

PROGRAMA DE CURSO

PROCESOS DE TRANSPORTE EN SISTEMAS ACUÁTICOS

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil					
Nombre del curso	Procesos de transporte en sistemas acuáticos	Código	CI5164	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Transport processes in aquatic systems</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	x		Electivo		
Requisitos	CI4262: Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento, CI4165: Calidad de agua					

B. Propósito del curso:

Este es un curso terminal de la mención hidráulica-sanitaria y ambiental, donde se estudian los procesos de transporte de masa y calor en sistemas acuáticos superficiales y subterráneos. La comprensión de estos procesos se integra con conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, y que están relacionados con el movimiento del agua y los procesos bioquímicos que afectan la concentración de compuestos disueltos en ella. Parte del propósito del curso es que sus estudiantes cuenten con las herramientas conceptuales, físicas y matemáticas para aportar en la solución de problemas de ingeniería que involucren transporte de masa o calor en medios acuáticos.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Concebir, formular y aplicar modelos para la resolución de problemas relacionados con obras y sistemas de ingeniería civil.

CE2: Interpretar y evaluar los métodos, herramientas y tecnologías utilizados y sus resultados, siendo estas computacionales, experimentales, numéricas o analíticas, en la resolución de problemas asociados a obras y sistemas de ingeniería civil.

CE4: Identificar e incorporar los elementos de incertidumbre inherentes a todo proyecto de ingeniería civil, en la concepción, diseño, ejecución y administración de los proyectos.

CEH6: Caracterizar y cuantificar la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del recurso hídrico en el sistema terrestre, tanto para condiciones normales como extremas.

CEH7: Diseñar, analizar y evaluar proyectos de recursos hídricos y medio ambiente desde una perspectiva sistémica y sustentable, actual y futura, tanto en calidad como cantidad del recurso.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG3: Compromiso ético

