



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**



**SÍLABO**

DIRECTIVA N° 003-2017-OCA-UNALM  
 Resolución N° 0512-2017-R-UNALM

**I. INFORMACIÓN GENERAL**

CURSO : Análisis de Sistemas en Recursos Hídricos  
 CÓDIGO : IA8019  
 CRÉDITOS : 3  
 SEMESTRE : 2018-I  
 HORAS : 3 horas/semana  
 DURACIÓN : 16 semanas  
 REQUISITOS : Aprobación del Comité del Programa  
 PROFESOR : Eusebio Ingol Blanco ([ingol1@utexas.edu](mailto:ingol1@utexas.edu))

**II. SUMILLA**

Las técnicas de simulación y optimización son importantes para una eficiente planificación y gestión de los recursos hídricos. Estas permiten evaluar y establecer políticas de operación de los sistemas hidráulicos, así como el análisis de futuros escenarios bajo una demanda y clima cambiante. En este contexto, el presente curso brindará al estudiante conocimientos relacionados a la planificación, diseño, operación de sistemas de recursos hídricos usando modelos matemáticos de optimización y simulación. El estudiante aprenderá a aplicar los conceptos básicos de la ingeniería económica, programación lineal, no lineal, y dinámica, aplicada a diferentes problemas de asignación de agua.

**III. COMPETENCIAS, HABILIDADES O CAPACIDADES A LOGRAR**

Al finalizar el curso el estudiante estará capacitado, mediante el análisis teórico y práctico, en la aplicación del análisis de sistemas para la planificación y operación de los sistemas de recursos hídricos. Los estudiantes aplicaran modelos de simulación, optimización y análisis de decisión multicriterio a problemas en recursos hídricos. El uso de herramientas computacionales permitirá al estudiante evaluar de manera eficiente y efectiva muchas alternativas, promoviendo una mejor toma de decisiones.

**IV. PROGRAMACIÓN DE CONTENIDOS**

<b>SEMANA 1 y 2</b>	<b>UNIDAD 1: EL RECURSO HÍDRICO Y LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS. ANÁLISIS DE COSTOS - BENEFICIOS</b>
Competencia	Conceptualiza la importancia del recurso hídrico, los sistemas hidráulicos y el análisis de costos y beneficios
Conceptual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Panorama del uso y aprovechamiento del agua; aspectos socioeconómicos, políticos y legales; aspectos físicos; manejo del agua; naturaleza de los aprovechamientos Hidráulicos.</li> <li>▪ Alternativas de costos, ecuaciones de interés, método de costo-incremento de beneficio, ejemplos, diagramas de flujos, tasa de descuento, aplicación a los recursos hídricos.</li> </ul>
Procedimental	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exposición del profesor</li> <li>▪ Dinámica de grupos</li> <li>▪ Discusiones sobre los recursos hídricos</li> </ul>
Actitudinal	reconoce la importancia de los sistemas hidráulicos en el análisis de sistemas de recursos hídricos
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Loucks, Ch.1 and Ch.2. Water Resources Planning and Management and Water Resource Systems Modeling: Its Role in Planning and Management</li> <li>▪ Loucks, Ch. 4.1-2. Comparing Time Streams of Economic Benefits and Costs</li> </ul>



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**



<b>SEMANA 3 y 4</b>	<b>UNIDAD 2: UNA INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS Y OPTIMIZACIÓN</b>
Competencia	Reconoce la importancia del análisis de sistemas y de la optimización en recursos hídricos
Conceptual	<ul style="list-style-type: none"><li>Planeación; manejo; estimación de la oferta y demanda; proyectos multipropósito. Análisis de sistemas de recursos hídricos, representación del sistema, herramienta de análisis: optimización y simulación, ejemplos.</li><li>Optimización. Modelo de programación lineal, solución gráfica, método Simplex, soluciones y su interpretación, dualidad, condiciones de optimización y análisis de sensibilidad.</li></ul>
Procedimental	<ul style="list-style-type: none"><li>Exposición del profesor</li><li>Dinámica de grupos</li><li>Discusiones sobre los sistemas hidráulicos y optimización</li></ul>
Actitudinal	Aplica los criterios para el análisis de sistemas hidráulicos y optimización
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"><li>Loucks, Ch.3. Modeling Methods for Evaluating Alternativa</li><li>Loucks, Ch.4. Optimization Methods</li></ul>

