

MODELACIÓN AMBIENTAL - ICYA 3406

Programa del Curso – Primer Semestre de 2026

Profesor

Luis Alejandro Camacho Botero la.camacho@uniandes.edu.co

Oficina ML776, Tel: 3394949 Extensión 1731 – celular 3104764861

Horario Atención Estudiantes: Lunes 10:30 am -12:00 pm, Miércoles 10:30 am – 12:00 pm ó solicitar cita en otro horario

Monitor

Juan Pablo Páez Angarita jp.paez@uniandes.edu.co

Clase magistral

Lunes y Miércoles 3:30 a 4:50 pm Salón:

Laboratorio Ambiental

Sección 1 Jueves 2:00 a 3:20 pm / Salón:

Objetivos y metas

Los estudiantes del curso se familiarizarán con ecuaciones, herramientas y métodos de modelación matemática de los procesos de transporte, cinética de reacciones, y transformaciones bioquímicas de determinantes convencionales de calidad del agua superficial y subterránea. Al final del curso los estudiantes podrán:

- Identificar, plantear, y resolver ecuaciones de conservación de la masa en reactores bien mezclados, ríos, y acuíferos utilizando métodos numéricos en Matlab, Python o Excel y modelos existentes tales como QUAL2K. o WASP
- Realizar mediciones hidráulicas y de calidad del agua en ríos *in situ*, y tomar muestras de agua y analizar datos de campo y laboratorio de determinantes convencionales en el marco de la legislación colombiana.
- Reconocer e identificar los conceptos físicos y bioquímicos que gobiernan el transporte y la cinética de reacciones de determinantes convencionales de calidad del agua tales como patógenos, sólidos inorgánicos, materia orgánica, nitrógeno y fósforo.
- Implementar, calibrar y aplicar modelos matemáticos como herramientas de simulación, planificación, diseño, manejo y control ambiental.

Metodología

El curso se basará en explicaciones magistrales del material repartido con anterioridad a las clases, lecturas de las referencias y solución de problemas en clase y fuera de ella. El curso tendrá un alto

contenido de laboratorios computacionales llevados a cabo en la clase magistral. Estos son ejercicios guiados que buscarán la familiarización del estudiante con el marco de modelación y herramientas modernas de simulación y modelos. El curso tendrá una salida de campo opcional (no obligatoria) para la toma de datos utilizados en un laboratorio de transporte de solutos y en el proyecto del curso, en el cual se realizará un ejercicio completo de modelación de la calidad del agua de un río utilizando datos reales. Este proyecto se realizará paso a paso durante el semestre en el espacio de la clase de laboratorio computacional el cual es un espacio adicional complementario a la clase magistral.

Referencias

- Chapra, S. C. (1997). Surface water quality modelling, Ed. McGraw-Hill, 1ª Ed., Nueva York Chapra.
- S.C. y Pellieter, G., (2003) Qual2k Documentation Manual, EPA.
- Martin, J., McCutcheon (1999) Hydrodynamics and transport for water quality modelling, Lewis, New York.
- Thibodeaux, L. J. (1996) Environmental chemodynamics, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York.
- James, A., (1993) An Introduction to water quality modelling, John Wiley & Sons, Chichester
- Kadlec, R. H., Knight, R. (1996) Treatment Wetlands, CRC Press LLC, Lewis Publishers, Boca Ratón.
- Thomann, R. V. and Mueller, J. A. (1987). Principles of surface water quality modelling and control, Ed. Harper and Row, 1ª Ed., Nueva York.
- Levenspiel O. (1972) Chemical reaction engineering, 2a Ed., John Wiley & Sons, Nueva York
- Chapman, D. (1992). Water quality assessments, Ed. E & FN Spon, UNESCO/WHO/UNEP Londres.
- Bartram, J., and Ballance, R. (1996). Water quality monitoring, Ed. E & FN Spon, UNESCO/WHO/UNEP Londres.
- Rutherford, J. C. (1994). River mixing, Ed. John Wiley & Sons, Chichester
- Salazar, A. (1996). Contaminación de Recursos Hídricos – Modelos y Control, AINSA, 2a. Edición, Medellín
- Weiming W. (2008) Computational River Dynamics, Talor & Francis, London Zhen-Gang,
- J. (2008) Hydrodynamics and Water Quality, Wiley, New Jersey.
- Stull, R. B. (2000) Meteorology for Scientists and Engineers, Brooks/Cole, 2a. Edición, Estados Unidos
- Karamouz, M., Ahmadi, A., Akhbari, M., (2011) Groundwater Hydrology, Engineering, Planning and Management, CRC Press Taylor & Francis Group, 1a. Edición, Boca Ratón.
- Benedini, M., Tsakiris, G., (2013) Water quality modelling for rivers and streams, Springer, Dordrecht
- Tchobanoglous, G., Schroeder E., D. (1987) Water quality – Characteristics, Modeling, Modification, Addison Wesley Longman, Reading

