

---

**DOCTORADO EN INGENIERIA mención INDUSTRIAL**

---

**1. Nombre:** Optimización de Procesos Industriales. Desarrollo y Aplicaciones

**2. Docentes:** Dra. LAORETANI Daniela (responsable), Dr. VARGAS Rafael, Dr. FIGUEROA Danilo

**3. Duración:** 60 horas

**4. Fundamentos**

El diseño conceptual de procesos, además de ser complejo, es una de las tareas más importantes del desarrollo de procesos industriales. Este nivel de diseño comprende la determinación general del diagrama de flujo, la selección, combinación e interconexión de diferentes operaciones hasta la estimación preliminar de los costos de inversión y operación de los equipos involucrados en el proceso (Skiborowski et al., 2007). Existe una interrelación entre las etapas de síntesis (diseño) y análisis (simulación) de procesos que puede auxiliarse mediante técnicas de optimización con el objetivo de encontrar la mejor alternativa acorde con el criterio de evaluación elegido (Jiménez, 2003, Seider et al 2004, Scenna 1999).

Los objetivos perseguidos con la optimización de un proceso industrial tradicionalmente hacen énfasis en dos puntos clave: maximizar el beneficio económico o minimizar los costos de producción garantizando la calidad del producto. En los tiempos que corren, las reglamentaciones vigentes, la carga impositiva y las exigencias del mercado consumidor son factores fuertes a satisfacer por las industrias de procesos (Laoretani e Iribarren 2017, Fischer e Iribarren 2017, Figueroa Paredes et al 2017, Munoz López et al 2018). Adicional al beneficio económico, en la actualidad se han incorporado criterios ambientales, de eficiencia energética e impacto social, entre otros, para evaluar la factibilidad de implementación de los procesos bajo estudio (Haslenda y Jamaludin 2011, Mele et al 2011, Laoretani e Iribarren 2014). Para contemplar los objetivos, factores y criterios señalados en la tarea de optimización de procesos, se requiere conocer en detalles el proceso productivo bajo análisis (puntos críticos, cuellos de botellas, tiempos ociosos, alternativas de insumos, demanda de operarios, etc) y habilidad para representar el proceso en forma adecuada a través de un modelo matemático de optimización.

**5. Justificación**

Dada la competitividad que actualmente caracteriza el área industrial, muchas empresas recurren a diario a herramientas de software de modelado, simulación y optimización, para

---

**DOCTORADO EN INGENIERIA mención INDUSTRIAL**

---

obtener ventajas competitivas que les permita adaptarse mejor a la dinámica del contexto económico y del mercado. Es por ello que, un adecuado conocimiento sobre modelado y operación de este tipo de software significa una competencia distintiva para el ingeniero industrial.

Dado que existe una gran variedad de software para modelado, simulación y optimización, entre los que se destacan MATLAB, ASPEN y GAMS por su versatilidad, desarrollo maduro y amplia comunidad de usuarios, es importante que el ingeniero adquiera los conocimientos de modelado, simulación y optimización de proceso necesarios para poder seleccionar el software adecuado para cada caso y utilizarlo en forma eficiente.

## **6. Objetivos**

El objetivo general del curso es brindar al alumno los conocimientos y las herramientas necesarias para abordar problemáticas de procesos industriales y/o desarrollar nuevos procesos, representarlos a través de modelos matemáticos e implementarlos a través de software adecuados con el propósito de procesarlos para generar una solución óptima.

Se pretende que el alumno logre:

- Habilidad para representar procesos industriales a través del modelado matemático.
- Conocimiento de diferentes software para la implementación de modelos matemáticos que representen diferentes problemáticas de los procesos industriales.
- Solución a problemáticas industriales a través de la optimización de variables de procesos.

## **7. Contenidos**

### **Unidad 1: Etapas de diseño de los procesos**

Introducción de las etapas intervinientes en el diseño y optimización de procesos. Importancia de cada etapa en el diseño y su alcance en el planteamiento del problema. Decisiones heurísticas que generalmente acompañan la primera etapa de diseño. Análisis del “flowsheet” en sus alternativas posibles. Herramientas de optimización para mejorar el proceso, con foco en el “trade off” económico asociado con las variables de diseño.

