria realizada en el día de la fecha,

en uso de las atribuciones que le confiere el Artículo N° 113° del Estatuto Universitario,

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

Artículo 1°: Autorizar el dictado del curso de posgrado **Estructuras Lagrangianas coherentes en fluidos geofísicos**, de 70 horas de duración.

Artículo 2°: Aprobar el programa del curso de posgrado **Estructuras Lagrangianas coherentes en fluidos geofísicos** obrante a fs 8 y 9 del expediente de la referencia.

Artículo 3°: Aprobar un puntaje máximo de tres (3) puntos para la Carrera del Doctorado.

Artículo 4°: Comuníquese a la Biblioteca de la FCEyN con fotocopia del programa incluida.

Artículo 5°: Comuníquese a la Secretaría de Postgrado, a la Dirección de Alumnos y a la Dirección del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Cumplido, archívese.

Resolución CD N°  
SP/iga 08/09/2016

948

Dr. PABLO J. PAZOS  
Secretario Adjunto de Posgrado  
FCEyN - UBA

Dr. JUAN CARLOS REBORADA  
DECANO