

# Desarrollo de sistemas de apoyo para la toma de decisiones en procesos industriales

Enrique E. Tarifa, Sergio L. Martínez, Samuel Franco Domínguez,  
Álvaro F. Núñez, Víctor D. Sánchez Rivero

Grupo de Investigación *IngProAr* / Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Jujuy  
CONICET

Av. Italia y Av. Martiarena / S. S. de Jujuy / Provincia de Jujuy/Tel. 0388-4221591  
eetarifa@fi.unju.edu.ar, smartinez@fi.unju.edu.ar, sfdominguez@arnet.com.ar,  
alfanunez@yahoo.com.ar, ivansr100@arnet.com.ar

## Resumen

El presente proyecto tiene por objetivo general desarrollar sistemas de apoyo para la toma de decisiones en procesos industriales. Estos sistemas son cada vez más necesarios debido a la complejidad creciente de los escenarios planteados por la globalización, la competencia, los avances tecnológicos, los problemas ambientales y sociales, entre otros. La secuencia de procesos requeridos para tomar decisiones es independiente del área particular de aplicación. Esta secuencia es: 1) Identificación y análisis del problema; 2) Identificación de los criterios; 3) Asignación de pesos a los criterios; 4) Generación de alternativas; 5) Evaluación de las alternativas; 6) Selección de la mejor alternativa; 7) Implementación de la decisión; 8) Evaluación de los resultados. Sin embargo, la implementación de cada proceso es altamente dependiente del área de aplicación. En este proyecto, los destinatarios de los sistemas a desarrollar serán procesos industriales vinculados a la industria química y a la industria de alimentos.

**Palabras clave:** Supervisión, Diagnóstico de fallas, Simulación, Optimización.

## Contexto

El presente proyecto está inserto en el programa de investigación “Desarrollo de sistemas de soporte a la toma de decisiones”, dirigido por el Dr. Enrique Tarifa, y financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales de la UNJu (Universidad Nacional de Jujuy) y

la Facultad de Ingeniería de la UNJu con el código interno D/0056. Este programa fue reconocido por el Programa de Incentivos con el código 08/D080. A su vez, el proyecto en cuestión cuenta con la misma fuente de financiación, y está reconocido por el Programa de Incentivos con el código 08/D106. A partir de abril de 2011, algunas de las líneas de investigación definidas para este proyecto, están incorporado en el PICTO 2008-00154, financiado por la ANPCYT y la UNJu.

Las actividades de investigación son llevadas a cabo por el grupo de investigación *IngProAr* en el Instituto de Tecnología Minera e Industrial (InTeMI) de la Facultad de Ingeniería de la UNJu.

## Introducción

El campo de la supervisión de un proceso productivo, junto con la planificación, forma parte del nivel más alto de la pirámide de la automatización; por lo tanto, incluye a muchos otros, entre los que se pueden citar [1, 2]:

1. **Obtención de datos del proceso:** sistema de adquisición, toma de muestras, análisis de laboratorio, obtención de registros históricos.
2. **Procesamiento de datos:** detección de sensores fallados, detección de análisis erróneos, detección de registros equivocados, eliminación de ruidos, conciliación de lecturas.
3. **Obtención de información:** estimación de parámetros y variables no medidas, estimación de tendencias, detección de situaciones anómalas.

4. **Procesamiento de información:** diagnóstico de fallas, estimación de futuros estados, elaboración de modelos cuantitativos, cualitativos y estadísticos.

5. **Toma de decisiones:** de acuerdo al estado observado del proceso, y en función de los objetivos planteados para éste, se elabora un plan de acción.

6. **Implementación:** planificación y ejecución del proyecto destinado a implementar la decisión tomada en la etapa anterior.

Entendida de esta manera, la supervisión de procesos es un campo complejo muy extenso. De hecho, en la bibliografía relacionada se encuentran trabajos que van desde sistemas que se concentran en ordenar toda la información de la planta (condiciones de operación, característica de los equipos, lista de proveedores, niveles de inventario, información de mantenimiento, etc.), hasta sistemas que coordinan complejos dispositivos de control y enclavamiento, al tiempo que sugieren las mejores condiciones de operación de acuerdo a criterios previamente fijados [3, 4].

