

# DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA LA OPERABILIDAD DE PROCESOS

Enrique E. Tarifa, Sergio L. Martínez, Samuel Franco Domínguez,  
Susana A. Chalabe, Luis E. Ituarte, Álvaro F. Núñez,  
Cristian D. Yurquina, Ubaldo J. M. Aramayo, Flavia A. Copa

Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Jujuy / CONICET  
Ítalo Palanca N° 10 / S. S. de Jujuy / Provincia de Jujuy / Tel. 0388-4221591  
eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar; sfdominguez@yahoo.com.ar;  
susana.chalabe@gmail.com; luisituarte@hotmail.com; afnunez@fi.unju.edu.ar;  
c.d.yurquina@gmail.com; uba.aramayo@gmail.com; ayelencopa20@gmail.com

Área temática: Agentes y Sistemas Inteligentes (ASI)

## RESUMEN

El proyecto “*Desarrollo de Herramientas para la Operabilidad de Procesos*” tiene como objetivo general desarrollar herramientas para la operación de procesos, enfocado principalmente hacia los procesos químicos e industriales. Para ello, se diseñarán, adaptarán y/o aplicarán herramientas propias de la Operabilidad de Procesos (flexibilidad, controlabilidad, confiabilidad, robustez). Los procesos que tendrán prioridad son los que están implementados en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería de la UNSa (extracción líquida-líquida, absorción gas-líquida, producción de vapor, pasteurización, reacción, entre otros), y los procesos vinculados al gas, al petróleo, al litio y a las energías no convencionales —especialmente, a la energía solar—.

Los objetivos particulares del proyecto propuesto son los siguientes: 1) Desarrollar métodos para determinar y aumentar la flexibilidad de procesos; 2) Desarrollar sistemas de supervisión; 3) Desarrollar sistemas de control avanzados; 4) Desarrollar material para la enseñanza de Ingeniería Química (simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones y apuntes). Para alcanzar los objetivos propuestos, se emplearán técnicas del campo de la Ingeniería de Procesos (simulación, optimización, diseño) y de la Inteligencia Artificial (sistemas expertos fuzzy, redes neuronales, minería de datos).

**Palabras clave:** Procesos industriales, Operabilidad, Flexibilidad, Controlabilidad, Confiabilidad.

## CONTEXTO

El grupo responsable de la realización del proyecto de referencia, es el grupo de investigación *IngProAr* (Ingeniería de Procesos Argentina), con lugar de trabajo en la Facultad de Ingeniería de la UNJu (Universidad Nacional de Jujuy). Este grupo fue creado en 1995 por el Dr. Enrique Tarifa (investigador de CONICET y de la UNJu), y está constituido por docentes investigadores, profesionales y estudiantes de diversas áreas disciplinares. Desde sus inicios, este grupo trabajó en estrecha colaboración con el instituto de desarrollo y diseño INGAR (CONICET, Santa Fe), el instituto de catálisis INCAPE (CONICET, Santa Fe) y el grupo de petroquímica de la Facultad de Ingeniería de la UNSa.

El proyecto al que se hace referencia es continuación del proyecto “*Desarrollo de Herramientas para la Operabilidad de Procesos Productivos*”, que fue financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (SeCTER) y la Facultad de Ingeniería de la UNJu, y fue reconocido por el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU). El nuevo proyecto, denominado “*Desarrollo de Herramientas para la Operabilidad de Procesos*”, también es financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (SeCTER) y la Facultad de Ingeniería, ambas de la Universidad Nacional de Jujuy, y fue reconocido por la SeCTER-UNJu con el código D/0157 y por el Programa de Incentivos con el código 08/D157.

En este nuevo proyecto, se plantea también la cooperación con el recientemente creado Centro de Desarrollo Tecnológico “General Manuel Savio” (UNJu, Gobierno de la Provincia de Jujuy, y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva de la Nación).

