

# **SEMINARIO DE MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **FACULTAD REGIONAL BAHÍA BLANCA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**

### **Modelización Ambiental 2020**

**Responsable:** Dr. Víctor H. Cortínez

**Co-Responsable:** Dra. Cecilia Stoklas

#### **Objetivos:**

El presente curso tiene como propósito el tratamiento de aspectos teóricos y computacionales de la mecánica de fluidos y fenómenos de transporte en general, y su aplicación en problemas correspondientes a ambientes naturales. Se prevé que el estudiante que apruebe tal curso estará en condiciones de formular, resolver desde el punto de vista computacional, interpretar resultados y efectuar evaluaciones de diferentes situaciones de diseño de la ingeniería hidráulica ambiental y problemas afines.

#### **Pre-requisitos:**

Se trata de un curso de magíster en ingeniería ambiental en el cual los estudiantes tienen una formación heterogénea de acuerdo a sus carreras de origen. Es decir pueden provenir de carreras de grado con diferente intensidad de formación matemática. Por lo tanto, este seminario presenta características intermedias entre uno avanzado de grado y uno de posgrado (dependiendo del tipo de carrera de origen de cada estudiante).

Se supone que el estudiante posea conocimientos de cálculo diferencial e integral, física y química básica, aspectos generales de ingeniería ambiental. Por otra parte, es deseable que hayan tomado cursos básicos de ecuaciones diferenciales, métodos numéricos y mecánica de fluidos.

#### **Enfoque:**

Teórico computacional, con especial énfasis en resolución de problemas.

**Carga Horaria:** 30 hs. (distribuidas en clases teórico-prácticas)

#### **Forma de Evaluación:**

- Los estudiantes deberán aprobar dos exámenes parciales y desarrollar una monografía como trabajo final con calificación entre 0 y 10 puntos.
- Aquellos estudiantes que no hayan logrado la aprobación de los exámenes parciales, podrán rendir en una instancia de recuperación previa al inicio del trabajo final.

**Lugar de dictado:**

Facultad Regional Bahía Blanca, UTN (aula virtual). El curso será dictado de manera virtual, con algunas clases sincrónicas y otras clases grabadas.

**Fundamentos:**

La mecánica de los fluidos constituye una disciplina fundamental en varias ramas de la ingeniería. El estudio de la misma es cubierto en cursos de pregrado desde un punto de vista general con aplicaciones más bien básicas hacia diferentes campos de aplicación.

En carreras relacionadas con la ingeniería mecánica, tales cursos tratan sobre aspectos teóricos fundamentales concentrándose luego en aplicaciones de la hidrostática, formulación de problemas de flujo (compresible o incompresible) en tuberías, aplicaciones de fórmulas generales aplicadas al análisis de turbomáquinas y algunos problemas asociados con flujos externos. En el ámbito de la enseñanza de la ingeniería civil, el énfasis también suele estar puesto en problemas de hidrostática, análisis de tuberías y fundamentalmente en la hidráulica de canales abiertos (fundamentalmente desde el punto de vista estacionario). Los cursos relacionados con ingeniería aeronáutica y naval cubren en mayor profundidad cuestiones referidas a flujos alrededor de cuerpos rígidos (flujos potenciales, teoría de capa límite) que dan fundamento a problemas aerodinámicos e hidrodinámicos relacionados con aeronaves y barcos viajando en medios fluidos.

En ingeniería química la mecánica de fluidos ocupa un lugar de importancia enseñándose generalmente en relación a problemas de fenómenos de transporte con aplicaciones a diversos procesos industriales. En los textos relacionados con esta rama de la ingeniería suele darse especial énfasis a la denominada teoría de lubricación (ecuaciones de Reynolds) para analizar flujos en geometrías de muy pequeño espesor debido a su importancia en ciertos procesos industriales (extrusión de plásticos, recubrimiento de alambres, etc.).

Una rama de la ingeniería que ha cobrado gran importancia en las últimas décadas es la denominada ingeniería ambiental. Por la complejidad de los procesos ambientales, el estudio de la mecánica de los fluidos y de los fenómenos de transporte se ha convertido en una actividad ineludible a los efectos de comprender claramente los procesos naturales y su interacción con los sistemas antrópicos. La variedad de cuestiones relacionadas con el medio ambiente hace que los textos y cursos pensados para las ramas más clásicas de la ingeniería no se adapten fácilmente a sus necesidades. Por tal motivo han aparecido varios textos que complementan los cursos clásicos brindando un tratamiento de aplicaciones específicas basadas en fundamentos básicos. Si bien tales enfoques son de utilidad, en general solo aportan algunas fórmulas y metodologías simplificadas para comprender ciertas cuestiones básicas relacionadas con el medio ambiente, fundamentalmente desde un punto de vista cualitativo. Por otra parte, en las últimas dos décadas han crecido exponencialmente las posibilidades de estudiar problemas ambientales desde el punto de vista matemático utilizando diversas técnicas numéricas y herramientas computacionales. Así existen actualmente en el mercado una amplia gama de programas basados en el método de elementos finitos que

permiten resolver complicadas ecuaciones relacionadas con problemas de ingeniería ambiental.

Sin embargo el uso adecuado de tal metodología debe estar basado en un adecuado conocimiento de aspectos teóricos de la mecánica del continuo (mecánica de fluidos, los fenómenos de transporte ) aplicada a los problemas de ingeniería ambiental más importantes tales como fenómenos de transporte en ríos, lagos , estuarios, atmósfera y suelos (medios porosos).