Journals

Water Resources Research, AGU; Journal of Hydrology, Elsevier; Journals de la ASCE., e.g. Journal of Environmental Engineering, Earth System Sciences, Water Science and Technology, IAWQ, Environmental Fluid Mechanics (Springer), Environmental Modelling & Software (Elsevier).

Sistema de Evaluación

2 Exámenes parciales (24% cada uno):	50%
Laboratorios computacionales y ejercicios de clase magistral y un ensayo	20%
Proyecto del curso (tres entregas parciales 15%, informe final 10%, y sustentación y auto y co-evaluación 5%):	30%

Exámenes (50%): Los exámenes contendrán la evaluación de conceptos y el control de lecturas mediante preguntas de selección múltiple, y contendrán 1 ejercicio de planteamiento de ecuaciones y/o implementación de modelos y su solución mediante un modelo en Matlab/Python o Excel. Los exámenes se realizarán presencialmente de acuerdo a las instrucciones del profesor.

Laboratorios computacionales y ejercicios de clase (20%): El curso tendrá un componente importante de laboratorios computacionales y ejercicios individuales que se desarrollarán en clase y algunos de los cuales se finalizarán en casa y todos se entregarán a través de Bloque Neón. Después de la clase donde se desarrollan los laboratorios o ejercicios, o después de la fecha acordada de entrega, éstos se recibirán máximo antes de la siguiente clase en Bloque Neón. Todos los trabajos se entregarán por Bloque Neón únicamente en formato pdf, xls o doc. **No se reciben** trabajos enviados al correo electrónico del profesor o del monitor. Los ejercicios tienen un porcentaje típico de 8% (1% c/u), los laboratorios un porcentaje típico de 12% (3% c/u) incluyendo el ensayo.

Proyecto del curso (30%): se desarrollará en grupos de mínimo 5 y máximo 11 estudiantes un proyecto de modelación de la calidad del agua de una corriente utilizando datos reales tomados en campo. Se realizarán 3 entregas de informes parciales calificables (5% c.u./ 15% total), un informe final de ingeniería (10%) y una sustentación oral con el profesor incluidas una auto y co-evaluación (total 5%). Después de la fecha acordada se recibirán entregas de proyecto máximo con una semana de retraso y se calificarán sobre 4.0. Para la sustentación deberá solicitarse por parte del grupo, después de entregar el informe de ingeniería, una cita por escrito al profesor en las fechas establecidas para la misma. La no asistencia de un integrante a la sustentación se calificará con nota de 0.0 a esta persona (no a todo el grupo). Todos los documentos del proyecto y modelos se entregarán por Bloque Neón únicamente en formato pdf, xls o doc. Estudiante que no entregue en la fecha acordada la matriz de autoevaluación y coevaluación de sus compañeros tendrá una nota de 0 en su autoevaluación.

Material de clases: en Bloque Neón estarán disponibles las presentaciones de clase y la mayoría de lecturas asignadas en formato pdf. Éstas son para uso exclusivo de los estudiantes del curso. En Bloque Neón se presentará material de soporte adicional y toda la información referente al proyecto del curso.

Aproximación de notas: la Nota Definitiva será la nota final ponderada según los anteriores porcentajes, expresada con décimas y centésimas (por ejemplo, si la nota final es 3.6783, la nota definitiva será 3.68;

si la nota final es 3.6743, la nota definitiva será 3.67). Excusas: se recibirán **excusas de acuerdo con el artículo 45 del RGEPr** las cuales si tienen un porcentaje igual o mayor al 10% de la nota total deberán ser entregadas al profesor para su verificación y aprobación. La nota mínima aprobatoria del curso será 3.0.

