



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Programa de Actividad Académica**



**Denominación: MODELADO NUMÉRICO DE FLUJO Y DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES**

<b>Clave:</b>	<b>Semestre: 2</b>	<b>Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra</b> <b>Campo Disciplinario: Agua Subterránea</b>	<b>No. Créditos:</b> <b>8</b>
<b>Carácter: Obligatorio</b>	<b>Horas</b>		<b>Horas por semestre:</b>
<b>Tipo: Teórica-práctica</b>	<b>Teoría:</b> <b>2.0</b>	<b>Práctica:</b> <b>2.0</b>	<b>Horas por semana</b> <b>4.0</b>
<b>Modalidad: Curso</b>		<b>Duración del programa: semestral</b>	

**Seriación: Sin Seriación ( ) Obligatoria ( X ) Indicativa ( )**

**Actividad académica subsecuente: Ninguna**

**Actividad académica antecedente: Geoestadística Aplicada al Agua Subterránea**

**Objetivo general: El alumno conocerá y aplicará la metodología para construir modelos numéricos de sistemas de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes con el uso de herramientas computacionales, a partir de modelos conceptuales.**

**Índice Temático**

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Introducción	3.0	2.0
2	Generalidades del modelado de flujo de agua subterránea y transporte de solutos	3.0	0.0
3	Elaboración del modelo conceptual hidrogeológico – hidrogeoquímico	3.0	0.0
4	Fundamentos matemáticos de flujo y transporte y selección de código e interfaz gráfica	4.0	0.0
5	Metodología para diseñar un modelo numérico de flujo y transporte de contaminantes	8.0	15.0
6	Metodos de inversión y calibración de modelos numéricos	5.0	10.0
7	Construcción y predicción de escenarios para el manejo de agua subterránea	4.0	3.0
8	Preparación del reporte, manejo de archivos y revisión del modelo de flujo y transporte	2.0	2.0
<b>Total de horas:</b>		<b>32.0</b>	<b>32.0</b>
<b>Suma total de horas:</b>		<b>64.0</b>	

**Contenido Temático**

Unidad	Tema y subtemas
1	<b>Introducción</b>
	1.1 Marco conceptual de la asignatura
	1.2 Principios de programación con Python como herramienta para modelar: teoría y práctica
2	<b>Generalidades del modelado de flujo de agua subterránea y transporte de contaminantes</b>
	2.1 Importancia del modelado en hidrogeología e hidrogeoquímica
	2.2 Definición de modelo
	2.3 Propósito de la modelación
	2.4 Limitaciones de los modelos
	2.5 Tipos de modelos
3	<b>Elaboración del modelo conceptual hidrogeológico – hidrogeoquímico</b>
	3.1 Modelo conceptual: Definición y características generales
	3.2 Enfoques: Acuífero y sistemas de flujo del agua subterránea
	3.3 Componentes de un modelo conceptual
	3.4 Incertidumbre en el modelo conceptual
4	<b>Fundamentos matemáticos de flujo y transporte y selección de código e interfaz gráfica</b>
	4.1 Traslado de un sistema físico de aguas subterráneas a un sistema matemático
	4.2 Generalidades sobre el transporte y procesos de migración de contaminantes en acuíferos
	4.3 Ecuaciones que gobiernan el flujo de las aguas subterráneas y el transporte de solutos
	4.4 Condiciones de frontera
	4.5 Modelos analíticos
	4.6 Modelos numéricos
	4.7 Selección del código e interfaz computacional
5	<b>Metodología para diseñar un modelo numérico de flujo y transporte de contaminantes</b>
	5.1 Dimensiones del modelo y selección de fronteras
	5.2 Discretización espacial y asignación de parámetros
	5.3 Fuentes y sumideros
	5.4 Simulaciones de flujo y transporte en estados estacionario y transitorio
	5.5 Desarrollo computacional de un modelo numérico de flujo y de transporte usando MODFLOW y otras herramientas

<b>6</b>	<b>Metodos de inversión y calibración de modelos numéricos</b>		
	6.1	Objetivos de la calibración	
	6.2	Tipos de ajustes de calibración	
	6.3	Introducción a los métodos de inversión	
	6.4	Calibración semiautomática usando PEST	
	6.5	Limitaciones en los historiales de ajuste para la calibración	
	6.6	Errores comunes de la calibración	
	6.7	Análisis de sensibilidad	
	6.8	Filtros de Kalman ensamblado aplicados a la estimación de parámetros	
	6.9	Ejercicios computacionales de calibración de modelos numéricos de flujo y transporte	
<b>7</b>	<b>Construcción y predicción de escenarios para el manejo de agua subterránea</b>		
	7.1	Construcción de escenarios	
	7.2	Modelado de predicciones	
	7.3	Evaluación de resultados	
	7.4	Estudio de casos y análisis de modelos numéricos predictivos en agua subterránea	
<b>8</b>	<b>Preparación del reporte, manejo de archivos y revisión del modelo de flujo y transporte de contaminantes</b>		
	8.1	Preparación del reporte del modelo	
	8.2	Manejo de archivos del modelo	
	8.3	Revisión del modelo	
	8.4	Estudio de casos y análisis de auditorías de modelos numéricos en acuíferos	
<b>Bibliografía Básica</b>			
<b>1</b>	Anderson M.P., Woessner W.W. and Hunt R.J. . (2015). <i>Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport</i> . (2 ed.). Editorial Academic Press.		
<b>2</b>	Doherty J. and Hunt R. J. (2010). <i>Approaches to Highly Parameterized Inversion: A Guide to Using PEST for Groundwater-Model Calibration</i> . Editorial USGS.		
<b>3</b>	Holzbecher E. (2012). <i>Environmental Modeling Using Matlab</i> . (2 ed.). Editorial Springer.		
<b>4</b>	Krešić N. (2007). <i>Hydrogeology and Groundwater Modeling</i> . Editorial CRC Press.		
<b>5</b>	Tiedeman John Wiley & Sons. (2007). <i>Effective Groundwater Model Calibration: With Analysis of Data, Sensitivities, Predictions, and Uncertainty</i> . Editorial Hill, M.C., and C.R.		
<b>Bibliografía Complementaria</b>			
<b>1</b>	Hill M.C. and Tiedeman C.R. (2007). <i>Effective Groundwater Model Calibration: With Analysis of Data, Sensitivities, Predictions, and Uncertainty</i> . Editorial John Wiley & Sons.		
<b>Sugerencias didácticas</b>		<b>Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos</b>	
Exposición Oral	( X )	Exámenes parciales	( X )
Exposición audiovisual	( X )	Examen final escrito	( X )
Ejercicios dentro de clase	( X )	Trabajos y tareas fuera del aula	( X )
Ejercicios fuera del aula	( X )	Exposición de seminarios por los alumnos	( )
Seminarios	( )	Participación en clase	( X )
Lecturas Obligatorias	( X )	Asistencia	( )
Trabajo de Investigación	( )	Seminario	( )
Prácticas de taller o laboratorio *	( x )	Otras	( )
Prácticas de campo *	( )		
Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables	( X )		
* Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos			
<b>Perfil profesiográfico</b>			
Formación académica: Maestría o preferentemente Doctorado en Hidrogeología.			
Experiencia profesional: 5 años (mínimo) de experiencia en proyectos aplicados de aguas subterráneas relacionados con los tópicos incluidos en este temario.			
Especialidad: Hidrogeología.			
Conocimientos específicos: Hidrogeología, hidrogeoquímica y modelación numérica en zona saturada.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza basada en proyectos de ingeniería.			
Fomentar el uso de herramientas computacionales de uso libre y gratuito			