<b>SEMANA 5, 6 y 7</b>	<b>UNIDAD 3: PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN E INTRODUCCIÓN A PROGRAMACIÓN NO LINEAL. YIELD Y FIRM YIELD. OPTIMIZACIÓN USANDO GAMS</b>
Competencia	Reconoce los problemas de optimización, la programación lineal y las técnicas de estimación de capacidad de embalses en el análisis de sistemas en recursos hídricos
Conceptual	<ul style="list-style-type: none"><li>Funciones convexas, soluciones globales, tipos de problemas de optimización, restricciones, multiplicadores de Lagrangian, ejemplos, programación no lineal, aplicación a reservorios con producción de energía.</li><li>Regulación y almacenamiento en reservorios, método Ripple, método Sequent Peak, optimización para determinar la capacidad de reservorios.</li><li>Introducción a GAMS, aplicación de GAMS para optimizar la asignación de agua para usuarios, operación de embalses y aguas subterráneas.</li></ul>
Procedimental	<ul style="list-style-type: none"><li>Exposición del profesor</li><li>Dinámica de grupos</li><li>Discusiones sobre optimización y la programación lineal</li></ul>
Actitudinal	Aplica la programación lineal y métodos de estimación de capacidades de embalses
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"><li>Loucks, Ch.4. Optimization Methods</li><li>Loucks, Ch. 4.5.1; Reservoir Storage Capacity–Yield Models. Loucks, Ch. 11.2.2; Lakes and Reservoirs</li><li>GAMS, A User's Guide</li></ul>

<b>SEMANA 8</b>	<b>EXAMEN PARCIAL</b>
-----------------	-----------------------

<b>SEMANA 9 y 10</b>	<b>UNIDAD 4: PROGRAMACIÓN DINÁMICA Y LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ANÁLISIS DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS</b>
Competencia	Reconoce la programación dinámica como un método de optimización en recursos hídricos y en la gestión de la calidad del agua.
Conceptual	<ul style="list-style-type: none"><li>Programación dinámica y ecuaciones recursivas, soluciones: Backward-moving algorithm y Forward-moving algorithm. Aplicación a los recursos hídricos.</li><li>Gestión de la calidad del agua y parámetros básicos, modelos matemáticos y optimización de calidad del agua, aplicación de GAMS.</li></ul>
Procedimental	<ul style="list-style-type: none"><li>Exposición del profesor</li><li>Dinámica de grupos</li><li>Discusiones programación dinámica y calidad de aguas</li></ul>
Actitudinal	Aplica modelos de optimización en recursos hídricos y en la calidad del agua
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"><li>Loucks, Ch.4.4; Dynamic Programming</li><li>Loucks, Ch. 12; Water Quality Modeling and Prediction</li></ul>



SEMANA 11 y 12	UNIDAD 5: SIMULACIÓN Y SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS DE USOS MÚLTIPLES
Competencia	▪
Conceptual	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Modelación de sistemas de recursos hídricos. Introducción al modelo Water Evaluation and Planning Model (WEAP). Configuración de un modelo de gestión de los recursos hídricos. Simulación del abastecimiento y demanda de agua, operación de reservorios y simulación de escenarios.</li><li>▪ Problema multi-objetivo, aplicación, métodos para el análisis multi-objetivo.</li></ul>
Procedimental	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Exposición del profesor</li><li>▪ Dinámica de grupos</li><li>▪ Discusiones sobre simulación de recursos hídricos</li></ul>
Actitudinal	▪
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ WEAP, Tutorial. A collection of stand-alone modules to aid in learning the WEAP software</li><li>▪ Loucks, Ch. 10.5; Multi-Criteria Analyses.</li></ul>

SEMANA 13 y 14	UNIDAD 6: LA ESTADÍSTICA, PROBABILIDADES Y MODELACIÓN ESTOCÁSTICA EN EL ANÁLISIS DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS Y GESTIÓN DE INUNDACIONES
Competencia	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Reconoce la importancia de la teoría de probabilidades y la inferencia estadística en el análisis de sistemas de recursos hídricos</li></ul>
Conceptual	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Análisis de frecuencia hidrológica, funciones de distribución, cuantiles, curva de duración de caudales, procesos estocásticos y series de tiempo, simulación estocástica.</li><li>▪ Extremos eventos y periodos de retorno, distribución del flujo de excedencia, reducción del riesgo de inundaciones, capacidad de almacenamiento del reservorio, capacidad de canal, estimación del riesgo de fallas en diques, análisis de incertidumbre.</li></ul>
Procedimental	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Exposición del profesor</li><li>▪ Dinámica de grupos</li><li>▪ Discusiones sobre la modelación estocástica y gestión de inundaciones</li></ul>
Actitudinal	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aplica técnicas estadísticas y modelación estocástica a sistemas de recursos hídricos</li></ul>
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Loucks et. al. Cap. 7; Concepts in Probability, Statistics and Stochastic Modelli3</li><li>▪ Loucks et. al. Cap. 11.3.5; Flood Risk Reduction and App. D; Flood Management</li></ul>

SEMANA 15 y 16	EXAMEN FINAL Y EXPOSICIÓN DE TRABAJO FINAL
----------------	--

## V. METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE

Las clases serán de forma activa promoviendo el aprendizaje y pensamiento crítico de los estudiantes, para tal efecto, adicionalmente a las lecturas previas, se proporcionará material de investigación, se formarán grupos de discusión para algunos temas. Se promoverá en los estudiantes tres aspectos comunes para facilitar el pensamiento y aprendizaje de un problema: la identificación del problema, sus componentes y métodos de solución. Se ejecuta un proyecto de investigación individual que debe ser redactado en forma rigurosa y sustentado en el salón de clase.

