

## MODELACIÓN AMBIENTAL

ICYA 3406

Programa del Curso

Segundo Semestre de 2017

Profesor: Luis Alejandro Camacho Botero Oficina ML629, Tel: 3394949 Extensión 1731

[la.camacho@uniandes.edu.co](mailto:la.camacho@uniandes.edu.co)

Horario Atención Estudiantes: Miércoles 10:30 am -12:00 pm

Clase Magistral Lunes - Miércoles 8:00- 9:20 am Salón – ML615  
Clase Laboratorio Sec. 01 Martes 9:30 – 10:50 pm Sala – ML 108A  
Clase Laboratorio Sec. 02 Jueves 14:00 – 15:20 pm Sala – ML 108B  
Clase Laboratorio Sec. 03 Martes 12:30 – 13:50 pm Sala – ML 108B

Asistente docente de Laboratorio: Oscar Sebastian Galindo [os.galindo754@uniandes.edu.co](mailto:os.galindo754@uniandes.edu.co)

Monitores: Juan David Herrera ([jd.herrera2085@uniandes.edu.co](mailto:jd.herrera2085@uniandes.edu.co)) y Angie Vanessa Mesa Trujillo ([av.mesa10@uniandes.edu.co](mailto:av.mesa10@uniandes.edu.co)).

### Objetivos y metas

El objetivo general del curso es lograr la familiarización del estudiante con herramientas y métodos de modelación matemática de los procesos de transporte, cinética de reacciones, y transformaciones bioquímicas de determinantes convencionales de calidad del agua, del aire y en el suelo. Al final del curso el estudiante estará en capacidad de:

- Reconocer y aplicar el marco de modelación matemática de procesos en Ingeniería Ambiental.
- Formular y plantear ecuaciones y modelos matemáticos de procesos de transporte y reacción de determinantes o contaminantes en los diferentes medios, *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 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.
- Diseñar y conducir experimentos relacionados con la toma de datos útiles para la calibración de modelos de procesos en el medio ambiente.
- Reconocer la utilidad y aplicar modelos matemáticos como herramientas de simulación, planificación, diseño, manejo y control ambiental en general y en el marco de la legislación ambiental colombiana.

### 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 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 el proyecto del curso, en el cual se realizará un ejercicio completo de modelación de la calidad del agua utilizando datos reales de una corriente.

## 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): 48%                      Examen Final (25%)  
Laboratorios computacionales: 12%                      Proyecto del curso: 10%                      Ejercicios de clase: 5%

*Exámenes:* contendrán ejercicios de planteamiento y/o implementación de modelos y solución de problemas mediante modelos ambientales. El tercer examen corresponderá al Examen Final que incluirá todo el material tratado en el curso. Los exámenes contendrán en lo posible dos partes, una de conceptos

y control de lecturas de selección múltiple, y otra de ejercicios con calculadora programable y/o computador.

*Laboratorios computacionales:* El curso tendrá un componente importante de laboratorios computacionales en grupos de dos personas (laboratorio semanal/quincenal) que **deben entregarse en medio físico impreso únicamente en clase al profesor de laboratorio**. Después de la fecha acordada se recibirán laboratorios máximo con una semana de retraso y se calificarán sobre 4.0.

*Proyecto:* se desarrollará en grupo de máximo 5 estudiantes un proyecto de modelación de la calidad del agua de una corriente utilizando datos reales tomados en una salida de campo. Se realizarán 2 entregas de informes parciales calificables (3%), un informe final de ingeniería (5%) que incluirá una sustentación oral al profesor. 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 (2%) 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 (no a todo el grupo).

*Control de ejercicios, lecturas y asistencia:* durante el desarrollo del curso se dejarán lecturas evaluables en los exámenes y se plantearán ejercicios en y fuera de clase que se deben entregar, a manera de tarea individual, únicamente en las fechas indicadas los cuales serán calificados. Estas evaluaciones no tendrán nota supletoria en caso de ausencia justificada, pero se eliminará al final del curso las peores dos notas de dichos ejercicios.

