



## Guía docente

# 250MEA011 - 250MEA011 - Modelización del Transporte de Contaminantes

Última modificación: 21/06/2024

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona

**Unidad que imparte:** 751 - DECA - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AMBIENTAL (Plan 2024). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2024

**Créditos ECTS:** 5.0

**Idiomas:** Castellano

### PROFESORADO

**Profesorado responsable:** DANIEL FERNANDEZ GARCIA

**Otros:** MAARTEN W. SAALTINK

### METODOLOGÍAS DOCENTES

La asignatura consta de 3 horas a la semana de clases presenciales en un aula.

Se dedican a clases teóricas 2 horas, en las que el profesorado expone los conceptos y materiales básicos de la materia, presenta ejemplos y realiza ejercicios.

Se dedica 1 hora, a la resolución de problemas con una mayor interacción con los estudiantes. Se realizan ejercicios y trabajo prácticos con el fin de consolidar los objetivos de aprendizaje generales y específicos.

Se utiliza material de apoyo en formato de plan docente detallado mediante: contenidos, programación de actividades de evaluación y de aprendizaje dirigido y bibliografía.

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Saber resolver problemas medioambientales mediante métodos numéricos con aplicación de conceptos teóricos de flujo y transporte de contaminantes en el medio natural.

Aprender a formular y programar modelos numéricos de Elementos Finitos y Diferencias Finitas para analizar los procesos que rigen la respuesta del medio natural, interpretar la información de campo y predecir la respuesta del medio.

Proceso general de modelación de fenómenos naturales.

Formulación básica de problemas de flujo y transporte de contaminantes.

Formulación de la ecuación de flujo.

Resolución de la ecuación de flujo mediante métodos numéricos.

Metodología para modelar el flujo en acuíferos.

Formulación de la ecuación de transporte.

Problema inverso y calibración.

Resolución numérica de la ecuación de transporte y sus dificultades.

Casos reales.

### HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	25,5	20.38
Horas grupo mediano	9,8	7.83
Horas aprendizaje autónomo	80,0	63.95



Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	9,8	7.83

**Dedicación total:** 125.1 h

## CONTENIDOS

### Introducción

**Descripción:**

¿Qué es un modelo? Tipos. Utilidad. Dificultades. El proceso de modelación  
Un método numérico genérico. Aplicación a la resolución de la ecuación de flujo. Estructura típica de un programa. Revisión de los métodos numéricos más utilizados y comparación de los mismos. El proceso de modelación. Modelo conceptual. Condiciones de contorno e iniciales. Calibración y validación del mismo  
Ejemplo de ilustración

**Dedicación:** 2h

Grupo grande/Teoría: 2h

### Solución de la ecuación de flujo por Diferencias Finitas

**Descripción:**

Formulación general ec. Flujo (Repaso)  
Esquema en diferencias finitas. Derivación formal  
Métodos de integración temporal. Esquemas implícito, explícito y de Crank-Nicholson. Condiciones de Contorno. Tipos e implementación.  
Estabilidad. Consistencia y error de truncamiento. Convergencia y error de convergencia  
Solución del sistema lineal de ecuaciones

**Dedicación:** 6h

Grupo grande/Teoría: 6h

### Solución de la ecuación de flujo mediante elementos finitos

**Descripción:**

Generalidades. Residuos ponderados. Formulaciones alternativas  
Elementos finitos. Discretización y funciones de forma. Derivación de ecuaciones por el método de Galerkin.  
Otros tipos de elementos. Simples, complejos, múltiples, isoparamétricos. Aplicación al caso simple 2D.  
Esquemas de integración temporal.  
Aplicación a un caso unidimensional.

**Dedicación:** 6h

Grupo grande/Teoría: 6h



### Solución de la ecuación de transporte mediante métodos eulerianos

**Descripción:**

Mecanismos del transporte de solutos. Formulaciones básicas  
Diferencias finitas. Diferencias finitas integradas. Ponderación a contracorriente  
Elementos finitos  
Discusión de problemas de estabilidad. Condiciones sobre los números de Peclet y Courant  
Aplicación a un caso unidimensional.