### **Unidad 2: Modelado de los procesos**

Análisis y diseño de procesos. Dependencia entre las variables involucradas. Modelado matemático del sistema. Clasificación de los modelos matemáticos. Modelos teóricos y

---

**DOCTORADO EN INGENIERIA mención INDUSTRIAL**

---

empíricos, lineales y no lineales, determinísticos y estocásticos, de parámetros concentrados y de parámetros distribuidos.

**Unidad 3: Ajuste de parámetros de los modelos**

Desarrollo de las metodologías que permiten determinar los valores de los parámetros que definen los modelos matemáticos formulados para representar un proceso industrial. Determinación de los intervalos de confianza de los parámetros. Utilización de Bootstrapping para determinación de distribuciones de probabilidad de los parámetros.

**Unidad 4: Verificación y validación de los modelos**

Conceptos básicos de verificación y validación de modelos matemáticos. Métodos para la validación de modelos con más de una variable de salida. Utilización de Bootstrapping para estimación de errores en las variables de salida. Análisis de sensibilidad respecto de los parámetros.

**Unidad 5: Estrategias de resolución eficiente de los modelos**

Conceptos de eficiencia computacional, simplificación de modelos y pre-tratamiento. Análisis de diferentes formulaciones de un mismo modelo matemático para que los software utilizados en tal caso puedan resolverlos con menor costo computacional. Linealización de modelos no lineales.

**Unidad 6: Conocimiento e integración de software de simulación y optimización**

Estudio y utilización de los software de optimización y simulación de procesos (GAMS, Matlab y Aspen plus). Potencialidades de cada uno para la resolución de problemas. Desarrollo de modelos que integran software de simulación y de optimización para automatizar la resolución eficiente de problemas en procesos industriales.

**Unidad 7: Aplicación de simulación y optimización en procesos industriales**

Desarrollo de procesos, simulación y optimización de los mismos. Presentación de problemáticas industriales. Resolución de problemas presentados en la industria con diferentes planteo de objetivos.

**8. Metodología de Trabajo**

El curso se desarrollará en 17 clases de carácter teórico-prácticas, cada una de ellas de 3 horas. 2 clases con la misma carga horaria se reservarán para exposición de trabajos integrador y 1 clase de igual carga horaria para examen final teórico-práctico.

---

**DOCTORADO EN INGENIERIA mención INDUSTRIAL**

---

Cada clase abordará una temática del contenido del curso, se comenzará presentando conceptos básicos, análisis de problemas, situaciones de aplicación práctica y se finalizará con un debate sobre el tema tratado. Se destinará parte de la carga horaria por clase a realizar trabajos prácticos. Se estimulará el trabajo en grupo, tanto en clase como fuera de ella permitiendo que el alumno se:

- Familiarice con los software utilizados (GAMS, Aspen Plus y Matlab)

Identifique, analice y resuelva problemas presentes en la industria de procesos como así también desarrolle su capacidad de identificar posibles puntos de optimización en procesos industriales de interés personal.

Los ejemplos y casos de estudios a trabajar serán problemas manifestados por la industria como así también extraídos de publicaciones.

**9. Requisitos y procedimientos de evaluación**

El curso será evaluado considerando la participación del alumno en clases, la resolución de los trabajos prácticos, exposición y participación en los debates que se desprendan de ellos. También se considerará un trabajo final integrador que consistirá en la resolución de un problema de optimización de un procesos industrial (propuesto por el profesor o por el alumno). El alumno deberá modelar la situación problemática asignada según el objetivo que se plantea utilizando un software adecuado para tal fin. Se valorará la integridad de los contenidos brindados anteriormente en el curso para lograr llegar al objetivo propuesto, como así también el análisis de resultados y la presentación de estos últimos. El trabajo final es individual o de grupo de 2 alumnos máximo, será entregado para su evaluación, y posteriormente defendido en una exposición oral pública de no más de 20-30 minutos. Por último, se tomara un examen individual teórico-práctico de los contenidos del curso.

Para la aprobación del curso, los alumnos deberán obtener una ponderación mínima del 60% en cada instancia de evaluación.

