



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Rosario

Rosario, 7 de noviembre de 2017

VISTO el Expediente ID N° 8085276, relacionado con el programa analítico de la asignatura electiva *Aplicación de Programación Matemática para el Diseño y Optimización de Procesos y Sistemas*, de la carrera Ingeniería Química, y

CONSIDERANDO

Que los objetivos y contenidos del mismo se ajustan a la reglamentación vigente.

Que dicho programa cuenta con el aval del respectivo Consejo Departamental.

Que la Comisión de Enseñanza evaluó la presentación y aconsejó su aprobación.

Por ello y atento a las atribuciones otorgadas por el artículo 85° del Estatuto Universitario.

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD REGIONAL ROSARIO
DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

RESUELVE:

ARTÍCULO 1°.- Aprobar el programa analítico de la asignatura electiva *Aplicación de Programación Matemática para el Diseño y Optimización de Procesos y Sistemas*, que se agrega como Anexo I de la presente resolución, de la carrera Ingeniería Química, a partir del Ciclo Lectivo 2018.

ARTÍCULO 2°.- Establecer que la misma tendrá validez durante cuatro ciclos lectivos consecutivos, según la Ordenanza N° 1383 – Lineamientos para la implementación de asignaturas electivas para las carreras de grado en el ámbito de la Universidad.

ARTÍCULO 3°.- Regístrese. Comuníquese. Cumplido, archívese.

RESOLUCIÓN N° 711/2017

UTN
FAC. REG. ROS

Ing. Rubén F. CICCARELLI
Decano

Dra. Sonia J. BENZ
Secretaría Académica

**I. DATOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD CURRICULAR**

ASIGNATURA			
APLICACIÓN DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS Y SISTEMAS			
NOMBRE REDUCIDO DE LA ASIGNATURA			
OPTIMIZACIÓN MEDIANTE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA			
CARRERA	DEPARTAMENTO	PLAN DE ESTUDIOS	CARÁCTER
Ingeniería Química	Ingeniería Química	2004	Electiva
BLOQUE		ÁREA DE CONOCIMIENTO	
Tecnologías aplicadas		Informática aplicada a la ingeniería	
CARGA HORARIA ANUAL (hs cátedra)		RÉGIMEN DE DICTADO	
128		Anual	
CORRELATIVIDADES			
	Aprobadas	Regulares	
Para cursar:	Haga clic aquí para escribir texto.	Termodinámica, Operaciones Unitarias I, Operaciones Unitarias II, Tecnología de la Energía Térmica.	
Para rendir:	Haga clic aquí para escribir texto.	Haga clic aquí para escribir texto.	

II. FUNDAMENTACIÓN DE LA MATERIA DENTRO DEL PLAN DE ESTUDIOS

De la propia experiencia académica y profesional se puede advertir que el estudiante avanzado de ingeniería tiene una idea intuitiva vaga del concepto de optimización en ingeniería. El estudiante asocia "optimización" con "hacer algo más eficiente" pero no sabe cómo hacerlo, y mucho menos, qué herramientas o técnicas dispone para ello.

Dentro de este contexto, el dictado de esta asignatura se fundamenta en la necesidad de enseñar al estudiante la optimización de procesos y sistemas desde la perspectiva de la formulación, implementación y resolución de modelos matemáticos de equipos, operaciones y procesos unitarios, en base a la técnica de programación matemática, aprovechando que en las asignaturas matemáticas previas se estudian muchos de los fundamentos teóricos que se requieren para un tratamiento formal del tema.

III. ARTICULACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL CON OTRAS MATERIAS

La asignatura forma parte del área de conocimiento "Informática Aplicada a la Ingeniería", la cual, junto al resto de las materias que componen el área, tiene por objeto lograr una orientación en la carrera del ingeniero químico enfatizando la utilización de herramientas y métodos

* RESOLUCION N° 7 11 ANEXO N° 1

informáticos en la ingeniería de procesos y las ventajas y limitaciones de los mismos en el ejercicio integral de su profesión.

Durante el desarrollo de la asignatura se deberá establecer una relación vertical y horizontal con las asignaturas específicas de la carrera, fundamentalmente las relacionadas a ecuaciones de balance de materia, energía y cantidad de movimiento, las operaciones unitarias, la termodinámica, la físico-química y la economía aplicada a procesos.