Por ello, el presente curso intenta abordar la enseñanza de los principales aspectos de la mecánica de los fluidos y los fenómenos de transporte para lograr formular apropiadamente problemas de contorno y de valor inicial relacionados con la ingeniería ambiental y su resolución computacional mediante programas basados en el método de elementos finitos. En particular se hará uso del programa de elementos finitos FlexPDE.

Asimismo, considerando su uso generalizado, se propenderá a la aplicación del programa Excel para la resolución de ciertas situaciones numéricas y analíticas.

## **Contenidos**

### **1. Conceptos Preliminares**

- 1.1. Ingeniería Ambiental: Generalidades.
- 1.2. Modelos Matemáticos en la Ingeniería y Ciencias.
- 1.3. Tipos de Modelos Matemáticos.
- 1.4. Soluciones Analíticas y Numéricas.
- 1.5. Ecuaciones de conservación
- 1.6. Problemas de valor inicial y de contorno en Ingeniería Ambiental

### **2. Modelos 0 dimensionales**

- 2.1. Conceptos generales.
- 2.2. Cantidad y calidad de agua superficial.
  - Balance de Agua en Lagos y Reservorios.
  - Balance de Masa de Sustancias Disueltas.
  - Ecuaciones de Balance en Lagos y Reservorios.
  - Aplicaciones (dbo y od en lagos y estuarios, transporte dispersivo, modelos de compartimientos múltiples)
- 2.3. Calidad de Aire.
  - Dispersión de contaminantes primarios y secundarios en la atmósfera.
- 2.4. Dinámica Poblacional.
  - Crecimiento exponencial y logístico.
- 2.5. Tipos de problemas relacionados con la ingeniería ambiental.
  - Remediación.
  - Diseño de plantas de tratamiento.
  - Máxima emisión admisible.
  - Calibración de modelos.

## 2.6. Resolución Computacional.

- Resolución numérica de problemas de valor inicial: Método de Euler.
- Implementación de problemas de valor inicial en Excel.
- Implementación de problemas de valor inicial en FlexPDE.

## 3. Modelos unidimensionales

### 3.1. Conceptos generales.

### 3.2. Hidrodinámica fluvial.

- Ecuaciones de continuidad y movimiento: Ecuación de Saint Venant.
- Modelos unidimensionales simplificados.

### 3.3. Calidad de agua en ríos.

- Ecuación unidimensional de advección – dispersión de sustancias disueltas.

### 3.4. Problemas de contorno y de valor inicial.

- Formulación de diversas situaciones prácticas transitorias y estacionarias.
- Control de crecidas.

### 3.5. Resolución Computacional mediante el método de elementos finitos.

- Implementación en FlexPDE.

## 4. Modelos bidimensionales

### 4.1. Conceptos generales.

### 4.2. Hidrodinámica de agua superficial en ríos, lagos, embalses y estuarios.

- Ecuaciones bidimensionales de Saint Venant.
- Ecuaciones hidrodinámicas para estuarios dominados por marea.

### 4.3. Calidad de agua superficial.

- Ecuación bidimensional de dispersión-advección.

### 4.4. Hidrodinámica en medios porosos.

- La aproximación de Dupuit
- Ecuaciones de Flujo en Medios Porosos

### 4.5. Calidad de aguas subterráneas.

### 4.6. Dispersión de contaminantes atmosféricos mediante modelos integrados verticalmente.

### 4.7. Resolución Computacional mediante el método de elementos finitos. Implementación en FlexPDE.

## 5. Modelos tridimensionales

### 5.1. Conceptos generales.

### 5.2. Hidrodinámica y calidad de agua superficiales.

### 5.3. Calidad de aire: Modelos Gaussianos.

### 5.4. Resolución Computacional. Implementación en FlexPDE.

## 6. Misceláneas y selección de temas de proyectos final del seminario

### 6.1. Contaminación Acústica.

6.2. Eutrofización.

6.3. Modelos de transporte urbano y fenómenos de contaminación asociados.

6.4. Problemas de sedimentación en estuarios.

## **Bibliografía**

1. H. Rubin y J. Atkinson (2001), *Environmental Fluid Mechanics*. Marcel Dekker Inc., NY Basel
2. S. Chapra. (2008), *Surface Water Quality Modeling*. Ed. Waveland Press, Inc.
3. V. Espert Alemany y P. A. López Giménez. (2004). *Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera*. Ed. Alfaomega.
4. M.C. Potter y D.C. Wiggert (2002), *Mecánica de Fluidos* (tercera edición) Internacional Thomson Editores
5. G. Backstrom, *Fluid Dynamics by Finite Element Analysis Using FlexPDE*, 1999.
6. FlexPDE 5.08 *User Handbook* (PDESolutions Inc.).
7. H. Chanson (2004), *Environmental Hydraulics of Open Channel Flows*. Elsevier
8. R.W. Bird, W.E. Stewart y E.N. Lightfoot (1976) *Fenómenos de Transporte*. Editorial Reverté.
9. R.V. Petroni (2005) *Hidráulica Marítima y de Estuarios*. Ed. Dunken, Bs.As.
10. C. Stoklas (2018). *Estrategias de optimización para el control de la calidad de agua en estuarios y otros problemas relacionados*. Tesis Director Cortinez V. Doctoral en Ingeniería con Mención en Mecánica Teórica y Aplicada. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca. 13 de Septiembre de 2018.
11. A. Menéndez. (2010) *Modelación matemática del transporte en cuerpos de agua*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
12. S. Chapra. (2007). *Métodos numéricos para ingenieros*. Ed. McGraw-Hill.
13. T.R. Chandrupatla y A.K. Belegundu (1999) *Introducción al Estudio del Elemento Finito en Ingeniería*. Prentice Hall.

## **Programas Computacionales:**

- FlexPDE (PDE Solutions)
- Microsoft Excel.