

MODELACIÓN DE PROCESOS Y SISTEMAS AMBIENTALES

ICYA 4102

Programa del Curso

Primer Semestre de 2026-I

Profesor: Luis Alejandro Camacho Botero Oficina ML776, Tel: 3394949 Extensión 1731

Teléfono celular 3104764861

Correo electrónico: la.camacho@uniandes.edu.co

Horario Atención Estudiantes: Miércoles 10:00 am - 12:00 pm

Clase Magistral Martes y Jueves 8:00 am – 9:20 am

El objetivo general del curso es lograr la familiarización del estudiante con procesos de transporte y transformaciones biogeoquímicas de contaminantes en el medio ambiente y modelos de sistemas ambientales. Al final del curso el estudiante estará en capacidad de:

- Reconocer y aplicar en forma rigurosa el marco de modelación matemática de procesos de transporte y reacciones en Ingeniería Ambiental.
- Formular y plantear ecuaciones y modelos matemáticos de procesos de transporte y reacción o transformación de determinantes o contaminantes en los diferentes medios y en sus interfaces, *i.e.* agua-aire-suelo, y solucionar las ecuaciones gobernantes mediante métodos analíticos o numéricos.
- Reconocer la importancia de contar con metodologías, protocolos, equipos y estaciones de medición de determinantes de calidad del agua y el aire específicas para la toma de datos de calibración y verificación de modelos de calidad del agua, de aire y el flujo en medios porosos y agua subterránea a nivel de cuenca, acuíferos, ríos, lagos y embalses, y la atmósfera.
- Diseñar y conducir experimentos relacionados con la toma de datos útiles para la calibración de modelos de procesos de transporte y transformaciones de los contaminantes en el medio ambiente.
- Reconocer la utilidad y aplicar modelos matemáticos como herramientas de simulación, planificación, diseño, manejo y control ambiental de sistemas ambientales a nivel de cuenca hidrográfica, aguas superficiales continentales, aguas subterráneas, y ecosistemas de humedales y lagos.

Metodología

El curso se basará en lecturas previas y explicaciones magistrales del material repartido con anterioridad a las clases, lecturas posteriores y solución de problemas en clase y fuera de ella. El curso tendrá un alto contenido de laboratorios computacionales guiados (11), ejercicios y tareas (8) que buscarán la familiarización del estudiante con el marco de modelación y herramientas modernas de simulación y modelos de los procesos y sistemas ambientales bajo estudio. El curso tendrá una salida de campo opcional (no obligatoria) para la toma de datos en un sistema en el cual se realizará un ejercicio completo de modelación ambiental.

Referencias

- Ramaswami, A., Milford, A., Small, M. (2005) Integrated environmental modelling, John Wiley & Sons, Inc.
- Wainwright J., Mulligan, M., (2004) Environmental modelling – Finding simplicity in complexity, John Wiley & Sons, Inc.
- 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, Modelling, Modification, Addison Wesley Longman, Reading
- Mays, L. (2008) Ground and Surface Water Hydrology, John Wiley & Sons, Inc.
- Beven, K. (2002) Rainfall-runoff modelling – The Primer, John Wiley & Sons, West Sussex, England

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

Examen Parcial 1: 25%

Examen Parcial 2: 25%

Laboratorios computacionales individuales y en grupo, Ejercicios y tareas individuales, 30%

Proyecto grupal (Tres entregas y sustentación) 20%

Exámenes parciales (2) (50%): evaluará el aprendizaje, alcance de metas y habilidades de modelación mediante ejercicios de planteamiento de ecuaciones gobernantes y/o implementación y solución de modelos ambientales. Los exámenes contendrán la evaluación de conceptos y el control de lecturas mediante preguntas de selección múltiple, y contendrán 1 ejercicio de planteamiento y/o implementación de modelos y su solución mediante un modelo en Matlab/Phyton o Excel. Los exámenes se realizarán presencialmente conforme a las instrucciones del profesor.