Metas ABET esperadas como parte del curso

En este curso se realiza seguimiento a las metas de aprendizaje establecidas para los programas de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental. En particular, las metas que se evalúan semestralmente por parte del sistema de calidad académica del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes en este curso son:

- S01. Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería aplicando principios de ingeniería, ciencias y matemáticas.
- S06. Habilidad para desarrollar y conducir apropiadamente experimentación, analizar e interpretar datos, y usar el juicio de ingeniería para elaborar conclusiones.

Otras habilidades esperadas en el curso son la de programar las soluciones de los problemas utilizando Excel o Matlab, y aplicar las herramientas de modelación ambiental al diseño de ingeniería con el fin de producir soluciones que satisfagan necesidades específicas con consideraciones de salud pública, así como factores sociales, medio ambientales y económicos.

Inasistencia a clase o a pruebas académicas o exámenes por motivos especiales: los artículos de los reglamentos generales de estudiantes de pregrado, maestría, especialización y doctorado correspondientes a la justificación de ausencias por parte de los estudiantes fueron recientemente modificados. Anteriormente, los estudiantes tenían 8 días hábiles para justificar una ausencia, mientras que ahora tendrán 3 días calendario. Además, solo serán válidas excusas médicas emitidas por instituciones, centros o empresas prestadoras de servicios de salud. Pueden revisar el ART.45 del reglamento de pregrado y el acuerdo 529 sobre este cambio, el cual es válido a partir de este semestre.

Retiros de clases: el Consejo Académico, en su sesión del 25 de mayo de 2023, aprobó ajustar las fechas límite de retiros de cursos. Desde el semestre 2023-2, los estudiantes tendrán hasta la semana 11 de clases para retirar los cursos de 16 semanas. Esto corresponde a 2 semanas después de la entrega de las notas parciales en Banner (mínimo 30%) para los cursos de 16 semanas. Pueden revisar las fechas de retiros de este semestre en el calendario académico de la universidad.

Política de momentos difíciles: desde el semestre 2022-2 no es necesario incluir en los programas de sus cursos la política de momentos difíciles. Pueden revisar el artículo 45 de los reglamentos generales de estudiantes, donde se enumeran las excusas válidas y los tiempos para justificar las ausencias.

Ajustes razonables: en la Universidad de los Andes se entienden los ajustes razonables como todas las acciones, estrategias, apoyos, recursos y adaptaciones empleadas para garantizar a las y los estudiantes

que tienen una discapacidad o condición médica especial su participación, desarrollo y aprendizaje en educación superior, favoreciendo la equiparación de oportunidades y garantía de sus derechos. Estos ajustes tienen el objetivo de eliminar las posibles barreras visibles o invisibles, que impidan el pleno goce del derecho a la educación. Estos son ajustes porque se adaptan a la condición específica de cada estudiante, y razonables porque no imponen una carga desproporcionada o indebida a la Universidad. La Decanatura de Estudiantes es la unidad que acompaña a los estudiantes en la identificación e implementación de este tipo de ajustes. Vale la pena destacar que los ajustes razonables no son “momentos difíciles”.

Si usted lo considera necesario o importante, siéntase en libertad de informarme a mí como su profesor lo antes posible si existe, o se presenta en el desarrollo del curso, alguna barrera o dificultad, y si requiere de algún tipo de ajuste razonable para estar en igualdad de condiciones con los y las demás estudiantes. En ese caso envíeme un correo a la.camacho@uniandes.edu.co ó por favor solicítame una cita para reunirnos.

Protocolo MAAD: El miembro de la comunidad que sea sujeto, presencie o tenga conocimiento de una conducta de maltrato, acoso, amenaza, discriminación, violencia sexual o de género (MAAD) deberá poner el caso en conocimiento de la Universidad. Ello, con el propósito de que se puedan tomar acciones institucionales para darle manejo al caso, a la luz de lo previsto en el protocolo, velando por el bienestar de las personas afectadas. Para poner en conocimiento el caso y recibir apoyo, usted puede contactar a:

