



*1821 Universidad de Buenos Aires*

## **Resolución Consejo Directivo**

**Número:** RESCD-2022-1972-E-UBA-DCT#FCEN

CIUDAD DE BUENOS AIRES

Martes 11 de Octubre de 2022

**Referencia:** EX-2022-04291160- -UBA-DMESA#FCEN curso de posgrado Modelado Numérico Regional del Nivel del Mar con Herramientas Abiertas de la Comunidad Científica sesión 03/10/2022

---

### **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 Modelado Numérico Regional del Nivel del Mar con Herramientas Abiertas de la Comunidad Científica para el año 2022,

### **CONSIDERANDO:**

lo actuado por la Comisión de Doctorado,  
lo actuado por la Comisión de Posgrado,  
lo actuado por la Comisión de Presupuesto y Administración,  
lo actuado por este Cuerpo en la sesión realizada en el día 03 de octubre de 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 nuevo curso de posgrado **Modelado Numérico Regional del Nivel del Mar con Herramientas Abiertas de la Comunidad Científica** de 81 horas de duración, que será dictado por el Dr. Diego Moreira con la Colaboración de los Dres. Matías G. Dinápoli y Claudia Simionato.

**ARTÍCULO 2º:** Aprobar el programa del curso de posgrado **Modelado Numérico Regional del Nivel del Mar con Herramientas Abiertas de la Comunidad Científica** 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 cuatro (4) puntos para la Carrera del Doctorado.

**ARTÍCULO 4º:** Establecer un arancel de **CATEGORÍA 3** 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**

#### **Modelado numérico regional del nivel del mar con herramientas abiertas de la comunidad científica**

**Objetivo General:** El objetivo principal del curso es que los/las estudiantes adquieran conocimientos teórico-prácticos sobre el modelado numérico de los procesos barotrópicos en el océano, asociados con las variaciones del nivel del mar, e implementen modelos idealizados y en entornos realistas, utilizando un modelo numérico de última generación ampliamente aceptado por la comunidad científica.

Entre los **objetivos específicos** se espera que los/las estudiantes:

- Comprendan las ventajas y las limitaciones del modelado numérico para la estimación y pronóstico del nivel del mar.
- Adquieran conocimientos sobre el desarrollo de las ecuaciones que gobiernan la dinámica del océano en diferentes escalas espacio-temporales aplicadas al modelado numérico.
- Aprendan sobre los ajustes, parametrizaciones y aproximaciones que se deben realizar en un modelo numérico, y las implicancias que esto conlleva.
- Pongan en práctica los conocimientos adquiridos para la implementación de modelos numéricos aplicados a cuencas idealizadas y realistas.
- Mejoren su conocimiento de los procesos barotrópicos que ocurren en el océano.
- Mejoren sus capacidades para la representación y presentación de resultados científicos.
- Adquieran capacidad crítica y de análisis de los resultados provenientes de los modelos numéricos.

#### **1. Destinatarios:**

Este curso está dirigido a todos aquellos estudiantes avanzados y profesionales vinculados a las siguientes disciplinas y áreas temáticas: oceanografía, meteorología, física, química, biología, ecología, ciencias ambientales, geología e ingeniería; monitoreo ambiental, evaluación, planificación y manejo de recursos naturales.

## **2. Fundamentos:**

En los últimos años se han desarrollado, implementado y validado modelos numéricos barotrópicos del nivel del mar con herramientas abiertas a la comunidad que muestran características y desempeños al estado del arte a nivel mundial. En particular se han alcanzado grandes avances en el modelado barotrópico de la región del Río de la Plata y la Plataforma Adyacente. Los códigos, los forzantes y las condiciones de contorno para estos modelos están disponibles a toda la comunidad científica, dado que son desarrollados y distribuidos por los grandes centros de modelado y pronóstico del mundo, y están disponibles a escala global. Los desarrollos locales utilizados con el modelo CROCO (Coastal and Regional Ocean COmmunity model), o MARS (Model for Applications at Regional Scales), sistemas de modelado numérico basados en ROMS\_AGRIF, demostraron que la regionalización mejora los resultados de los modelos globales. Estos modelos resuelven problemáticas específicas, con implementaciones, mejoras, validaciones y calibraciones específicas para la región mostrando un muy buen desempeño que puede ser replicado para otras zonas costeras de gran interés.