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de estudio del proyecto propuesto es la operabilidad de procesos químicos e industriales. La operabilidad de un proceso, especialmente referido a procesos industriales o tecnológicos, comprende las siguientes propiedades:

- **Flexibilidad:** Representa la capacidad del diseño de un sistema para obtener una operación en estado estacionario estable en un rango de condiciones inciertas que pueden encontrarse durante la operación de la planta, y es el primer paso que se debe considerar para la operabilidad de un diseño.
- **Controlabilidad:** Puede ser definida como la facilidad con la cual un proceso continuo puede ser mantenido en un estado estable específico o deseado.
- **Confiabilidad:** Hace referencia a la capacidad de todos los elementos que conforman la planta para funcionar continuamente por un periodo de tiempo según un conjunto de especificaciones o condiciones.
- **Robustez:** Es la capacidad de un sistema de hacer mínima la variación de la medida de calidad de los productos ante variaciones de las condiciones de operación.

Debido a que las propiedades enunciadas son importantes por sí mismas, 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 de su diseño. En el aspecto de la controlabilidad, los estudios se orientan al planteo y verificación de condiciones que aseguren tal condición 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 aspecto de la confiabi-

lidad, 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 aspecto 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, lógica *fuzzy*, entre otras), siendo los sistemas de control inteligentes los mejores exponentes de esta situación. También, se han aplicado con éxito estas técnicas para mejorar el diseño de los procesos, recurriendo en especial a estrategias evolutivas.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El proyecto que se describe 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 industriales y tecnológicos de la región. En consecuencia, se favorecerá el desarrollo económico de la región.

La Facultad de Ingeniería de la UNJu, también ha establecido líneas prioritarias de investigación, donde este proyecto tiene un importante sustento (Res. CAFI N°393/13):

**Línea 1 - La exploración, manejo, valorización, obtención, transformación y aprovechamiento de recursos naturales renovables, no renovables y energéticos. La Gestión ambiental relacionada:** La vinculación con esta línea se presenta debido a que las herramientas a desarrollar en el presente proyecto pueden ser aplicadas a cualquier tipo de proceso productivo o tecnológico. Además, entre los procesos a estudiar, están los

que involucran petróleo, gas, energía solar y litio; los cuales son los recursos energéticos más ampliamente utilizados en la actualidad.

**Línea 3 - El estudio de procesos específicos o integrados que contribuyan 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 del comportamiento de procesos. Los resultados a obtener con el proyecto propuesto están vinculados a la mayoría de los temas citados.

**Línea 5 - El desarrollo de la Informática, los sistemas y la tecnología derivados de ésta:** Algunos de los productos del proceso son aplicaciones informáticas —simuladores, optimizadores, sistemas de control—, para las cuales se deben desarrollar nuevos algoritmos numéricos o técnicas de Inteligencia Artificial.

**Línea 6 - El desarrollo de la calidad educativa y el estudio de los procesos de enseñanza y aprendizaje:** Algunos productos del proyecto —simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones, apuntes— tienen impacto directo sobre la calidad educativa y serán empleados en el dictado de clases, desarrollo de trabajos prácticos, seminarios o conferencias.

### 3. OBJETIVOS Y RESULTADOS

El proyecto en cuestión, tiene como objetivo general desarrollar herramientas para la operación de procesos. Para ello se diseñarán, desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Operabilidad de Procesos.

Los objetivos particulares del proyecto propuesto son los siguientes: 1) Desarrollar métodos para determinar y aumentar la flexibilidad de procesos; 2) Desarrollar sistemas de supervisión; 3) Desarrollar sistemas de control avanzados; 4) Desarrollar material para la enseñanza de Ingeniería Química (simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones y apuntes). Para alcanzar los objetivos propuestos, se emplearán técnicas del campo de la Ingeniería de Procesos (simulación, optimización, diseño) y de la

Inteligencia Artificial (sistemas expertos fuzzy, redes neuronales, minería de datos).

Para el nivel de desarrollo actual del proyecto, se realizaron diversas actividades como se detalla a continuación.

