

## CI71T - MODELACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (6 Créditos)

**Profesores: Julio Cornejo M., René Figueroa L.**  
**Profesor Auxiliar: Rodrigo Zamorano**

### **OBJETIVOS**

Proveer a las y los estudiantes de técnicas para la modelación numérica de sistemas de aguas subterráneas, de forma que les permitan abordar diferentes situaciones de interés práctico en el ámbito de los recursos hídricos y medio ambiente.

Este curso se dividirá en clases teóricas y prácticas a través de talleres, donde se aplicará los conocimientos en programas (software) usualmente utilizados y aceptados para modelar el flujo de agua en un medio poroso saturado. Para este curso se contempla la aplicación del software Model Muse, desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), que basa su cálculo numérico en el código MODFLOW. Este modelo ha sido ampliamente utilizado para resolver el problema de flujo y transporte de aguas subterráneas.

Uno de los objetivos específicos de este curso es que el o la estudiante sea capaz de abordar un estudio de un sistema acuífero real, siguiendo las fases de modelación conceptual y numérica, para finalmente evaluar escenarios futuros de interés.

### **EVALUACIONES**

La nota final del curso será definida de la siguiente forma, a partir de trabajos en talleres y la elaboración de un proyecto:

- Tareas y trabajo en clases auxiliares (T) : 15%
- Proyecto de modelación de un acuífero : 85%
  - *Elaboración de un modelo conceptual (MC)* : 30%
  - *Elaboración de un modelo numérico (MN)* : 30%
  - *Presentación Final Proyecto Semestral (Examen)* : 40%

### **CRITERIO DE APROBACIÓN**

T ≥ 4.0  
MC ≥ 4.0  
MN ≥ 4.0  
EXAMEN ≥ 4.0

La nota final (NF) se determina:

$$NF = 0.85*(0,3*MC + 0,3*MN+ 0,4*Examen) + 0,15*T$$

NF ≥ 4.0

### **HORARIO DE CLASES**

Cátedra: viernes de 8:30 10:00 y de 10:15 a 11:45 hrs  
Auxiliar: Un módulo a definir

## UNIDADES TEMÁTICAS

Semanas	Unidad	Contenido
1	1.-Introducción (JCornejo)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivación.</li> <li>• Modelos de simulación. Conceptos y clasificación de modelos de simulación. Utilidad de los modelos. Escalas de modelación. Perfil del modelador.</li> <li>• Etapas generales en la elaboración de un modelo numérico.</li> <li>• Derivación de problema tipo. Solución analítica. Solución numérica: implementación y condiciones de borde. Malla o grilla de discretización.</li> <li>• Métodos de solución: directo e iterativo.</li> <li>• Modelos computacionales utilizados en la actualidad: MODEL MUSE, VISUAL MODFLOW, GROUNDWATER VISTAS, GROUNDWATER MODELING SYSTEM, FEFLOW.</li> <li>• Ejemplos de aplicación.</li> </ul>
2	2.- Aguas Subterráneas y Acuíferos (RFigueroa)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El agua subterránea en el Ciclo Hidrológico.</li> <li>• Unidades Hidrogeológicas.</li> <li>• Acuíferos, Napas Libres y Confinadas. Porosidad de los Materiales.</li> <li>• Clasificación de Sedimentos. Capacidad Específica. Conductividad Hidráulica. Ley de Darcy.</li> <li>• Modelación de Flujo en Sistemas Saturados. Formulación matemática: Régimen permanente y transitorio. Condiciones de borde e iniciales. Fuentes y sumideros.</li> <li>• Ejemplos de aplicación.</li> </ul>
1	3.- Introducción a MODFLOW (JCornejo)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variables de estado</li> <li>• Códigos de Simulación (MODFLOW, MODFLOW USG, MODFLOW 6)</li> <li>• Formulación del problema numérico de flujo en MODFLOW</li> <li>• Paquetes de flujo</li> <li>• Condiciones de borde más utilizadas</li> <li>• Tipo de resultados de un modelo numérico de aguas subterráneas</li> </ul>