## **3. Propósitos:**

Este curso propone formar a estudiantes avanzados y profesionales del área, en la implementación de un modelo numérico barotrópico, en base a las experiencias adquiridas en la implementación, la calibración y la validación de modelos a nivel regional, con el objetivo de que puedan ser replicados en otras regiones costeras. Para ello se describen en forma general los principales modelos numéricos que actualmente utiliza la comunidad, sus limitaciones y sus ventajas. Se repasan las ecuaciones y la dinámica oceánica que permite abordar el modelado numérico en su forma barotrópica. Se describen los conceptos teóricos más importantes para la discretización de las ecuaciones, las parametrizaciones y los problemas propios de la implementación utilizando las herramientas de programación más recientes de código abierto a la comunidad. Y se acompaña a los estudiantes en la implementación del modelo, la

realización de pruebas y ejercicios prácticos que permiten familiarizarse con el desarrollo para finalizar en la aplicación en una cuenca realista.

#### **4. Contenidos separados en Módulos**

##### **1) Introducción.**

Qué es el modelado numérico, visión general. Historia y avances hasta el estado actual. Tipos de modelos, qué representan y para qué se usan. Escalas espaciales y temporales. Ventajas y limitaciones. Diferencias y complementos con otros modos de estudiar el océano.

##### **2) Ecuaciones y dinámica del océano.**

Repaso de las ecuaciones que gobiernan los movimientos barotrópicos en el océano en diferentes escalas espaciales y temporales. Aproximaciones y filtrado de procesos. Soluciones en cuencas abiertas, cerradas y canales; ondas de Poincaré, de Kelvin, Inerciales y de Rossby; ondas costeras atrapadas; onda de tormenta. Limitaciones y ventajas de los modelos globales y regionales para el modelado del nivel del mar.

##### **3) Conceptos teóricos sobre el modelado numérico.**

Ecuaciones N-S, discretización de las ecuaciones, aproximaciones, parametrizaciones y ajustes. Discusión sobre problemas numéricos (inestabilidad, soluciones computacionales, dispersión, etc.). Grillado en modelos numéricos geofísicos y condiciones de contorno (abierta, cerrada, forzada, radiativa y cíclica). Pasos de tiempo. Anidados. Esquemas de cierre. Costo computacional.

##### **4) Nociones básicas de programación.**

Lenguajes de programación, conceptos básicos y repaso de las funciones más utilizadas: Fortran y Python. Configuración del entorno del modelo, estructura de la distribución del modelo, librerías, repositorios. Métodos de visualización, análisis y post procesamiento, algunas herramientas a utilizar.

### **5) Implementación 1.**

Modelo idealizado barotrópico en una cuenca abierta con una perturbación inicial en el centro y en un borde. En una cuenca cerrada. Con y sin rotación. Cambios de la dinámica con la variación de la profundidad.

### **6) Implementación 2.**

Modelo idealizado barotrópico en un canal con 1 solo borde. Con y sin rotación. Con dos bordes paralelos. En un canal poco profundo.

### **7) Implementación 3.**

Modelo idealizado barotrópico en una cuenca ecuatorial, plano  $f$  y plano  $\beta$ . Propagación de ondas ecuatoriales.

### **8) Implementación 4.**

Modelado en una cuenca realista. Incorporación de la batimetría y la línea de costas. Definición del dominio y la grilla según la aplicación del modelo. Limitaciones. Resolución vs. costo computacional. Inicialización en caliente y frío (“hot” y “cold”). Incorporación de forzantes externos como la marea, el viento y las olas; solución de ondas de tormenta. Forzado con diferentes bases de datos para el forzante atmosférico, ERA, NCEP, FES, etc. Validación y calibración de resultados con series de altura del nivel del mar y datos altimétricos.

### **9) Taller presencial, puesta en común y cierre.**

En lo posible presencial, intensivo de 3 días en la FCEN para las tres últimas clases y la resolución del problema propuesto. Presentación de resultados. Puesta en común y cierre.

### **5) Modalidad.**

**Modalidad didáctica:** La modalidad de este curso es semi presencial (8 horas semanales repartidas en un día por semana durante un bimestre (6 días), y un taller

presencial (recomendable) de 3 días de duración (8hs cada uno). Se desarrolla la materia a través de clases teórico-prácticas, con actividades a desarrollar en el laboratorio de computación o en las computadoras propias de los participantes, con programas, sistemas y datos libres y accesibles por la Web.

La materia utiliza un enfoque didáctico que promueve el análisis de casos a modo de ejemplo, y la resolución de un problema concreto como estrategia de enseñanza. Los estudiantes deberán trabajar en los ejemplos aportados, y en la implementación de un modelo en una región en particular. Para finalizar se espera que cada estudiante entregue un informe donde incluirá todo el desarrollo realizado, con los resultados alcanzados acompañando los conceptos relevantes de ese caso. El último día del curso cada estudiante presentará los resultados alcanzados en una exposición oral para favorecer el intercambio y el aprendizaje de forma colectiva. Se brindará a los estudiantes la posibilidad de consulta permanente durante las clases presenciales y virtuales.