IV. OBJETIVOS

Objetivos generales:

- ✓ Introducir al estudiante de ingeniería a la optimización de procesos y sistemas basada en modelos fenomenológicos determinísticos usando técnicas de programación matemática.
- ✓ Lograr que el estudiante desarrolle habilidad para formular problemas de optimización y se familiarice con las herramientas informáticas específicas (software) para la implementación y solución de modelos de optimización clásicos de la programación matemática (por ej. problema del transporte) y casos de estudio típicos de la ingeniería química.
- ✓ Aplicar aspectos conceptuales y prácticos previamente adquiridos por el estudiante para la derivación de modelos y problemas de optimización con nivel de detalle creciente (modelos agregados, simplificados, rigurosos).
- ✓ Abarcar temas complementarios a los desarrollados en otras asignaturas de la carrera, especialmente Integración IV y V y las correspondientes a la orientación Informática Aplicada a la Ingeniería.

Objetivos específicos:

- ✓ Distinguir entre un modelo de simulación y un modelo de optimización.
- ✓ Formular matemáticamente un problema de optimización algebraica a partir de un enunciado dado. Identificar los elementos básicos de un problema de optimización.
- ✓ Distinguir el tipo de soluciones que se pueden obtener al resolver un problema de optimización lineal, no lineal, mixto entero lineal y mixto entero no lineal, aplicando programación matemática.
- ✓ Implementar y resolver un caso de estudio simple de optimización (en términos del número de variables) en el software de modelado y optimización de propósito general GAMS (General Algebraic Modelling System).
- ✓ Distinguir conceptualmente entre un algoritmo de búsqueda local y de búsqueda global.
- ✓ Conocer los fundamentos básicos de la programación matemática para resolver problemas de optimización de tipo lineal y no lineal, mixto entero lineal y no lineal.



- ✓ Saber formular, implementar, resolver y analizar las soluciones de un modelo de optimización de un caso de estudio típico de ingeniería química (síntesis de procesos, dimensionamiento de unidades de procesos (de separación, de reacción, químicos, petroquímicos, biotecnológicos, etc.) considerando funciones objetivo energéticas, económicas o ambientales, de acuerdo a la naturaleza del caso de estudio examinado.
- ✓ Mostrar destreza (como usuario principiante) en el dominio del software GAMS.

V. CONTENIDOS

Unidad 1: Aspectos teóricos de optimización lineal y no-lineal. Conjuntos convexos y funciones convexas. Propiedades básicas de las funciones convexas.

Unidad 2: Programación matemática lineal LP. Optimización lineal con restricciones de desigualdad. Introducción y formulación del problema. Teoremas básicos de la programación lineal. Generación de soluciones. Método del simplex: formas geométrica y algebraica. Técnica de las variables artificiales: métodos de las penalizaciones y método de las dos fases. Forma revisada del método simplex. Implementación y solución de modelos en GAMS.

Unidad 3: Programación matemática no lineal NLP. Problemas con restricciones de igualdad. Introducción y formulación del problema. Condiciones de existencia de extremos. Multiplicadores de Lagrange. Problemas con restricciones de igualdad y desigualdad. Introducción y formulación del problema. Condiciones de Kuhn-Tucker. Algoritmos de optimización: Búsqueda en la línea por ajuste de curvas. Método del gradiente conjugado. Métodos tipo cuasi-Newton. Métodos de penalización. Métodos de multiplicadores de Lagrange. Método del gradiente reducido. Método de proyección del gradiente. Implementación y solución de modelos en GAMS.

Unidad 4: Programación matemática mixta entera lineal MILP. Introducción y formulación del problema. Metodología de solución. Implementación y solución de modelos en GAMS.

Unidad 5: Programación matemática mixta entera no lineal MINLP. Introducción y formulación del problema. Metodología de solución. Implementación y solución de modelos en GAMS.

Unidad 6: Aplicaciones clásicas y en ingeniería. Programación lineal LP: Transporte. Planificación de producción. Dieta. Flujo en red. Suministro económico de centrales termogeneradoras.

Unidad 7: Programación mixta entera lineal MILP: Localización de plantas productoras. Programación de centrales térmicas generadoras de electricidad.

Unidad 8: Programación no lineal NLP: Diseño óptimo de plantas batch. Optimización de la operación de sistemas de tratamiento de efluentes. Diseño y operación óptimos de sistemas de evaporadores. Acoplamiento óptimo de ciclo combinado de calor y potencia a sistema de evaporadores.