*Material de clases:* en SICUA-PLUS estarán disponibles las presentaciones de clase en PowerPoint. Éstas son para uso exclusivo de los estudiantes del curso. En SICUA-PLUS habrá material de soporte adicional. La filmación o grabación de clases no está autorizada.

*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). Excusas: se recibirán excusas de acuerdo con el artículo 43 del RGEPr las cuales deberán ser entregadas a la coordinación del Departamento (Secretaria Mayra Delgado) y al profesor para su verificación y aprobación. La nota mínima aprobatoria del curso será 3.00.

### **Metas ABET esperadas como parte del curso**

- Habilidad de aplicar conocimientos de matemáticas, ciencia e ingeniería. (a)
- Habilidad para diseñar y conducir experimentos, y para analizar e interpretar datos. (b)
- Habilidad para identificar, formular y solucionar problemas de ingeniería. (e)
- Habilidad para usar técnicas, destrezas y herramientas modernas de la Ingeniería necesarias para la práctica de la profesión. (k)

**Modelación ambiental - Contenido Detallado y Cronograma – Clases Magistrales**

Clase	Fecha	Tema
1	Agosto 9	Introducción al curso. Problemática de la contaminación hídrica. Importancia y utilidad de modelos de calidad del agua superficial y subterránea y de contaminación atmosférica. Introducción al marco de modelación. <b>Lectura individual artículo 1 y artículo 2.</b>
2	Agosto 14	Fundamentos de modelación. Conservación de la masa. Introducción a la cinética de reacciones de orden $n$ . Balance de masa en un reactor bien mezclado.
3	Agosto 16	Soluciones ecuación diferencial de primer orden de un reactor bien mezclado. Métodos analíticos y numéricos de Euler, Heun y Runge-Kutta.
4	Agosto 23	Modelación de mecanismos de transporte. Advección y difusión molecular y turbulenta. Dispersión longitudinal y transversal y longitud de mezcla en ríos.
5	Agosto 28	Experimentos con trazadores en ríos. Análisis de datos, tiempo de viaje, de arribo, de pasaje, momentos temporales y su significado. <b>Lectura individual artículos</b>
6	Agosto 30	Modelación de mecanismos de transporte. Modelo de advección-dispersión ADE 1D, 2D y 3D.
7	Septiembre 4	Modelos alternativos de transporte. Modelo TS. Reactores bien mezclados en serie CIS. Modelo de transporte ADZ.
8	Septiembre 6	Calibración y comparación de modelos de transporte en ríos.
9	Sep. 11	Ejercicios de preparación Parcial 1.
10	Sep. 13	<b>PARCIAL 1 (24%) Clases 1 – 8</b>
11	Sep. 18	Determinantes, estándares y protocolos de monitoreo de calidad del agua superficial. Lectura estándares de calidad, normas de vertimiento, y protocolos de monitoreo. Preparación salida de campo.
12	Sep. 20	Ejemplos de aplicación del marco de modelación de modelos de calidad del agua en ríos. Río Bogotá, Río Magdalena, Canal del Dique, la Mojana.
	<b>Sep. 23</b>	<b>Salida de campo monitoreo de la calidad del agua - Proyecto del Curso (Sábado Septiembre 23 - opcional)</b>
13	Sep. 25	Modelación de organismos patógenos en ríos y lagos. Tasa de decaimiento por temperatura, salinidad, radiación, sedimentación y re-suspensión.
14	Sep. 27	Modelación de oxígeno disuelto en ríos y lagos. Saturación de oxígeno disuelto. Materia orgánica y Demanda bioquímica de oxígeno DBO. Notas 30%
		<b>SEMANA DE RECESO 2 de Octubre – 6 de Octubre</b>
15	Octubre 9	Modelación de transferencia de gases, volatilización, re-aireación. Modelo de DBO y OD en reactores bien mezclados y ríos.