**Dedicación:** 6h

Grupo grande/Teoría: 6h

### Solución de la ecuación de transporte mediante métodos lagrangianos

**Descripción:**

Métodos puramente lagrangianos. Evaluación de la derivada material. Limitaciones  
Métodos euleriano-lagrangianos. Métodos de partículas  
Método de los caminos aleatorios  
Comparación entre los distintos métodos.

**Dedicación:** 4h

Grupo grande/Teoría: 4h

### Solución del problema inverso y calibración automática

**Descripción:**

Calibración automática versus calibración manual  
Regresión lineal y no lineal, matriz de sensibilidad  
Estadísticos de calibración

**Dedicación:** 4h

Grupo grande/Teoría: 4h

### Solución de problemas de flujo y transporte no lineales

**Descripción:**

Generalidades. Método de Newton-Raphson, Picard,...  
Solución de la ec. del flujo para acuífero libre. Ejemplo  
Medio no saturado. Ejemplo  
Transporte Reactivo. Ejemplo

**Dedicación:** 3h

Grupo grande/Teoría: 3h

### Talleres prácticos

**Descripción:**

Aprender el software MODEL MUSE

**Dedicación:** 8h

Grupo grande/Teoría: 8h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

---

La calificación de la asignatura se obtiene a partir de las calificaciones de evaluación continua y de las correspondientes trabajos prácticos.

La evaluación continua consiste en hacer diferentes actividades, tanto individuales como de grupo, de carácter aditivo y formativo, realizadas durante el curso (dentro del aula y fuera de ella).

Las pruebas de evaluación constan de una parte con cuestiones sobre conceptos básicos y asociados a los objetivos de aprendizaje de la asignatura en cuanto al conocimiento o la comprensión, y de un conjunto de ejercicios de entendimiento y aplicación.

La calificación se hace de acuerdo al siguiente criterio:

$$NF = r * NE + (1-r) * NAC, r = 0,7$$

$$NAC = q * NAEP + (1-q) * NACET, q = 0,7$$

NF: Nota final

NE: Nota del examen

NAC: Nota de la evaluación continuada

NAEP: Nota evaluación enseñanzas prácticas (trabajos, presentaciones, etc)

NACET: Nota evaluación continuada de las enseñanzas teóricas (test, etc)

## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

---

Si no se realiza alguna de las actividades y trabajos prácticos y de laboratorio o de evaluación continua en el periodo programado, se considerará como puntuación cero.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- Zheng, C. Applied contaminant transport modeling: theory and practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. ISBN 0442013485.

- Anderson, M.P.; Woessner, W.W.; Hunt, R.J. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport [en línea]. 2nd ed. Amsterdam, [Netherlands]: Academic Press, 2015 [Consulta: 04/10/2024]. Disponible a: [https://web-p-ebshost-com.recursos.biblioteca.upc.edu/plink?key=100.65.189.54\\_8000\\_228321815&AN=1037869&site=ehost-live&db=nlebk&scope=site](https://web-p-ebshost-com.recursos.biblioteca.upc.edu/plink?key=100.65.189.54_8000_228321815&AN=1037869&site=ehost-live&db=nlebk&scope=site). ISBN 9780080916385.

- Harbaugh, A.W.; Banta, E.R.; Hill, M.C.; McDonald, M.G. MODFLOW-2000: the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: user guide to modularization concepts and the ground-water flow process [en línea]. U.S. Geological Survey, 2000 [Consulta: 17/09/2024]. Disponible a: <https://pubs.usgs.gov/publication/ofr200092>.

- Istok, J. Groundwater modeling by the finite element method. Washington: American Geophysical Union, 1989. ISBN 0875903177.

- Pinder, G.F.; Gray, W.G. Finite element simulation in surface and subsurface hydrology. San Diego: Academic Press, 1977. ISBN 0125569505.

## RECURSOS

---

### Material informático:

- MODEL MUSE. ModelMuse es una interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos para construir y ejecutar modelos de aguas subterráneas utilizando MODFLOW y otros programas relacionados. Permite a los usuarios crear y visualizar mallas de modelos, ingresar parámetros y condiciones de contorno de manera interactiva. ModelMuse apoya el diseño y la simulación de procesos complejos de flujo y transporte de aguas subterráneas, ofreciendo un entorno fácil de usar para investigadores y profesionales en hidrogeología.