Unidad 9: Programación mixta entera no lineal MINLP: Síntesis óptima y optimización de la operación de sistemas para reducción de las emisiones. Caso de estudio: Planta de tratamiento de efluentes para eliminación de nitrógeno por barros activados / Síntesis, diseño y optimización de la operación de sistemas duales para la generación de calor y potencia. Caso de estudio: Sistemas para desalinización de agua de mar por sistema doble propósito incluyendo turbinas de gas.

VI. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES TEÓRICAS Y PRÁCTICAS

Los docentes introducen los principales fundamentos y metodologías desde el punto de vista formal mediante presentaciones orales utilizando recursos multimedia. Con anterioridad al día de la clase, los docentes ponen a disposición de los alumnos el documento con la presentación oral y la bibliografía consultada para la misma. Previo al comienzo de cada clase, se realiza un repaso de los contenidos introducidos en la clase anterior. Para cada tema abordado, se desarrollan clases prácticas, en las que el alumno resuelve guías de ejercicios específicos con el seguimiento presencial de los docentes. En el segundo cuatrimestre, las clases prácticas están destinadas a la realización actividades grupales (de 2 o 3 alumnos) integradoras en las que paulatinamente formulan, implementan y resuelven un problema de optimización de un caso de estudio de bibliografía, sugerido por el docente o propuesto por los alumnos con la aceptación del docente.

VII. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA

En la primera clase se presentan los objetivos y alcances de la asignatura, y se ilustra el tipo de desafíos que se pretenden abordar. Para su ejemplificación, se enuncia un problema clásico de ingeniería química y se pone en evidencia la necesidad de su optimización; por ejemplo, optimizar un sistema reaccionante catalítico multi-componente. Se introduce la noción de modelo matemático fenomenológico (simplificado y riguroso) determinístico del sistema, con las correspondientes ecuaciones de balance de masa, energía y cantidad de movimiento, la presencia de restricciones operativas, de materiales y de diseño, y la identificación de la métrica a optimizar. De este modo se introduce de manera natural el concepto de variables de decisión, restricciones de igualdad y de desigualdad, y función objetivo de un problema de optimización de objetivo único o simple. Se explica que esta metodología se puede extender hasta la síntesis óptima de procesos (obtener el flow sheet del proceso con criterio de óptimo), generando modelos de diferente naturaleza matemática según el tipo de variables involucradas (continuas/discretas).



Según se explicó previamente, los fundamentos y aspectos teóricos de los contenidos de la asignatura se introducen mediante una exposición oral del docente, basada en un caso de aplicación (referencia) sobre el que se extienden o establecen generalizaciones. (Se aclara al estudiante que no se trata de una clase de Matemática sino que se enseñan los conceptos necesarios para formular, resolver y analizar las soluciones de un problema de optimización - lineal o no lineal- en base a la técnica de programación matemática). Previo al comienzo de cada clase, se realiza un repaso de los contenidos introducidos en la clase anterior.

Para cada tema abordado, se destinan una o más clases prácticas (según corresponda) para la realización de guías de trabajos prácticos. En ellas, primero se formula (modela) el problema de optimización tratado, y posteriormente se implementa y resuelve en el entorno de modelado y optimización GAMS en el gabinete de Informática, con el seguimiento presencial de los docentes. Se discute en clase las ventajas y desventajas comparativas de las estrategias seguidas por diferentes alumnos para modelar un mismo problema de optimización y las soluciones obtenidas según el escenario definido en cada caso. Se adopta la misma metodología de trabajo y seguimiento para las clases prácticas destinadas a la realización de las actividades integradoras (ver ítem anterior).

VIII. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Apróbación directa:

El estudiante deberá elaborar un informe técnico escrito y exponer oralmente los resultados de un trabajo que desarrollará durante el segundo cuatrimestre. El trabajo consistirá en la formulación, implementación, resolución -aplicando las técnicas enseñadas- y el análisis de sensibilidad de las soluciones de un modelo de optimización de un caso de estudio típico de ingeniería química o de procesos, optimizando funciones objetivo energéticas, económicas o ambientales. El caso de estudio será proporcionado por los docentes de la asignatura o a propuesta del alumno con la aceptación del cuerpo docente. En la evaluación del trabajo para optar para la aprobación directa se tendrá en cuenta la metodología seguida, aspectos de la implementación y resolución del modelo, organización y presentación de los resultados, uso apropiado del lenguaje técnico específico y la solvencia de la presentación oral.