1. Línea MAAD: lineamaad@uniandes.edu.co
2. Ombudsperson: ombudsperson@uniandes.edu.co
3. Decanatura de Estudiantes: Correo: centrodeapoyo@uniandes.edu.co
4. Red de Estudiantes:
 - PACA (Pares de Acompañamiento contra el Acoso) paca@uniandes.edu.co -
5. Consejo Estudiantil Uniandino(CEU) comiteacosoceu@uniandes.edu.co

MODELACIÓN AMBIENTAL - PROGRAMA DETALLADO CLASES MAGISTRALES					
Sem	Día	Fecha	Sesión	Tema	Observación
1	Lunes	19-Jan	0		
	Miércoles	21-Jan	1	Introducción al curso. Problemática de la contaminación hídrica. Importancia y utilidad de modelos en ingeniería ambiental.	Lectura individual artículo 1
2	Lunes	26-Jan	2	Introducción al marco de modelación. Protocolo de modelación	Lectura individual artículo 2
	Miércoles	28-Jan	3	Continuación Protocolo de Modelación	
3	Lunes	2-Feb	4	Fundamentos de modelación. Conservación de la masa. Introducción a la cinética de reacciones de orden n. Balance de masa en un reactor bien mezclado	Ejercicio 1 CSTRS
	Miércoles	4-Feb	5	Soluciones ecuación diferencial de primer orden de un reactor bien mezclado. Métodos analíticos y numéricos de Euler, Heun y Runge-Kutta - Laboratorio computacional 1	Laboratorio 1 - CSTRS Dinámico
4	Lunes	9-Feb	6	Modelación de mecanismos de transporte. Advección y difusión molecular y turbulenta. Dispersión longitudinal y transversal y longitud de mezcla en ríos	Ejercicio 2 - Coef. Disp y Long mezcla
	Miércoles	11-Feb	7	Experimentos con trazadores y aforos en ríos. Análisis de datos, tiempo de viaje, de arribo, de pasaje, momentos temporales y su significado	Lectura artículo 3
5	Lunes	16-Feb	8	Laboratorio computacional 2 - Traztool	Laboratorio 2 - Traztool
	Miércoles	18-Feb	9	Modelo de advección – dispersión ADE 1D, 2D y 3D. Soluciones analíticas y numéricas	Lectura artículo 4
6	Lunes	23-Feb	10	Ejercicios Flujo a pistón, difusión y ADE instantáneo. Soluciones analíticas	Ejercicio 3 - FP, DP, ADE
	Miércoles	25-Feb	11	Modelo de Zona Muerta Agregada -ADZ- Ejercicio, ADZTOOL / Salida de Campo opcional Sábado 28 de Febrero	Ejercicio 4 - ADZ, ADZTool / Salida campo 28 Febrero
7	Lunes	2-Mar	12	Ejercicios de simulación de Transporte de Solutos en ríos. Modelos ADE y ADZ - Soluciones numéricas y calibración.	Laboratorio 3 - Transporte Solutos
	Miércoles	4-Mar	13	Examen Parcial 1 (25%) Clases 1 – 12	Parcial 1
8	Lunes	9-Mar	14	Modelación de organismos patógenos en ríos y lagos. Tasa de decaimiento por temperatura, salinidad, radiación, sedimentación y re-suspensión	Ejercicio 5a - Patógenos
	Miércoles	11-Mar	15	Modelación de organismos patógenos - continuación	Ejercicio 5b - Patógenos
	Lunes	16-Mar	SEMANA DE RECESO		
	Miércoles	18-Mar			
	Lunes	23-Mar	Lunes festivo		
	Miércoles	25-Mar	16	Modelación de oxígeno disuelto en ríos y lagos. Saturación de oxígeno disuelto. Modelación de transferencia de gases, volatilización, re-aireación	Ejercicio 6 - Oxígeno disuelto
9	Lunes	30-Mar	SEMANA SANTA		
	Miércoles	1-Apr			
10	Lunes	6-Apr	17	Modelación de materia orgánica; Demanda bioquímica de oxígeno DBO. Condiciones anaerobias	Ejercicio 7 - Streeter y P.
	Miércoles	8-Apr	18	Modelación de nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos Modelación de fósforo.	Abril 3 - Notas 30%
11	Lunes	13-Apr	19	Modelación de Fuentes distribuidas: Fotosíntesis, respiración, y demanda béntica	Lectura Normas Usos y Estándares
	Miércoles	15-Apr	20	Problema de Eutrofización y nutrientes. Modelación del crecimiento de plantas e introducción a modelación de cadenas alimenticias.	
12	Lunes	20-Apr	21	Introducción Modelo Qual2Kw	Lectura Manual Q2K
	Miércoles	22-Apr	22	Laboratorio de Simulación y Calibración de la calidad del agua - Modelo Qual2Kw	Laboratorio 4
13	Lunes	27-Apr	23	Examen Parcial 2 (25%) Clases 15 – 17	Parcial 2
	Miércoles	29-Apr	24	Introducción aguas subterráneas, flujo no saturado, saturado y conceptos de flujo y contaminación de acuíferos.	Preparación debate Fracking
14	Lunes	4-May	25	Introducción aguas subterráneas - Conceptos de flujo y contaminación acuíferos	
	Miércoles	6-May	26	Hidrología de aguas subterráneas. Ley de Darcy, suposiciones de Dupuit Forchheimer Ejercicios	Ejercicios 8a
15	Lunes	11-May	27	Hidrología de aguas subterráneas. Explotación de pozos de agua subterránea - Ejercicios	Ejercicios 8b
	Miércoles	13-May	28	Modelación del transporte de contaminantes disueltos. ADE con adsorción y reacción en medios porosos. Introducción a modelación de sustancias tóxicas - Ejercicios Ley de Darcy	Ejercicios 8c
16	Lunes	18-May	Lunes festivo		
	Miércoles	20-May	29	Debate Fracking en Colombia	Ensayo individual Fracking
				Entrega proyecto y sustentación entre Mayo 22 y Junio 3	