Durante el semestre cada estudiante trabajara sobre un proyecto relacionado al análisis de sistemas de recursos hídricos. Los proyectos se ocuparán de aspectos reales de la planificación y el análisis de sistemas de agua a nivel mundial, nacional y regional. Generalmente los proyectos son interdisciplinarios que incluyen aspectos de la planificación y gestión de recursos hídricos: hidrología, climatología, hidrogeología, economía, gestión del agua, modelos informáticos, el crecimiento de la población y la demanda de agua, etc. Cada estudiante, hará una presentación oral de sus resultados en clase y publicará un informe final en la World Wide Web.

Los objetivos del proyecto final son:



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**



- Explorar en profundidad un aspecto relacionado al análisis de sistemas de recursos hídricos.
- Proporcionar experiencia en la formulación, ejecución, y presentación de un estudio de ingeniería en el ámbito de la gestión y planificación de los recursos hídricos.
- Producir un proyecto que esté disponible en el World Wide Web.

Proyectos finales serán presentados en clase, con un máximo de 20 minutos y 15-20 diapositivas en powerpoint. La presentación debe contener: una introducción, formulación del problema, su importancia, teoría y método usado para resolver el problema, resultados, y conclusiones. El estudiante deberá demostrar que aprendió del proyecto, que tan efectivo es el mismo, y que debería hacerse para completar o mejorar el proyecto.

El reporte del proyecto final debe contener lo siguiente: tabla de contenidos, introducción, formulación del problema, objetivos, metodología (si es modelación incluir configuración del modelo, condiciones de frontera, aplicación del modelo), resultados y discusión, conclusiones, referencias, apéndices: códigos de computo, tablas, etc.

El proyecto será evaluado sobre la base de la originalidad, introducción, método y resultados obtenidos, calidad de la presentación y reporte.

## VI. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se aplicará el sistema de normas establecidas en el Reglamento de Evaluación Académica de la Universidad. Para aprobar se requiere el 70% de asistencia a clases. La nota mínima aprobatoria es de 14, considerando el medio punto a favor del alumno.

Competencias	Metodología	Ponderación	Criterios de evaluación
Conceptuales	Examen parcial y examen final	50%	Evaluación teórica - práctica
Procedimentales	Trabajos encargados	40%	Exposición oral y escrita
Actitudinales	Valoración de actitud y participación	10%	Puntualidad, responsabilidad, actitud y participación
Total		100%	

## VII. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- El estudiante deberá respetar el Claustro Universitario, observando un comportamiento digno acorde con la institución universitaria, bajo lineamientos de respeto, solidaridad, libertad y dignidad.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**



- El estudiante deberá respetar el horario de clases, para lo cual se han establecido los siguientes parámetros de asistencia: Tolerancia de 15 minutos como máximo para su ingreso al aula. Pasados los 15 minutos el ingreso a clases será con permiso del docente.
- La acumulación de 30% de inasistencias totales en cada clase imposibilita al estudiante de ser evaluado en el Examen Final, correspondiéndole un calificativo de CERO.
- El profesor del curso firmará una bitácora de asistencia a clases y consignará el tema desarrollado.

### **VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Esogbue, A.O. 1989. Dynamic Programming for Optimal Water Resources Systems Analysis. Prentice Hall Advanced Reference Series : Engineering, USA.
2. Mays, L.W and Yeou-Koung Tung. 2001. "Hydrosystems Engineering and Management". Mcgraw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, USA.
3. McKinney, D.C. CE385D-WRPM Course Materials. Department of Environmental and Civil Engineering. The University of Texas at Austin, USA.
4. Nandalal, K. D. W. and Bogardi, J.J. 2007. Dynamic Programming Based Operation of Reservoirs: Applicability and Limits, International Hydrology Series.
5. Louks, D.P and Van Bee, E. 2005. "Water Resources Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications". UNESCO.
6. PALACIOS, V. E. and Exebio, G.A. 1981. Introducción a la teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México.
7. Rosenthal, R.E. 2012. GAMS, A User's Guide. GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA.
8. WEAP. 2009. Water Evaluation and Planning System. Stockholm Environment Institute (SEI), USA.