Se prevé la presentación final del trabajo para optar por la aprobación directa la última clase del año lectivo. En caso de ser necesaria una fecha de recuperación, será la semana siguiente, en el mismo día de la semana y horario.

#Aprobación no directa:

- ✓ Se evaluará el desempeño del estudiante durante la clase y se realizará un cuestionario escrito.



- ✓ Examen final: se tomará un examen final de los contenidos proporcionados durante el año lectivo.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Biegler L., I. Grossmann, A. Westerberg. Systematic methods of chemical process design. 1997. ISBN: 0134924223.

Taha H. A. Investigación de operaciones. Editor Pearson Educación, 2004. ISBN: 9702604982, 9789702604983.

Winston W.L. Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos. Editor Thomson, 2005. ISBN: 9706863621, 9789706863621.

Brooke A, Kendrick D, Meeraus A. GAMS-A user's guide, release 2.25. The Scientific Press: South San Francisco, CA., 1992

Drud A.S. CONOPT: A system for large scale non-linear optimization, reference manual for CONOPT subroutine library. ARKI Consulting and Development A/S: Bagsvaerd, Denmark, 1996.

Mazzei M. S., Mussati M., Mussati S. NLP model-based optimal design of LiBr-H₂O absorption refrigeration systems. International Journal of Refrigeration, 38, 2014, Pages 58-70.

Mannasaldi J.I., Scenna N., Mussati S. Optimization mathematical model for the detailed design of air cooled heat exchangers. Energy, 64, 2014, Pages 734-746.

Druetta P., Aguirre P. Mussati S. Optimization of Multi-Effect Evaporation desalination plants. (2013). Desalination Journal, 311, Pages 1-15. ISSN: 0011-9164.

Mores P., Scenna, N., Mussati S. CO₂ capture in power plants: Minimization of the investment and operating cost of the post-combustion process using MEA aqueous solution. (2012). International Journal of Greenhouse Gas Control, 10, 148-163. ISSN: 1750-5836.

Mannasaldi J.I., Mussati S., Scenna N. Optimal Synthesis and Design of Heat Recovery Steam Generation (HRSG) via Mathematical Programming. (2011). Energy Journal. Vol. 36, pp. 475-485. ISSN: 0360-5442.

Oliva D., Francesconi J., Mussati, M., Aguirre P. Modeling, synthesis and optimization of heat exchanger networks. Application to fuel processing systems for PEM fuel cells. (2011). International Journal of Hydrogen Energy, 36 (15) 2011, Pages 9098-9114. ISSN: 0360-3199.

Alasino N., Mussati M., Scenna N., Aguirre P. Wastewater treatment plant synthesis and design: Combined biological nitrogen and phosphorus removal. (2010). Industrial & Engineering Chemistry Research, 49 (18), Pages 8601-8612. ISSN: 0888-5885.

Mussati S., Manassaldi J.I., Benz S., Scenna N. Mixed Integer Nonlinear Programming model for the optimal design of fired heaters. (2009). Applied Thermal Engineering, 29 (11-12), Pages 2194-2204. ISSN: 1359-4311.

Mussati M., P. Aguirre, J. Espinosa and O. Iribarren. Optimal design of azeotropic batch distillation. (2006) AIChE Journal, 52 (3), Pages 968-985. ISSN: 0001-1541.

Mussati S., P. Aguirre, N. Scenna. A rigorous, mixed-integer, non-linear programming model (MINLP) for synthesis and optimal operation of cogeneration seawater desalination plants. Desalination Journal; 2004; 166; Pages 339-345

Mussati S., P. Aguirre, N. Scenna. Novel configuration for a multistage flash-mixer desalination system; Ind. Eng. Chem. Res.; 2003; 42(20); Pages 4828-4839.



Mussati, S.F. Síntesis y Diseño de Sistemas de Desalinización de Agua de Mar por Sistema Doble Propósito Incluyendo Turbinas de Gas; (2003) Tesis de Doctorado en Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral; Santa Fe.

Página de General Algebraic Modeling System (GAMS) <http://www.gams.com/>.