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

CG4: Trabajo en equipo

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1, CEH6	RA1: Formula, conceptual y matemáticamente, problemas de transporte de masa y calor en sistemas acuáticos superficiales y subterráneos para determinar variaciones de concentración o temperatura en el tiempo y en el espacio, anticipando la solución numérica o analítica, y comprender cómo los balances y flujos explican el régimen permanente.
CE2, CE4	RA2: Selecciona los parámetros (e.g. coeficientes de difusión o dispersión) y procesos (advección, difusión, dispersión) que se usan para cuantificar el transporte de masa y calor en sistemas acuáticos, evaluando la incertidumbre asociada en la determinación de dicha cuantificación.
CE4, CEH6	RA3: Caracteriza y usa las escalas presentes en modelación hidrogeológica (de distribución en espacio y tiempo) y sobre las cuales se formulan y resuelven problemas de transporte en medios permeables.
CE4, CEH6	RA4: Evalúa la importancia de considerar los diferentes procesos de transporte en la formulación y resolución de problemas de ingeniería civil asociados a la contaminación y tratamiento de recursos hídricos superficiales, dinámica de ecosistemas acuáticos, saneamiento y reúso de aguas, entre otros.
CEH7	RA5: Relaciona problemas ambientales contemporáneos con procesos de transporte en sistemas acuáticos, considerando su incidencia en la tramitación de permisos, o en las evaluaciones de impacto ambiental para un proyecto o en propuestas de remediación de contaminación (superficial y subterránea), entre otros.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA6: Escribe textos sobre diferentes temas de procesos de transporte en sistemas acuáticos, donde sintetiza sus ideas y argumentos en párrafos efectivos, concisos y claros, considerando aspectos gramaticales y textuales.
CG3	RA7: Analiza, de forma reflexiva, el impacto de una propuesta o proyecto de ingeniería en hidráulica, sanitaria y ambiental, considerando sus efectos sobre el medio natural, cultural y social.
CG4	RA8: Respeta las ideas y opiniones de otros para definir acuerdos sobre la actividad a cumplir por el equipo, en un proceso de escucha activa de sus compañeros.
CG5	RA9: Evalúa la pertinencia de normas y regulaciones, en diferentes contextos, analizando críticamente las consecuencias de su cumplimiento y no cumplimiento.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2, RA3	Conceptos generales sobre procesos de transporte en sistemas acuáticos	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Conceptos básicos de concentración, promedio temporal y espacial, dilución y mezcla. 1.2. Herramientas de resolución de PDEs: Transformadas integrales y discretización numérica 1D. 1.3. Difusión: Ley de Fick, random walks, modelo matemático y soluciones analíticas fundamentales. 1.4. Advección-difusión: Número de Peclet (masa) y Rayleigh (calor). 1.5. Dispersión de Taylor. 1.6. Distribución en espacio y tiempo: momentos espaciales y temporales. Concepto de mezcla local.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Comprende el rol que tienen los diferentes procesos de transporte en medios acuáticos. 2. Formula conceptualmente un problema de transporte en sistemas acuáticos. 3. Formula matemáticamente un problema de transporte de calor y masa en sistemas acuáticos. 4. Aplica métodos de discretización numéricos, así como integradores temporales conocidos, para resolver problemas de advección-difusión en 1D. 5. Comprende que un problema de transporte en sistemas acuáticos involucra diferentes escalas temporales y espaciales 	
Bibliografía de la unidad		[Fischer et al (1979)] [Govindaraju & Das (2007)] [Gardiner (2009) Javandell] [Doughty & Tsang (1984)] [Socolofsky y Jirka (2002)] [Apuntes del curso]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA3, RA5, RA6, RA7	Sistemas acuáticos subterráneos	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Conceptos generales: el problema de escala en hidrogeología y su impacto en la modelación del transporte de calor y masa.</p> <p>2.2. Procesos de transporte de solutos:</p> <p>a) Advección.</p> <p>b) Dispersión hidrodinámica. Tensor de Scheidegger.</p> <p>c) Reacciones químicas: clasificación, reacciones homogéneas, procesos de sorción, decaimiento radioactivo, biodegradación.</p> <p>d) Ecuación de transporte de masa en subsuelo.</p> <p>e) Pruebas de laboratorio para medir dispersividad.</p> <p>2.3. Macrodispersión:</p> <p>a) Relación entre dispersión y escala.</p> <p>b) Pruebas de terreno para determinar dispersividad.</p> <p>c) Modelo geoestadístico de dispersión.</p> <p>2.4. Procesos de transporte de calor. Geotermia somera.</p> <p>a) Modelos de transporte de calor en subsuelo.</p> <p>b) Exploración del recurso geotérmico.</p> <p>c) Intercambiadores de calor.</p> <p>d) Bombas de calor geotérmicas.</p> <p>e) Dimensionamiento.</p> <p>f) Estudio de proyectos de geotermia somera en Chile.</p>		<p>El /la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> Diferencia los procesos de transporte que gobiernan el transporte de masa en medios permeables. Comprende los efectos de escala que aparecen en problemas de transporte de calor y masa en medios permeables. Explica la interrelación entre los procesos de transporte y los procesos químicos que ocurren en los acuíferos, y su importancia para entender el movimiento de solutos conservativos y no conservativos. Aplica modelos matemáticos para analizar el movimiento de solutos en medios permeables. Describe y usa las principales técnicas de laboratorio y terreno disponibles para determinar los parámetros de transporte de medios permeables. Comprende el origen de la distribución térmica natural de subsuelo y cómo la inyección de fluidos impacta esa distribución. Describe las tecnologías de aprovechamiento geotérmico de baja temperatura. Escribe textos sobre diferentes temas de procesos de transporte en sistemas acuáticos subterráneos, técnicas de medición y tecnologías de aprovechamiento, donde sintetiza ideas y argumentos en párrafos efectivos, concisos y claros, considerando aspectos gramaticales y textuales. Analiza, de forma reflexiva, el impacto de un proyecto de ingeniería asociado al uso sustentable de aguas subterráneas, considerando sus efectos sobre el medio natural, cultural y social. 	
Bibliografía de la unidad		<p>[Domenico & Schwartz (1990)] [Fetter (2001)] [Fetter (2008)] [Freeze & Cherry (1979)] [Govindaraju & Das (2007)]</p>	

[Javandell, Doughty & Tsang (1984)]
[CEGA, 2022]
[García-Gil, 2022]
[Al-Khoury, 2012]

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA4, RA5, RA6, RA8	Sistemas acuáticos superficiales y tópicos asociados	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Difusión turbulenta. Promedios de Reynolds, modelo longitud de mezcla, ecuaciones k-epsilon y balance de energía superficial.</p> <p>3.2. Tópicos de mezcla en ríos. Ecuación de Saint-Venant para el transporte de masa en ríos, difusión turbulenta vertical en un medio homogéneo no estratificado, difusión turbulenta horizontal, dispersión longitudinal de Taylor.</p> <p>3.3. Tópicos del intercambio de masa en interfaces. Concepto subcapa difusiva, velocidad de transferencia de masa, y problemas de difusión-consumo/producción.</p> <p>3.4. Tópicos de mezcla en flujos estratificados. Balances entre energía cinética turbulenta disponible y energía potencial requerida. Número de Richardson.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> Formula conceptualmente un problema de transporte de masa y/o energía, en cuanto a definir si será un enfoque 1D, 2D, 3D, en régimen permanente o impermanente, cuáles son las condiciones de borde e iniciales, y si se consideran términos fuente y sumidero). Describe la solución de un problema, determinando cómo varía la concentración o temperatura en el tiempo y/o el espacio. Discute con pares acerca de cómo aplicar los contenidos del área temática en la comprensión y solución de problemas de ingeniería hidráulica, sanitaria y ambiental. Escribe textos sobre diferentes tópicos de procesos de transporte en sistemas acuáticos, donde sintetiza sus ideas y argumentos en párrafos efectivos, concisos y claros, considerando aspectos gramaticales y textuales. Analiza, de forma reflexiva, el impacto de la formulación de un problema y el uso de diferentes parametrizaciones en problemas asociados a aguas continentales, considerando sus efectos sobre el medio natural, cultural y social. Respetar las ideas y opiniones de otros para definir acuerdos sobre tareas o actividades grupales en sala, en un proceso de escucha activa de sus compañeros. Analiza proyectos reales sometidos a evaluación ambiental a la luz de los contenidos del curso, para identificar oportunidades de mejora que 	

