

PROGRAMA DE CURSO

ANÁLISIS DE SISTEMAS AMBIENTALES

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil (DIC)					
Nombre del curso	Análisis de Sistemas Ambientales	Código	CI5163	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Environmental Systems Analysis</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	MA3701: Optimización/IN3171: Modelamiento y optimización, CI3261: Ingeniería ambiental					

B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes sean capaces de analizar el comportamiento de sistemas ambientales, formulando, implementando y utilizando modelos de simulación determinísticos y estocásticos, para apoyar la toma de decisiones tanto públicas como privadas, relacionada por ejemplo con normativa y política, selección de alternativas tecnológicas, etc.

Asimismo, los y las estudiantes serán capaces de estructurar y resolver problemas de toma de decisiones dinámicas bajo incertidumbre, utilizando herramientas de teoría de decisiones, probabilidades, y optimización, incorporando consideraciones económicas, sociales y ambientales. Se trabajará con una variedad de ejemplos de aplicación de estas técnicas en problemas de ingeniería y gestión ambiental.

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

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.

CE5: Administrar, operar, mantener y monitorear obras y sistemas, asegurando el mejoramiento continuo de su funcionamiento, logrando optimizar las distintas operaciones.

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.

CEH9: Evaluar y diseñar alternativas de mitigación, adaptación, control y seguimiento de impactos ambientales negativos en el recurso hídrico, producto de la actividad humana y de fenómenos naturales.

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.

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
CE2, CE6	RA1: Formula, implementa y utiliza modelos de simulación determinístico para analizar el comportamiento de sistemas ambientales, los que primero define conceptualmente y que se usan en la evaluación de alternativas en problemas de toma de decisiones.
CE5, CEH7	RA2: Formula y resuelve modelos programación lineal que representen un problema de toma de decisión sobre sistemas ambientales, incorporando una representación de los procesos ambientales para identificar la mejor alternativa de solución, desde una perspectiva sistémica.
CE4, CEH9	RA3: Integra diversas representaciones de la incertidumbre al análisis sobre el comportamiento de sistemas ambientales, utilizando modelos de simulación estocásticos, para evaluar alternativas en problemas de toma de decisiones bajo incertidumbre.
CEH7, CEH9	RA4: Comprende y modela el proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre, utilizando árboles de decisión, para seleccionar el mejor curso de acción y estimar el valor de la información, en un problema de sistemas ambientales.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA5: Produce párrafos de carácter explicativo – argumentativo que dan cuenta del análisis de sistemas ambientales basado en resultados y cálculos, considerando un léxico amplio, variado y adecuado, que se adapte a diversas audiencias con foco en tomadores de decisión.

CG3	RA6: Reflexiona y argumenta sobre las consecuencias de sus decisiones como analista en la formulación, implementación y uso de herramientas de modelación sobre la selección de alternativas por parte de tomadores de decisión que enfrentan un problema ambiental.
CG5	RA7: Interpreta resultados de modelos sobre el efecto de distintas intervenciones y decisiones sobre sistemas ambientales, integrando y evaluando la pertinencia de normativa de emisión y calidad ambiental, para resolver problemas ambientales en sistemas acuáticos.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2, RA5, RA6, RA7	Modelos dinámicos determinísticos	6 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Concepto de sistema ambiental dinámico. 1.2. Proceso de modelación de un sistema ambiental dinámico. 1.3. Simulación de sistemas ambientales dinámicos determinísticos (simulación, estimación, optimización). 1.4. Simulación: Métodos numéricos para solución de ecuaciones diferenciales ordinarias. 1.5. Modos de comportamiento de sistemas ambientales dinámicos en el largo plazo (espacio estado). 1.6. Modelos impulso-respuesta (metamodelación). 1.7. Métodos de estimación de parámetros en sistemas dinámicos. 1.8. Optimización en sistemas ambientales dinámicos.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Identifica los principales atributos del sistema, incluyendo sus límites, variables de entrada y salida, variables de estado, etc. Formula y resuelve modelos de simulación determinísticos de sistemas ambientales dinámicos, incluyendo la formulación y solución de modelos en Vensim®. Realiza estimación de parámetros de modelos de simulación, utilizando el método de Gauss – Newton. Formula modelos de optimización para la toma de decisiones en sistemas ambientales. Determina los alcances, impactos y responsabilidades del proceso de modelación de sistemas ambientales sobre la toma de decisiones. Predice los efectos futuros de acciones por parte de tomadores de decisión pertinentes a problemas ambientales, de manera concreta a través de modelos de simulación y optimización determinística. Evalúa la pertinencia de normas y regulaciones, en el contexto de problemas de contaminación de sistemas acuáticos, analizando críticamente las consecuencias de su cumplimiento y no cumplimiento. Produce párrafos que describen el proceso de modelación de un sistema ambiental, así como los resultados obtenidos a partir de la modelación, considerando un léxico amplio, variado y adecuado, que se adapte a diversas audiencias con foco en tomadores de decisión. 	