Laboratorios computacionales, tareas y ejercicios en clase (30%): El curso tendrá un componente importante de ejercicios y laboratorios computacionales individuales que **deben entregarse únicamente a través de la plataforma Bloque Neón**. Después de la clase donde se desarrollan los laboratorios o ejercicios, o después de la fecha acordada de entrega, se recibirán máximo en la siguiente semana y se calificarán sobre 4.0. Todos los trabajos se entregarán por Bloque Neón únicamente en formato pdf, xls o doc o .m de Matlab.

Proyecto del curso (20%) En el curso se desarrollará adicionalmente un proyecto de modelación de un sistema ambiental en forma grupal. Como parte de dicho proyecto se realizarán 2 entregas de informes parciales calificables (10%), un informe final de ingeniería (5%) el cual deberá sustentarse oralmente al profesor (5%). Después de la fecha acordada se recibirán entregas de proyectos máximo con una semana de retraso y se calificarán sobre 4.0. Para la sustentación deberá solicitarse por parte del grupo 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.

Control de ejercicios y lecturas: durante el desarrollo del curso se dejarán lecturas evaluables en los exámenes mediante preguntas abiertas o de selección múltiples

Material de clases: en Bloque Neón estarán disponibles las presentaciones de clase en formato pdf. Éstas son para uso exclusivo de los estudiantes del curso. En Bloque Neón habrá material de soporte adicional.

Aproximación notas: la Nota Definitiva será la nota final ponderada según los anteriores porcentajes, expresada con décimas y centésimas (por ejemplo, si la 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). La nota mínima aprobatoria será 3.00. Excusas: se recibirán excusas por inasistencia a los exámenes parciales de acuerdo con el artículo 43 del RGEPr las cuales deberán ser entregadas a la secretaria de la coordinación del Departamento y al profesor para su verificación y aprobación.

Otra habilidad esperada en el curso es la de programar las soluciones de los problemas utilizando Excel o Matlab y Simulink y aplicación de modelos de uso libre de calidad del agua.

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. A partir de este semestre, 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 PROCESOS Y SISTEMAS AMBIENTALES - PROGRAMA DETALLADO CLASES MAGISTRALES