	existan a las normas y regulaciones que sean pertinentes a los proyectos investigados.
Bibliografía de la unidad	[Fischer et al 1979 Niño, Y. (2004)] [Rodi (1984)] [Garratt (1992)] [Jorgensen and Revsbech (1985)] [de la Fuente et al (2010)] [Socolofsky y Jirka (2002)] [Apuntes del curso]

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- Clases expositivas.
- Análisis de casos.
- Resolución de problemas.

F. Estrategias de evaluación:

El curso podría considerar las siguientes instancias de evaluación:

Tipo de evaluación	Resultados de aprendizajes asociados a la evaluación
• Control 1	Control 1 (unidad 1) evalúa RA1 y RA2
• Control 2	Control 2 (unidad 2) evalúa RA1, RA2, RA3 y RA7
• Control 3	Control 3 (unidad 3) evalúa RA1, RA2 y RA4
• Tareas o ejercicios	Evalúa RA1, RA2, Ra3, RA4, RA5 y RA7
• Examen	Evalúa RA1, RA2, RA3 y RA4

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria

- [1] BIRD, R., W. STEWART & E. LIGHTFOOT (2001), Transport Phenomena. Wiley. CIVAN, F. Porous Media Transport Phenomena. Wiley; 2011.
- [2] DE LA FUENTE, A., NIÑO, Y. & TAMBURRINO, A. (2010). Apuntes del Curso Ingeniería hidráulica. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- [3] DOMENICO, P. & F. SCHWARTZ (1990), Physical and chemical hydrogeology. Wiley New York.
- [4] FETTER, C. W. (2001), Applied Hydrogeology. Prentice Hall.
- [5] FETTER, C. W. (2008), Contaminant Hydrogeology. Waveland Pr. Inc.
- [6] FISCHER, H. B., LIST, E. G., KOH, R. C. Y., IMBERGER, J. & BROOKS, N. H. (1979), Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, New York, NY.
- [7] FREEZE, A. & J. CHERRY (1979), Groundwater. Prentice Hall.
- [8] GOVINDARAJU, R. S. & B. S. DAS (2007), Moment Analysis for Subsurface Hydrologic Applications, Springer.
- [9] GARDINER, C. (2009), Stochastic Methods: A Handbook for the Natural Sciences, Springer Series in Synergetics.
- [10] GARRATT, J. R. (1992), The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press.
- [11] JAVANDELL, I., C. DOUGHTY & C.F. TSANG (1984), Groundwater Transport: Handbook of Mathematical Models. Water Resources Monograph.
- [12] NIÑO, Y (2004) Apuntes del Curso Hidrodinámica Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- [13] RODI (1984) Turbulence Models and their Application in Hydraulics. IAHR Monograph.
- [14] JORGENSEN, B.B. Y REVSBECH (1985). Diffusive boundary layers and the oxygen uptake of sediments and detritus. Limnology and Oceanography. 30: 111
- [15] SOCOLOFSKY, S. & G.H. JIRKA (2002), Environmental Fluid Mechanics Part I: Mass Transfer and Diffusion. Engineering – Lectures. Institut für Hydromechanik. Universität Karlsruhe.
- [16] CEGA (2022), Guía práctica Uso de geotermia somera para climatización. Universidad de Chile.
- [17] García-Gil, A., Garrido, E., Mejías, M., Santamarta, J. (2022), Shallow Geothermal Energy. Theory and Application. Springer.
- [18] Al-Khoury, R. (2012), Computational Modeling of Shallow Geothermal Systems. CRC Press, Taylor & Francis Group.

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Otoño, 2023
Elaborado por:	Alberto de la Fuente, Juvenal Letelier
Validado por:	Revisión académicos par: Área Hidráulica, sanitaria y ambiental
Revisado por:	Área de Gestión Curricular