DOCTORADO EN INGENIERIA mención INDUSTRIAL

10. Cronograma de Actividades

Unidad Temática	Tiempo Estimado [hs]		
	Teoría	Práctica	Total
1 y 2. Etapas de diseño y modelado de los procesos	6	-	6
3 y 4. Ajuste de parámetros, verificación y validación de modelos	3	6	9
5. Estrategias de resolución eficiente de los modelos	3	6	9
6. Conocimiento e integración de software de simulación y optimización	7	11	18
7. Aplicación de simulación y optimización en procesos industriales	-	9	9
Defensa del trabajo integrador	-	6	6
Examen final	1	2	3
<b>Total [hs]:</b>	20	40	60

\* Puede variar en función del número de alumnos

11. Infraestructura y equipamiento

Para el dictado del curso se utilizará:

1. Campus virtual donde estará disponible el material bibliográfico del curso.
2. Las clases teóricas-prácticas se desarrollarán en un aula con capacidad para 20 estudiantes, equipo de proyección y acceso a internet mediante conexión WiFi. En los trabajos prácticos se utilizarán diferentes software de optimización y simulación para la implementación de los modelos.

12. Bibliografía

- Douglas, J. M. 1985. A Hierarchical Decision Procedure for Process Synthesis. AIChE J. 31 (3), 353–361.
- Douglas, J.M., 1988. Conceptual Design of Chemical Processes. McGraw Hill, New York.
- El-Halwagi, M.M., 2006. Process Integration. Series Process Systems Engineering, Academic Press, Elsevier, San Diego, CA, U.S.A.
- Figueroa Paredes D. A., Laoretani D. S., Zelin J., Vargas R., Vecchietti A. R., Espinosa J. 2017. Screening of pervaporation membranes for the separation of methanolmethyl acetate

---

**DOCTORADO EN INGENIERIA mención INDUSTRIAL**

---

- mixtures: An approach based on the conceptual design of the pervaporation-distillation hybrid process. *Separation and Purification Technology*. 189, 296–309.
- Fischer C. e Iribarren O. 2017. Oxygen integration of autothermal reforming of ethanol with oxygen production, through ion transport membranes in countercurrent configuration. *Computers and Chemical Engineering*. 99, 245-254.
- Floudas, C. A. 2000. *Deterministic Global Optimization: Theory, Methods and Applications*.
- Haslenda H. and Jamaludin M. Z. 2011. Industry to Industry By-products Exchange Network towards zero waste in palm oil refining processes. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 713–718.
- Himmelblau D. M., Bischoff K. B., 1976. *Análisis y Simulación de Procesos*. Reverté, España.
- Jimenez Gutierrez A. 2003. *Diseño de Procesos en Ingeniería Química*. España. Reverte S.A
- Kallrath, Josef. 2012. Algebraic Modeling Systems: Modeling and Solving Real World Optimization Problems. 104. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-23592-4>.
- Laoretani D., Iribarren O., 2017. Enhancing the productivity of batch deodorizer for edible oils. *Journal of Food Engineering*. 192, 72-78.
- Laoretani D., Fischer C., Iribarren O., 2017. Selection among alternative processes for the disposal of Soapstock. *Food and Bioproducts Processing*. 101, 177-183.
- Mele F. D., Kostin A. M., Guillen-Gosalbez G., Jimenez L. 2011. Multiobjective Model for more sustainable Fuel Supply Chains. A Case Study of the Sugar Cane Industry in Argentina. *Ind. Eng. Chem. Res*, 50, 4939.
- Munoz López C. A., Telen D., Nimmegeers P., Cbianca L., Logist F., Van Impe J. 2018. A process simulator interface for multiobjective optimization of chemical processes. *Computers and Chemical Engineering*. 109, 119–137.
- Schwaab M, Pinto J. C., 2007. *Análise de Dados Experimentais 1 – Fundamentos de Estatística e Estimacão de Parâmetros*. E-papers, Rio de Janeiro.
- Scenna N. J. 1999. *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químico*.
- Seider W. D., Seader D. R. y Lewin D. R. 2004. *Product and process desing principles: Synthesis, Analysis and Evaluation (2<sup>nd</sup> interm)* John Wiley & Sons, New York.