#### *Publicaciones en revistas científicas*

- Ituarte, L. E., “Componentes Electrónicos en Plantas Fotovoltaicas: El Caso del Inversor Multi-Cascada”, *Proyección*, N° 83. Marzo 2017, Colegio de Ingenieros de Jujuy, 2018.
- Busto M., Tarifa E. E., Vera C. R., “Coupling Solvent Extraction Units to Cyclic Adsorption Units”, *International Journal of Chemical Engineering*, Volume 2018 (2018), Article ID 1620218, 17 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/1620218>
- Tarifa E. E., Franco Domínguez S., Martínez S. L., “Determinación de la instrumentación óptima para un sistema”, *Difusiones*, N° 14, 45-62, ISSN: 2314-1662, 2018.
- Ituarte L. E., Martínez S. L., Tarifa E. E., “Heliostatos y el control automático de orientación: una opción de mejora para las plantas de energía solar de la provincia de Jujuy”, *Difusiones*, N° 14, 63-70, ISSN: 2314-1662, 2018.
- Gutiérrez J. P., Tarifa E. E., Erdmann E., “Steady-state energy optimization and transition assessment in a process of CO<sub>2</sub> absorption from natural gas”, *Energy*, Vol. 159, 15 September 2018, 1016-1023, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.108>, 2018.
- Tarifa E. E., Martínez S. L., Franco S., Argañaraz J. F. “Formulation of an optimal academic exam”, *Journal of Computer Science & Technology*, vol. 18, no. 2, pp. 167-177, DOI: 10.24215/16666038.18.e19, 2018.

#### *Trabajos en Congresos*

- Tarifa E. E., Núñez A., Martínez S., “Análisis de sensibilidad en un evaporador para jugo de tomate”, *IV Jornadas de Jóvenes Investigadores*, 25 y 26 de octubre de 2018, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la UNJu, San Salvador de Jujuy, 2018.
- Benitez L. A., Erdmann E., Tarifa E. E., “Desarrollo de Procedimientos Óptimos de Operación para el Sector de Ajuste del Punto de Rocío en Plantas de Acondicionamiento de

Gas Natural”, *IV Jornadas de Jóvenes Investigadores*, 25 y 26 de octubre de 2018, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la UNJu, San Salvador de Jujuy, 2018.

- Aramayo U. J., Martínez S. L., Tarifa E. E., “Modelos de redes neuronales utilizados para predicción”, *IV Jornadas de Jóvenes Investigadores*, 25 y 26 de octubre de 2018, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la UNJu, San Salvador de Jujuy, 2018.

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo de trabajo que forma el grupo de investigación *IngProAr* cuenta con profesores, auxiliares, graduados y pasantes de la Facultad de Ingeniería, quienes desarrollan diversas actividades en la formación de recursos humanos, durante la ejecución del proyecto. Particularmente, los docentes investigadores del grupo *IngProAr* están a cargo de diversas cátedras en distintas carreras de la Facultad de Ingeniería de la UNJu: “*Simulación y Optimización de Procesos*”, “*Ingeniería de Procesos*”, “*Electricidad y Electrónica*” e “*Introducción a la Informática*” —en Ingeniería Química—; “*Métodos de Simulación*”, “*Inteligencia Artificial*”, “*Técnicas y Estructuras Digitales*”, “*Metodología de la Programación*” —en Ingeniería Informática—; “*Electrotecnia*” en Ingeniería Industrial; “*Geología Ambiental*” y “*Cartografía especial*” en Ingeniería de Minas. Es de destacar que los contenidos de dichas materias están directamente vinculados con los temas considerados en este proyecto. Como actividades de formación de recursos humanos, se pueden destacar:

##### *Tesis de posgrado*

- Tarifa E. E., codirección de la tesis doctoral “*Secado en lecho de chorro bidimensional para la deshidratación de proteínas del plasma y porción globina de sangre bovina*”, Ing. Lara Valeria Lescano Farías, Directora: Dra. Eve Liz Coronel. Res. F.A.A. N°641/2013, UNSE, Santiago del Estero.
- Tarifa E. E., dirección de la tesis de maestría “*Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental para la empresa de tratamiento de líquidos*

*cloacales El Cadillal*”, Ing. Karina Alejandra Palma, Res. RI N°97/15, UCASAL, Salta.

- Tarifa E. E., dirección de la tesis doctoral “*Control Inteligente con Algoritmos Híbridos Optimizados aplicados a Modelos de Procesos Productivos*”, Ing. Sergio L. Martínez, Codirector: Dr. Juan P. Gruer (UNT), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Res. FACET 620/2017, desde may/2017.
- Tarifa E. E., dirección de la tesis doctoral “*Desarrollo de procedimientos óptimos de operación para el sector de ajuste de punto del rocío en plantas de acondicionamiento de gas natural*”, Ing. Leonel Alberto Benítez, UNSa, beca doctoral de CONICET, tesis aprobada el 21 de mayo de 2018.

##### *Tesis de grado*

- Martínez S. L., dirección y codirección de la tesis de grado “*Aplicación de Redes Neuronales Artificiales: Tratamiento de series temporales estacionales para predicción de alturas y caudales en Caimancito, Jujuy, Argentina.*”, Tesista: Ubaldo Juan Manuel Aramayo, Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, UNJu. Res. FI N°052/17. En ejecución.
- Martínez S. L., Dirección de la tesis de grado “*Desarrollo de una Herramienta con Interfaz Gráfica para Implementación de Redes Neuronales Feedforward*”. Tesista: David Llusco, codirector Ing. Jorge J. Gutiérrez, Carrera de Ingeniería Informática, UCSE-DASS, San Salvador de Jujuy. En ejecución.

##### *Becarios de Investigación*

- Cristian D. Yurquina: Estudiante de Ingeniería Química en la Facultad de Ingeniería de la UNJu, Estudiante Colaborador de *IngProAr*.
- Ubaldo J. M. Aramayo: Tesista y Estudiante de Ingeniería Informática en la Facultad de Ingeniería de la UNJu, Estudiante Colaborador de *IngProAr*.
- Flavia A. Copa: Estudiante de Ingeniería Informática en la Facultad de Ingeniería de la UNJu, Alumno Colaborador de *IngProAr*.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Azar A., Vaidyanathan S., *Handbook of Research on Advanced Intelligent Control Engineering and Automation*, Editorial Advisory Board, ISBN13: 9781466672482, 2015.
- Banaja Mohanty, Sidhartha Panda, P.K. Hota, “Controller parameters tuning of differential evolution algorithm and its application to load frequency control of multi-source power system”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 54, Pages 77-85, 2014.
- Bidkhorji H., Simchi-Levi D., Wei Y., “Analyzing process flexibility: A distribution-free approach with partial expectations”, *Operations Research Letters*, vol. 44, Issue 3, 291-296, 2016.
- Kazumi Nakamatsu K., Kountchev R. (Editors), *New Approaches in Intelligent Control. Techniques, Methodologies and Applications*, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-32168-4, Switzerland, 2016.
- Kharrazi A., Kumar P., Saraswat C., Avtar R., Mishra B. K., “Adapting Water Resources Planning to a Changing Climate: Towards a Shift from Option Robustness to Process Robustness for Stakeholder Involvement and Social Learnings”, *Journal of Climate Change*, vol. 3, no. 2, pp. 81-94, 2017.
- Ramos W. B., Figueirêdo M. F., Brito K. D., Ciannella S., Vasconcelos L. G. S., Brito R. P., “Effect of Solvent Content and Heat Integration on the Controllability of Extractive Distillation Process for Anhydrous Ethanol Production”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 55 (43), pp 11315–11328, 2016.
- Roy A., Srivastava P., Sinha S., “Risk and reliability assessment in chemical process industries using Bayesian methods”, *Reviews in Chemical Engineering*, 40(5), 479-499, 2014.
- Tarifa E. E., Vera C. R., Franco Domínguez D., Benitez L. A., “Optimization Model for Refinery Hydrogen Networks Part I”, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, ISSN: 2248-9622, www.ijera.com, Vol. 6.2 - Issue 10, 84-88, 2016.
- Tarifa E. E., Vera C. R., Franco Domínguez D., Benitez L. A., “Optimization Model for Refinery Hydrogen Networks Part II”, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, ISSN: 2248-9622, www.ijera.com, Vol. 6 - Part 2 - Issue 10 (October - 2016), 89-95, 2016.
- Xia Z., Zhao J., “Steady-state optimization of chemical processes with guaranteed robust stability and controllability under parametric uncertainty and disturbances”, *Computers & Chemical Engineering*, Volume 77, Pages 116-134, ISSN 0098-1354, 2015.
- Yurquina C. D., Franco Domínguez S., Tarifa E. E., “Simulación estacionaria y optimización de un tren de pozas solares para la concentración de litio”, *XI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*, 23 y 24 de junio, San Salvador de Jujuy, ISSN 1853-7871, 2016.