Semanas	Unidad	Contenido
3	4.- Modelación Hidrogeológica Conceptual (RFigueroa)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Definición del acuífero y geometría vertical. Análisis de información de geología, geofísica, hidrología, estratigrafía, etc.</li> <li>Uso de Parámetros Hidrogeológicos</li> <li>Definición de Unidades Hidrogeológicas (UH)</li> <li>Niveles de agua subterránea y piezometría</li> <li>Elaboración de modelo conceptual y balance hídrico de un acuífero</li> <li>Casos Ejemplos</li> </ul>
3	5.- Modelación Hidrogeológica de una Cuenca (JCornejo)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementación de Dominio y Geometría. Discretización espacial, definición de grilla.</li> <li>Régimen Permanente y Transitorio. Discretización temporal.</li> <li>Parámetros Hidrogeológicos. Conductividad Hidráulica y Coeficiente de Almacenamiento.</li> <li>Métodos de estimación de recarga</li> <li>Condiciones de Borde, Condiciones Iniciales.</li> <li>Procesos de calibración y validación.</li> <li>Análisis de Sensibilidad.</li> <li>Desarrollo de escenarios.</li> <li>Ejemplos de Aplicaciones en Sistemas Reales.</li> </ul>
2	6.- Introducción a los Modelos de Transporte de Contaminante (JCornejo)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variables de estado</li> <li>Parámetros del transporte de solutos en un medio poroso</li> <li>Formulación matemática: Ecuación de balance para un compuesto conservativo.</li> <li>Condiciones de borde e iniciales.</li> <li>Formulación numérica: Sistemas de ecuaciones diferenciales algebraicas. Simulación procesos advectivos. Simulación de procesos dispersivos.</li> <li>Códigos disponibles: MODPATH, MT3DMS.</li> <li>Ejemplos de aplicación.</li> </ul>
2	7.- Modelación de Flujo en Sistemas No Saturados (RFigueroa)	<p>Contenido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Propiedades de un suelo no saturado: Humedad y succión.</li> <li>Formulación matemática: Ley de Darcy Buckingham.</li> <li>Condiciones de borde e iniciales.</li> <li>Formulación numérica.</li> <li>Modelos computacionales: HYDRUS.</li> <li>Ejemplos de aplicación.</li> </ul>

## REFERENCIAS

- SEA. Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA. 2012.
- Australian groundwater modelling guidelines. Sinclair Knight Merz and National Centre for Groundwater Research and Training. Waterlines Report Series No. 82. June 2012.
- Australia. GROUNDWATER ASSESSMENT TOOLBOX FOR SSD/SSI. Minimum Groundwater Modelling Requirements for SSD/SSI Projects. Technical guideline. January 2022.
- ASTM D5447-17. Standard Guide for Application of a Numerical Groundwater Flow Model to a Site-Specific Problem. 2018.
- British Columbia. Guidelines for Groundwater Modelling to Assess Impacts of Proposed Natural Resource Development Activities. 2012.
- Langevin, C.D., Hughes, J.D., Banta, E.R., Niswonger, R.G., Panday, Sorab, and Provost, A.M., 2017, Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A55, 197 p., <https://doi.org/10.3133/tm6A55>
- Nevada. Bureau of Mining Regulation and Reclamation. Guidance for Hydrogeologic Groundwater Flow Modeling at Mine Sites. 2020.
- Panday, Sorab, Langevin, C.D., Niswonger, R.G., Ibaraki, Motomu, and Hughes, J.D., 2017, MODFLOW-USG version 1.4.00: An unstructured grid version of MODFLOW for simulating groundwater flow and tightly coupled processes using a control volume finite-difference formulation: U.S. Geological Survey Software Release, 27 October 2017, <https://dx.doi.org/10.5066/F7R20ZFJ>
- USGS. Guidelines for Evaluating Ground-Water Flow Models. By Thomas E. Reilly and Arlen W. Harbaugh. 1998.
- Winston, R.B., 2022, ModelMuse version 5.1.1: U.S. Geological Survey Software Release, 15 November 2022, <https://doi.org/10.5066/P90QQ94D>.