**Modalidad de evaluación:** La evaluación de cada estudiante se realizará a través del informe y la presentación oral donde expondrá los resultados alcanzados. Se complementará dicha instancia con la evaluación constante que se realiza al estudiante a partir de las consultas realizadas, el desempeño demostrado en clase, y la actitud e iniciativa de cada uno frente a la resolución de los problemas propuestos y el interés propio.

## **6) Recursos:**

Los estudiantes tendrán a su disposición el laboratorio de Computación de el 0+00 con conexión a internet durante las clases prácticas o podrán utilizar sus propias computadoras. Se dispondrá también de espacio en un servidor del Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera en caso de ser necesario.

## **7) Bibliografía Fundamental:**

La bibliografía básica de este curso consta de libros teóricos como introducción a la oceanografía teórica y dinámica que describe los principales movimientos barotrópicos del sistema. Libros específicos del modelado numérico. Y dos manuales de implementación de modelos regionales que se encuentran disponibles para toda la



comunidad y se actualizan constantemente. Todos ellos útiles para el desarrollo de la materia.

Advanced Ocean Modelling. Using Open-Source Software (2010). Jochen Kämpf. Springer. ISBN: 978-3-642-10610-1

Atmospheric modeling, data assimilation and predictability (2003). Eugenia Kalnay. Cambridge University Press. ISBN: 0521791790.

Atmosphere, ocean, and climate dynamics: an introductory text (2007). Marshall, J. y A. Plumb. Elsevier Academic Press January, 519 pp.

Atmosphere-Ocean Dynamics (1982). Adrian E. Gill. Academic Press, Volume 30 (International Geophysics), 662 pp., ISBN-10: 0122835220.

Croco model documentation. Techican and numerical doc (2022). S.Jullien, M.Caillaud, R. Benshila, L. Bordoio, G. Cambon, F. Dufois, F. Dumas, J. Gula, M. Le Corre, S. Le Gentil, F. Lemarié, P. Marchesiello, G. Morvan, and S. Theetten. (<https://www.croco-ocean.org/documentation/>)

Debreu, L., P. Marchesiello, P. Penven, and G. Cambon (2012). Two-way nesting in split-explicit ocean models: algorithms, implementation and validation. Ocean Modelling, 49-50, 1-21.

Geophysical Fluid Dynamics (1987). Joseph Pedlosky, Springer, 710 pp., ISBN-10: 0387963871.

Introduction to Geophysical Fluid Dynamics - Physical and Numerical Aspects (2011). Benoit Cushman-Roisin y Jean-Marie Beckers. Academic Press, 875 pp. ISBN: 978-0-12-088759-0

Lazure P, Dumas F. (2008). An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Adv. Water Resour.*, 31, pp. 233–250.]

Marchesiello, P., J.C. McWilliams, and A. Shchepetkin, (2001). Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. *Ocean Modelling*, 3, 1-20.

Marchesiello P., F. Auclair, L. Debreu, J.C. McWilliams, R. Almar, R. Benshila, F. Dumas, (2021). Tridimensional nonhydrostatic transient rip currents in a wave-resolving model. *Ocean Modelling*, 163, 101816. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101816>

MARS model manual (2022). Valérie Garnier, Sébastien Theetten, Bénédicte Thouvenin, Martin Huret (<https://www.ifremer.fr/mars3d/Le-modele/Documentation>)

*Ocean Modelling for Beginners* (2010). Using Open-Source Software. Jochen Kämpf. Springer. ISBN: 978-3-642-00819-1

Penven P., P. Marchesiello, L. Debreu, and J. Lefevre, (2007). Software tools for pre- and post-processing of oceanic regional simulations. *Environ. Model. Softw.*, 23, 660-662.

Shchepetkin, A., and J.C. McWilliams, 2005: The Regional Oceanic Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate ocean model. *Ocean Modelling*, 9, 347-404.

Soufflet, P. Marchesiello, F. Lemarié, J. Jouanno, X. Capet, L. Debreu, R. Benshila. (1998). On effective resolution in ocean models. *Ocean Modelling*, pp 36-50, 2016

Warner, J.C., Defne, Z., Haas, K., Arango, H.G., (2013). A wetting and drying scheme for ROMS. Comput. Geosci. 58, 54–61.

Digitally signed by MARTI Marcelo Adrian  
Date: 2022.10.11 13:06:23 ART  
Location: Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Marcelo Marti  
Secretario  
Secretaría de Posgrado  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Digitally signed by DURAN Guillermo Alfredo  
Date: 2022.10.11 14:41:11 ART  
Location: Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Guillermo Alfredo Duran  
Decano  
Decanato  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales