

## Desarrollo de herramientas para la operabilidad de procesos productivos

Enrique E. Tarifa; Sergio L. Martínez; Samuel Franco Domínguez; Susana A. Chalabe; Álvaro F. Núñez

Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Jujuy / CONICET  
Ítalo Palanca N°10 / S. S. de Jujuy / Provincia de Jujuy / Tel. 0388-4221591  
[etarifa@fi.unju.edu.ar](mailto:etarifa@fi.unju.edu.ar); [smartinez@fi.unju.edu.ar](mailto:smartinez@fi.unju.edu.ar); [sfrancodominguez@gmail.com](mailto:sfrancodominguez@gmail.com);  
[susana.chalabe@gmail.com](mailto:susana.chalabe@gmail.com); [alfanunez@yahoo.com.ar](mailto:alfanunez@yahoo.com.ar)

### Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo general desarrollar herramientas para la operabilidad de procesos productivos. Para ello se desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Ingeniería de Procesos. Los objetivos particulares del proyecto propuesto son los siguientes: 1) Desarrollar métodos para determinar y aumentar la flexibilidad de los procesos productivos; 2) Desarrollar sistemas de control avanzados para aumentar la controlabilidad y robustez de los sistemas productivos —en especial, se emplearán técnicas de Inteligencia Artificial—; 3) Desarrollar sistemas de diagnóstico de fallas para aumentar la operabilidad de los procesos productivos; 4) Desarrollar material para la enseñanza de Ingeniería Química (simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones y apuntes). Los procesos a estudiar serán procesos productivos vinculados a la industria química, a la industria de alimentos y a todo proceso productivo de la región que pueda beneficiarse con las herramientas a desarrollar.

**Palabras clave:** Operabilidad, Flexibilidad, Controlabilidad, Confiabilidad, Robustez.

### Contexto

El proyecto en cuestión se desarrolla en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu), con la dirección del Dr. Enrique Tarifa (investigador de CONICET) y la codirección del Mg. Ing. Sergio Martínez.

Las actividades de investigación son desarrolladas por el grupo de investigación *IngProAr* en la sede del Instituto de Tecnología Minera e Industrial (InTeMI) de la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Este grupo de investigación tiene carácter multidisciplinario, ya que cuenta con miembros provenientes de las siguientes cátedras: Simulación y Optimización, Ingeniería de Procesos, Introducción a la Informática, e Inteligencia Artificial.

El financiamiento del proyecto es provisto por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (SeCTER) de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). El proyecto pertenece a la categoría A, y está inserto en el Programa de Incentivos dependiente de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de la Nación con el código 08/D138, desde 2014.

Por otra parte, este proyecto forma parte del Programa de Investigación “Desarrollo de Sistemas de Soporte a la Toma

de Decisiones” que también es dirigido por el Dr. Enrique Tarifa y codirigido por el Mg. Ing. Sergio Martínez. Los proyectos que pertenecen a este programa también tiene como lugar de trabajo la Facultad de Ingeniería de la UNJu.

## Introducción

El presente proyecto es continuación del proyecto “Desarrollo de sistemas de apoyo para la toma de decisiones en procesos industriales”, que fue financiado por SeCTER (Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales) y la Facultad de Ingeniería de la UNJu, y reconocido por el Programa de Incentivos con el código 05/D106. Durante el desarrollo de dicho proyecto fue necesario avanzar sobre temas que son propios de la operabilidad de los procesos. Es así que se desarrollaron trabajos de diagnóstico de fallas [1, 2], control inteligente [3, 4], flexibilidad [5], simulación y optimización de procesos industriales [6, 7]. Los resultados logrados en estas áreas fueron publicados en congresos y revistas internacionales [1-7]. Durante esta investigación, se determinó que los citados temas tienen gran importancia tanto en el ámbito académico como en el industrial; por tal motivo, el presente proyecto está orientado a profundizar la investigación de esos temas. Es decir, el proyecto propuesto continúa con la línea de investigación hasta aquí realizada, y se enfoca en el área de operabilidad. Es también objetivo del presente proyecto, producir material para la enseñanza de la Ingeniería Química. Estos materiales serán libros, simuladores, publicaciones, elementos multimedia y todo lo que se considere de utilidad para esta tarea.

La operabilidad de un proceso productivo comprende las siguientes propieda-

des del mismo: flexibilidad, controlabilidad, confiabilidad y robustez.

Debido a que cada una de las propiedades enunciadas es importante por sí misma, existen trabajos que se centran en cada una de ellas. Los estudios de flexibilidad suelen enfocarse en la definición y posterior determinación de índices que capturen apropiadamente esta característica del proceso. Entre las acciones a tomar para aumentar la flexibilidad de un proceso está la modificación del diseño del mismo. En el campo de la controlabilidad, los estudios se orientan al planteo y verificación de condiciones que aseguren la controlabilidad de los procesos. Entre las acciones a tomar para mejorar la controlabilidad del proceso está la modificación del diseño y la implementación de un adecuado sistema de control. En el campo de la confiabilidad, los estudios tienen como objetivo determinar la probabilidad de ocurrencia de fallas y sus consecuencias. En este caso, las acciones a tomar son preventivas (destinadas a disminuir la probabilidad de falla y sus consecuencias) y paliativas (producida la falla, se toman las medidas necesarias para atenuar sus efectos). En el campo de la robustez, los trabajos se concentran en el diseño de sistemas de control apropiados que se comporten adecuadamente en un rango amplio de condiciones de operación. Finalmente, debido a que las acciones que se tomen para mejorar una propiedad también afectan a las restantes, existen trabajos que estudian simultáneamente dos o más de las citadas propiedades.

Es de destacar que los actuales estudios de operabilidad involucran cada vez más el uso de técnicas de Inteligencia Artificial (redes neuronales, sistemas expertos con lógica *fuzzy*, entre otras), siendo los sistemas de control inteligentes los mejores exponente de esta situación. También se han aplicado con éxito estas técnicas para mejorar el diseño de los

procesos, recurriendo en especial a estrategias evolutivas.

## **Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación**

El proyecto propuesto se enmarca en las siguientes líneas prioritarias de la UNJu (Res. CS N°168/93):

- **Desarrollo Económico – Social Regional Sustentable:** Las herramientas a desarrollar en el proyecto servirán para aumentar la operabilidad de los procesos productivos de la región. En consecuencia, se favorecerá el desarrollo económico de la región.

También se enmarca en las siguientes líneas prioritarias de la Facultad de Ingeniería (Res. FI N°071/98):

- **Línea 1 - Educación:** El proyecto en consideración producirá material para la enseñanza de Ingeniería Química. Además del material a publicar, se tendrá también documentos electrónicos y multimedia que serán volcados en las aulas virtuales de las materias que tienen a cargo los integrantes del grupo *IngProAr*.
- **Línea 3 - Ingeniería de Procesos:** El proyecto en consideración se enmarca principalmente en esta línea prioritaria ya que la operabilidad de los procesos productivos es una importante área de la Ingeniería de Procesos.

Durante el año 2013, la Facultad de Ingeniería de la UNJu trabajó en la reformulación de las líneas prioritarias. De aprobarse el borrador actualmente existente, el proyecto propuesto se enmarca principalmente en la siguiente línea:

- **Línea 3 - El estudio de procesos específicos o integrados que con-**

**tribuyan a la cadena de valor de los productos obtenidos:** Esta línea comprende los siguientes temas: Análisis, diseño y síntesis óptima de procesos; Simulación y optimización de procesos; Operación y mantenimiento de procesos; Supervisión y control de procesos; Sistemas de apoyo a la toma de decisiones en procesos; Integración de masa y energía; Análisis de la Performance de procesos. Los resultados a obtener con el proyecto propuesto están vinculados a todos los temas citados.

Finalmente, la aplicación de las herramientas a desarrollar para aumentar la operabilidad de procesos productivos implicará aumentos en la producción y en la calidad de la misma, con los consecuentes efectos positivos sobre la sociedad.

Por todos los motivos expuestos, se considera relevante para el país y la provincia el objeto de investigación del proyecto propuesto.

## **Resultados y Objetivos**

El presente proyecto tiene como objetivo general desarrollar herramientas para la operabilidad de procesos productivos. Para ello se desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Ingeniería de Procesos.

Los objetivos particulares del proyecto propuesto son los siguientes:

- 1) Desarrollar métodos para determinar y aumentar la flexibilidad de los procesos productivos.
- 2) Desarrollar sistemas de control avanzados para aumentar la controlabilidad y robustez de los sistemas productivos. En especial, se emplearán técnicas de Inteligencia Artificial.

- 3) Desarrollar sistemas de diagnóstico de fallas para aumentar la operabilidad de los procesos productivos.
- 4) Desarrollar material para la enseñanza de Ingeniería Química: simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones y apuntes.

Los procesos a estudiar serán procesos productivos vinculados a la industria química, a la industria de alimentos y a todo proceso productivo de la región que pueda beneficiarse con las herramientas a desarrollar.

En los dos años de ejecución del proyecto se obtuvieron resultados que dieron lugar a trabajos presentados en congresos, publicaciones en revistas científicas y capítulos de libros. Además, se desarrollaron programas informáticos para la simulación, optimización y control de los procesos estudiados.

## Formación de Recursos Humanos

A continuación se detallan las actividades desarrolladas en formación de recursos humanos en el marco del proyecto en cuestión:

### *Becas de postgrado*

- Ing. Álvaro F. Núñez, con beca doctoral de la ANPCyT, desde 2009. Cursa el Doctorado Regional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Tesis doctoral “Simulación, optimización y control de procesos de la industria alimentaria de la región”. Director: Dr. Enrique Tarifa.
- Ing. Leonel Benítez, con beca doctoral de CONICET, desde 2011. Cursa el Doctorado en Ingeniería en la Facultad de Ingeniería de la UNSa. Tesis doctoral “Desarrollo de procedimientos óptimos de operación para el sector de ajuste

de punto del rocío en plantas de acondicionamiento de gas natural”. Director: Dr. Enrique Tarifa.

- Ing. Juan Pablo Gutiérrez, con beca doctoral de CONICET, desde 2012. Cursa el Doctorado en Ingeniería en la Facultad de Ingeniería de la UNSa. Tesis doctoral “Optimización del diseño, condiciones de operación y sistema de control del sector de endulzamiento de una planta de acondicionamiento de gas natural”. Director: Dr. Eleonora Erdmann, Codirector: Dr. Enrique Tarifa.
- Ing. Karina Alejandra Palma, desde 2015. Cursa la Maestría en Gestión Ambiental en la UCASAL. Tesis de maestría “Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental para la empresa de tratamiento de líquidos cloacales El Cadillal”, Director: Dr. Enrique Tarifa.
- Ing. Lara Valeria Lescano Farías, desde 2013. Cursa el Doctorado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la UNSE. Tesis doctoral “Secado en lecho de chorro bidimensional para la deshidratación de proteínas del plasma y porción globina de sangre bovina”. Director: Dra. Eve Liz Coronel, Codirector: Dr. Enrique Tarifa.

### *Becas en investigación*

- Andrea Celeste Nievez, estudiante de Ingeniería Química de la UNJu, con beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas, CIN, 2013-2015. Título del plan de trabajo “Optimización de una planta industrial de litio”. Director: Dr. Enrique Tarifa.
- Cristian David Yurquina, estudiante de Ingeniería Química de la

UNJu, con beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas, CIN, 2015-2016. Título del plan de trabajo “Optimización del tren de piletas de concentración de una planta industrial de litio”. Director: Dr. Enrique Tarifa.

- Lautaro Acosta, estudiante de Ingeniería Química de la UNJu, con beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas, CIN, 2015-2016. Título del plan de trabajo “Modelado y control inteligente de un proceso de concentración de Litio mediante pozas solares”. Director: Mg. Ing. Sergio Luis Martínez.

## Referencias

1. Martínez S.L., Franco Domínguez S., Tarifa E.E., Sánchez Rivero V.D., Azar M.A., “Desarrollo de un Sistema de Diagnóstico de Fallas para Equipos de Procesos basado en Estados Anormales Caracterizados”, XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación WICC 2011, 5 y 6 de mayo de 2011, RedUNCI, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Santa Fe, ISBN 978-950-673-892-1, 772-776, 2011.
2. Martínez S.L., Tarifa E.E., Núñez A.F., “Comparación de Desempeño de Controladores Fuzzy y Controladores Proporcionales”, Avances en Ciencias e Ingeniería, ISSN: 0718-8706, 3 (3), 91-101, 2012.
3. Martínez S.L., Tarifa E.E., Sánchez Rivero V.D., “Control neuronal tipo MIMO aplicado a un mezclador de corrientes líquidas”, VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA, 13 y 14 de octubre de 2011, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, 2011.
4. Martínez S.L., Tarifa E.E., Sánchez Rivero V.D., “Derivación de Reglas de Control MIMO para un Controlador Fuzzy sin Conocimiento Experto”, Cuarto Simposio Internacional de Investigación: “La investigación en la Universidad: Experiencias Innovadoras en Investigación Aplicada”, 19 y 21 de octubre de 2011, San Salvador de Jujuy, Jujuy, 2011.
5. Tarifa E.E., Núñez A.F., Franco Domínguez S., “Estudio de flexibilidad de un evaporador doble efecto para jugo de tomate”, VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA, 13 y 14 de octubre de 2011, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, 2011.
6. Guzmán A.G., Luck D.A., Horowitz G.I., Vera C.R., Tarifa E.E., “Optimización de la Gestión del Hidrógeno en Refinería Luján de Cuyo”, 3er. Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación, del 30 de octubre al 2 de noviembre de 2012, Buenos Aires, 2012.
7. Benítez L.A., Erdmann E., Tarifa E.E., “Desarrollo de procedimientos óptimos de operación para el sector de ajuste de punto del rocío en plantas de acondicionamiento de gas natural”, I Jornadas de Jóvenes Investigadores, 22 y 23 de noviembre de 2012, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, UNJu, 2012.