Bibliografía de la unidad	<p>[1] Cellier (1991) Continuous system Modeling.</p> <p>[2] Edwards & Hanson (1996) Mathematical Modelling Skills (College Work Out Series: The College Course Companions).</p>
---------------------------	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA3, RA5, RA6, RA7	Modelos de simulación estocástica	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Análisis de incertidumbre en modelos de simulación (sensibilidad, escenarios, etc).</p> <p>2.2. Simulación estocástica de sistemas (Método de Monte Carlo).</p> <p>2.3. Técnicas de reducción de varianza en Monte Carlo.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Incorpora diversas representaciones de la incertidumbre de parámetros y variables de entrada en modelos de simulación procesos en modelos de simulación. 2. Formula y resuelve modelos de simulación estocástica (Monte Carlo), incluyendo técnicas para reducir el error de la técnica de muestreo. 3. Determina los alcances, impactos y responsabilidades del proceso de modelación de sistemas ambientales sobre la toma de decisiones bajo incertidumbre. 4. Predice los efectos futuros de acciones por parte de tomadores de decisión pertinentes a problemas ambientales, de manera concreta a través de modelos de simulación y optimización estocástica. 5. Evalúa la pertinencia de normas y regulaciones, en el contexto de problemas de contaminación de sistemas acuáticos, analizando críticamente las consecuencias de su cumplimiento y no cumplimiento, bajo incertidumbre. 6. Redacta párrafos que describen el proceso de modelación de un sistema ambiental bajo incertidumbre, así como los resultados obtenidos a partir de la modelación estocástica, considerando un léxico amplio, variado y adecuado, que se adapte a diversas audiencias, con foco en tomadores de decisión. 	
Bibliografía de la unidad		<p>[1] M.G. Morgan y M. Henrion, Uncertainty, Cambridge University Press, Cambridge, UK.</p> <p>[2] Clemen Cap. 5,7,8, 11.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA4, RA5, RA7	Toma de decisiones secuenciales bajo incertidumbre	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Representación de toma de decisiones bajo incertidumbre a través de árboles de decisión.</p> <p>3.2. Valor de la información perfecta e imperfecta en árboles de decisiones.</p> <p>3.3. Representación del riesgo mediante funciones de utilidad.</p> <p>3.4. Paradigmas alternativos de decisión. Métodos no probabilísticos (Dominancia determinística y estocástica, Arrepentimiento, valor esperado versus riesgo).</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Formula y resuelve árboles de decisión asociados a problemas de toma de decisiones bajo incertidumbre, multi-etapas. 2. Utiliza árboles de decisión para estimar el valor de la información perfecta e imperfecta. 3. Aplica paradigmas o métodos no probabilísticos, en problemas de decisión bajo incertidumbre en ausencia de probabilidades. 4. Integra la normativa (p.ej. normas secundarias de calidad ambiental) y regulación (por ejemplo reglamento del SEIA) aplicable en las identificación de alternativas factibles para la toma de decisiones en sistemas ambientales. 5. Produce párrafos que explican el proceso de modelación de la toma de decisiones secuenciales bajo incertidumbre, considerando un léxico amplio, variado y adecuado, que se adapte a diversas audiencias con foco en tomadores de decisión. 	
Bibliografía de la unidad		<p>[5] Revelle Cap.9. [2] Clemen Cap. 4, 12, 13].</p>	

F. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

La metodología de enseñanza considera:

- El curso contará con **clases expositivas**, donde se presentan conceptos fundamentales y se ilustran con ejemplos de la vida real. En estas clases se incentiva la activa participación de los estudiantes a partir de preguntas y problemas sobre los cuales discutir y proponer enfoques de solución.
- **Resolución de problemas** que involucran la formulación e implementación de modelos de simulación y optimización, tanto determinísticos como estocásticos. En algunos casos se requiere estructurar un problema de toma de decisiones como árboles y proceder a su resolución.
- Adicionalmente, se consideran al menos sesiones de **trabajo práctico en el laboratorio de computación**, donde se pone en práctica la implementación de modelos en diversas plataformas.

G. Estrategias de evaluación:

El curso considera las siguientes estrategias de evaluación:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> Control 1 	En los controles se pone foco en evaluar conceptos, procedimientos y formulación matemática de modelos para apoyar la toma de decisiones en sistemas ambientales. El Control 1 cubre la unidad 1 y, por tanto, evalúa los RA1, RA2, RA5, RA6, RA7.
<ul style="list-style-type: none"> Control 2 	En los controles se pone foco en evaluar conceptos, procedimientos y formulación matemática de modelos para apoyar la toma de decisiones en sistemas ambientales. El Control 2 cubre las unidades 2 y 3 y, por tanto, evalúa los RA3, RA4, RA5, RA6, RA7.
<ul style="list-style-type: none"> Examen 	En el examen se pone foco en evaluar conceptos, procedimientos y formulación matemática de modelos para apoyar la toma de decisiones en sistemas ambientales. El Examen evalúa todos los contenidos del curso, asociados a los RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 y RA7.
<ul style="list-style-type: none"> Tareas 	En las tareas se evalúa la implementación matemática y computacional y análisis de resultados de modelos para apoyar la toma de decisiones en sistemas ambientales. Lo anterior involucra evaluar los RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 y RA7.

H. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- [1] Cellier (1991) Continuous system Modeling.
- [2] Edwards & Hanson (1996) Mathematical Modelling Skills (College Work Out Series: The College Course Companions)
- [3] R.T. Clemen, Making Hard Decisions, Second Edition, Duxbury Press, Belmont, CA.
- [4] M.G. Morgan y M. Henrion (1990), Uncertainty, Cambridge University Press, Cambridge, UK. (Capítulos 4, 5, 8)
- [5] C.S. ReVelle, E.E. Whitlatch y J.R. Wright (2004), Civil and Environmental Systems Engineering, Second Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NY (Capítulos 1, 2, 4 y 9).

Bibliografía complementaria:

Law, A.M. & Kelton, W.D. (2000), Simulation Modeling and Analysis. Third Edition, McGraw Hill International Series.

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

Vigencia desde:	Otoño, 2021
Elaborado por:	Marcelo Olivares
Validado por:	Revisión académicos par: Alberto de la Fuente, James McPhee CTD Ingeniería Civil y académicos del Departamento.
Revisado por:	Área de Gestión Curricular