Sem	Día	Fecha	Sesión	Tema	Observación
1	Martes	20-Jan	1	Introducción al curso: problemática ambiental; roles, objetivos y utilidad de modelos de procesos y sistemas ambientales; protocolos de modelación ambiental y de calibración de modelos; tipos de	Lectura 1
	Jueves	22-Jan	2	Modelos ambientales. Contaminantes en el ambiente. Determinantes convencionales y sustancias tóxicas. Concentraciones típicas y cargas contaminantes.	Lectura 2
2	Martes	27-Jan	3	Introducción a la modelación, transporte, y transformación de contaminantes en el ambiente. Balance de masa en reactores bien mezclados, ríos, embalses, humedales, aguas subterráneas.	Ejercicios **
	Jueves	29-Jan	4	Fundamentos de modelación. Conservación de la masa e introducción a la cinética de reacciones de orden n. Balance de masa en un reactor bien mezclado.	Ejercicios **
3	Martes	3-Feb	5	Soluciones a las ecuaciones diferenciales simples y acopladas de un reactor bien mezclado y de reactores en serie CSTRs o CIS. Métodos numéricos de Euler, Heun y Runge-Kutta.	Ejercicios
	Jueves	5-Feb	6	Laboratorio computacional solución ODEs en MATLAB y SIMULINK. Simulación y calibración. MATLAB con la herramienta Monte Carlo Analysis Toolbox (MCAT-GLUE)	Laboratorio 1
4	Martes	10-Feb	7	Procesos de transporte de solutos: Advección, Difusión, Dispersión longitudinal y transversal	Lectura 2
	Jueves	12-Feb	8	Modelos de transporte de solutos. Modelo ADE 1D, 2D, 3D y ADE-R. Métodos analíticos de solución de la ecuación ADE-R.	Ejercicios
5	Martes	17-Feb	9	Procesos bioquímicos. Mortalidad de patógenos, oxidación de materia orgánica, amonificación, nitrificación, hidrólisis de fósforo, sedimentación, reaireación de oxígeno disuelto.	Lectura 3
	Jueves	19-Feb	10	Demanda béntica, fotosíntesis, respiración, asimilación de nutrientes y crecimientos de plantas	Ejercicios - Entrega 1 Proyecto
6	Martes	24-Feb	11	Procesos bioquímicos. Adsorción, volatilización, fotólisis, bioacumulación	Ejercicios
	Jueves	26-Feb	12	Ionización, pH, modelos de equilibrio químico. Salida de campo 28 de Febrero.	Ejercicios
7	Martes	3-Mar	13	Laboratorio computacional Modelo Visual MINTEQ. - Especiación de metales Cromo, Mercurio, Hierro	Laboratorio 2
	Jueves	5-Mar	14	Aplicación de modelación de la calidad del agua de Sistemas Acuáticos - Ríos. Modelación del Transporte en ríos 1-D. Modelos OTIS y ADZ-TOOL	Lectura 4
8	Martes	10-Mar	15	Calibración de modelos de transporte en ríos. Experimentos con trazadores, hidráulica, modelos de tiempo de viaje, Modelo Transporte de Solutos (Uniandes)	Laboratorio 3
	Jueves	12-Mar	16	Examen Parcial 1 (25%) Clases 1 – 14	Parcial 1
	Martes	17-Mar	SEMANA DE RECESO		
	Jueves	19-Mar			
9	Martes	24-Mar	17	Aplicación de modelación de la calidad del agua de Sistemas Acuáticos - Ríos. Modelación de la calidad del agua determinantes convencionales. Qual2kw - Calibración	Laboratorio 4
	Jueves	26-Mar	18	Aplicación de modelación de la calidad del agua de Sistemas Acuáticos - Ríos. Modelación de la calidad del agua determinantes convencionales. Modelo WASP - Simulación escenarios	Laboratorio 5
	Martes	31-Mar	Semana Santa		
	Jueves	2-Apr			
10	Martes	7-Apr	19	Modelación dinámica de la calidad del agua en ríos. Modelo MODRUB (LAC-Uniandes)	Laboratorio 6
	Jueves	9-Apr	20	Laboratorio de simulación de sustancias tóxicas WASP. Tóxicos orgánicos (BETEX)	Laboratorio 7
11	Martes	14-Apr	21	Laboratorio de simulación de sustancias tóxicas WASP. Metales (Hg)	Laboratorio 8
	Jueves	16-Apr	22	Aplicación de modelación de la calidad del agua de Sistemas Acuáticos - Lagos y humedales. Modelación de la calidad del agua y modelos ecológicos	Lectura 5 - Entrega 2 Proyecto
12	Martes	21-Apr	23	Laboratorio modelo LAKE2-K	Laboratorio 9
	Jueves	23-Apr	24	Laboratorio modelo de interacciones Río - Ciénaga, Mojana, Canal del Dique, Humedal el Tunjo	Laboratorio 10
13	Martes	28-Apr	25	Aplicación de modelación de la calidad del agua de Sistemas Acuáticos - Aguas Subterráneas. Modelación RBF	Lectura 6
	Jueves	30-Apr	26	Aplicación modelo RBF - patógenos	Ejercicios
14	Martes	5-May	27	Modelos de Cuencas Hidrográficas - Hidrología y Calidad del agua	Lectura 7
	Jueves	7-May	28	Laboratorio de aplicación modelo modelo SVAT	Laboratorio 11
15	Martes	12-May	29	Modelos de transporte en aire. ISC3 corto y largo plazo y AERMOD	Ejercicios
	Jueves	14-May	30	Modelos de transformación y procesos de reacción atmosféricos	Lectura 8
16	Martes	19-May	31	Modelos de circulación Global y escenarios de CCG	Lectura 9
	Jueves	21-May	32	Examen Parcial 2 (25%) Clases 17 – 31	Parcial 2
				No hay examen final. Entrega final del proyecto y sustentación entre Mayo 23 y Junio 5	Entrega Final y sustentación

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 23 y Junio 5**. Para programar la sustentación por favor solicitar cita al profesor después de entregar el informe de ingeniería del proyecto final del curso.