NOTA: Cada estudiante es responsable de la preparación de la clase correspondiente mediante la lectura del material respectivo del texto, de otros libros pertinentes y de material puesto en Bloque Neón. La entrega de proyecto final y la sustentación se realizará entre **Mayo 22 y Junio 3**. Para programar la sustentación por favor solicitar cita al profesor después de entregar el informe de ingeniería del proyecto final del curso.

MODELACIÓN AMBIENTAL - PROGRAMA SESIÓN COMPLEMENTARIA DE LABORATORIO

Sem	Día	Fecha	Sesión	Tema	Observación
1	Jueves	22-Jan	1	Trabajo en Grupo. Introducción Proyecto	Compromisos Grupo. Enunciado proyecto.
2	Jueves	29-Jan		No hay Laboratorio	
3	Jueves	5-Feb	2	Distancias entre tramos, Pendiente longitudinal	SIG - Lab 1
4	Jueves	12-Feb	3	Modelo de tiempos de viaje	Excel - Lab 2
5	Jueves	19-Feb	4	Preparación salida de campo - Salida de campo 28 Febrero	
6	Jueves	26-Feb	5	Preparación salida de campo - Salida de campo 28 Febrero	Familiarización equipos y protocolo toma de muestras. Salida campo proyecto 28 Febrero
7	Jueves	5-Mar	6	Calibración trazadores tramo	Entrega 1 Proyecto Viernes 13 Marzo - Transporte
8	Jueves	12-Mar	7	Aforos e incertidumbre	Aforos de caudal, Trazadores Excel
	Jueves	19-Mar		Semana de Receso	
	Jueves	26-Mar	8	Balance de caudales y balance de masa conductividad y temperatura	Excel
9	Jueves	2-Apr	9	Semana Santa	
10	Jueves	9-Apr	10	Figuras y perfiles longitudinales de los datos de campo	Excel, Matlab
11	Jueves	16-Apr	11	Qual2k Intro y Datos	Qual2kw
12	Jueves	23-Apr	12	Qual2k Intro y Datos	Entrega 2 Proyecto Viernes 24 Abril - Qual2kw
13	Jueves	30-Apr	13	Qual2k Calibración	Qual2kw
14	Jueves	7-May	14	Qual2k Simulación escenarios	Qual2kw
15	Jueves	14-May	15	Solución de dudas del proyecto	Entrega 3 Proyecto Modelo calibrado Viernes 15 Mayo
16	Jueves	21-May	16	Solución de dudas del proyecto	Qual2kw
Entrega de proyecto final y sustentaciones entre Mayo 22 y Junio 3. Entregar informe final y solicitar cita para sustentación. El proyecto debe entregarse al menos 1 día antes de la sustentación					