16	Octubre 11	Modelación de condiciones anaerobias. Modelación de nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos. Retiros Octubre 13
17	Octubre 18	Modelación de Fuentes distribuidas. Fotosíntesis, respiración. Problema de Eutrofización y nutrientes. Concepto de la carga de fósforo.
18	Octubre 23	Modelación del crecimiento de plantas.
19	Octubre 25	<b>PARCIAL 2 (24%) Clases 11 – 18</b>
20	Octubre 30	Cinética y procesos considerados en los modelos QUAL2k, HEC-RAS, QUASAR y WASP. Ejemplos. Limitaciones y ventajas de los modelos y criterios de selección.
21	Noviembre 1	Introducción aguas subterráneas, flujo no saturado, saturado y conceptos de contaminación de acuíferos. <b>Lectura individual calidad aguas subterráneas.</b>
22	Noviembre 8	Hidrología de aguas subterráneas. Ley de Darcy, suposiciones de Dupuit-Forchheimer. Aplicaciones en Ingeniería Ambiental.
23	Nov. 15	Ecuaciones de flujo y pozos de aguas subterráneas - Ejercicios
24	Nov. 20	Modelación del transporte de contaminantes disueltos. ADE con adsorción. Zonas de captura. Introducción a modelos de aguas subterráneas. MODFLOW. Constituyentes, contaminantes y estándares de calidad del agua subterránea. Fuentes de contaminación.
25	Nov. 22	Fundamentos de meteorología para modelación de la contaminación atmosférica. <b>Lectura individual dispersión de la contaminación atmosférica.</b> Determinantes y estándares de calidad del aire. Protocolos de monitoreo. Introducción a modelos de transporte de calidad del aire. Dispersión de la contaminación atmosférica – Ejercicios
	Periodo Ex. Finales	<b>EXAMEN FINAL (25%) Clases 1 – 25.</b> Se realiza en fecha del Examen Final definido por registro entre Noviembre 27 y Diciembre 11 <b>Sustentaciones de Proyecto Final</b> Se realizan a más tardar en la semana del 11 al 15 de diciembre de acuerdo a cita previa

**Modelación Ambiental - Contenido y Cronograma Laboratorios Computacionales y Salidas de Campo**

Semana	Fecha	Tema
1	Agosto 8 - 11	No hay Laboratorio
2	Agosto 15 - 17	Repaso Matlab – Graficación de datos observados y modelados de determinantes de calidad del agua.
3	Agosto 22 - 24	Fundamentos de modelación. Problema de balance de masa en un reactor bien mezclado. Soluciones de Euler, Heun, Runge-Kutta.
4	Agosto 29 - 31	Análisis de datos de experimentos con trazadores TRAZtool y MATLAB
5	Sep. 5 - 7	Modelación de fenómenos de transporte en ríos –ADZtool y Transporte de Solutos (ADE, TS y ADZ). – Simulación.
6	Sep. 12 - 14	Calibración y Análisis de Incertidumbre de modelos de transporte de solutos (GLUE-MCAT). Modelo de Transporte de Solutos y Modelo STTOOL vs. 2.
7	Sep. 19 - 21 <b>Sep. 23</b>	Preparación de salida de campo – Capacitación uso de equipos <b>Salida de campo (Sábado - opcional). Toma datos - campaña mediciones</b>
8	Sep. 26 - 28	Modelos de tiempo de viaje
9	Oct. 3 - 5	<b>Semana de Receso</b>
10	Oct. 10 -12	Modelo QUAL2k - Introducción
11	Oct. 17 - 19	Modelo QUAL2k – Simulación de escenarios
12	Oct. 24 - 26	Modelo QUAL2k – Calibración
13	Oct. 31 – Nov. 2	Solución dudas - Modelo QUAL2K Proyecto Final del curso
14	Nov. 7 - 9	Solución dudas - Modelo QUAL2K Proyecto Final del curso
15	Nov. 14 - 16	Solución dudas - Modelo QUAL2K Proyecto Final del curso
16	Nov. 21 - 23	Modelos y ejercicios de aguas de subterráneas