Si se analiza el listado de procesos involucrados en la supervisión de procesos productivos, podrá concluirse que el mismo obedece a la secuencia de procesos requeridos para tomar decisiones [5]. La secuencia de procesos requeridos para tomar decisiones es independiente del área particular de aplicación y consiste en:

1. Identificación y análisis del problema.
2. Identificación de los criterios.
3. Asignación de pesos a los criterios.
4. Generación de alternativas.
5. Evaluación de las alternativas.
6. Selección de la mejor alternativa.
7. Implementación de la decisión.
8. Evaluación de los resultados.

Por otra parte, del análisis de la lista presentada surge la fuerte conexión entre la toma de decisión [5] y el área de optimización [6]. En esta última, se siguen los mismos procesos a saber: la naturaleza del problema origina las restricciones (el modelo de simulación), las alternativas establecen las variables de decisión, los criterios dan forma a la función objetivo, y

la evaluación de alternativas y la selección de la mejor alternativa están a cargo del método de optimización. Debido a esta conexión, y a que el área de optimización ofrece herramientas matemáticas que permiten sistematizar la toma de decisiones, se adoptaron los objetivos particulares que se enuncian en la sección correspondiente.

El tomar decisiones se ha vuelto una actividad sumamente compleja, dando origen así a la necesidad de desarrollar los sistemas de apoyo para la toma de decisiones (*decision support system*, DSS) que se proponen como objetivo particular del presente proyecto. Si bien la secuencia de procesos a seguir para tomar una decisión es independiente del área de aplicación, la construcción de un DSS para un proceso en particular demanda el desarrollo de los modelos de simulación y optimización correspondientes al proceso elegido [7, 8].

El desarrollo de un DSS requiere del aporte de diversas áreas, como ser: Sistemas Transaccionales OLTP (*On Line Transaction Processing* –Procesamiento de Transacciones en Línea–), OLAP (*On Line Analytical Processing* –Procesamiento Analítico en Línea–), *datawarehouse* (Almacén de Datos), KDD (*Knowledge Discover from Data bases* –Descubrimiento de Conocimiento a partir de Bases de Datos–) [9, 10], simulación [11, 12], optimización [5, 6] y teoría de juegos [13, 14]. A continuación se describe la forma en que las investigaciones actuales vinculan las citadas tecnologías para dar origen a un DSS.

Para desarrollar un DSS para un proceso productivo en particular, se emprende el desarrollo de modelos de simulación y optimización adecuados. Existen diversos tipos de modelos de simulación, y algunos son más apropiados que otros para determinados sistemas. En el caso de los procesos industriales químicos y de alimentos, los modelos de simulación son generalmente continuos, deterministas y basados en principios teóricos. El modelo de espacio de estado es el modelo que prácticamente se impuso como estándar en las investigaciones del área [1]. Estos modelos están formados por un sistema de

ecuaciones algebraicas acoplado a un sistema de ecuaciones diferenciales. La selección del método numérico a utilizar para resolver tan complejo sistema es también tema de investigación. Cuando es posible, se prefiere el empleo de utilitarios matemáticos (Matlab, MathCad, Mathematica, Scilab) o directamente de simuladores de procesos (HYSYS, CHEMCAD, PROSIM, SuperPro Designer). En el caso de los procesos por cuya complejidad no se cuenta con la suficiente base teórica, o es impráctico emprender el desarrollo de un modelo de espacio de estado, se recurre a los modelos basados en conocimientos (sistemas expertos, sistemas expertos *fuzzy*) o modelos empíricos adaptivos (redes neuronales, redes wavelets) [15]. La generación de conocimiento puede ser semi-automática utilizando árboles de decisión, redes neuronales o un entorno para KDD (SPSS Clementine, Weka) [10]. Por último, para los procesos donde intervienen el clima, especies vegetales, especies animales o personas, se utilizan modelos estocásticos (redes de Markov, simulación de Monte Carlo, simulación orientada a eventos, simulación orientada a procesos) y, cuando es posible, se recurre a utilitarios de simulación estocástica (RISK, Simul8, ARENA). La conducta humana se modela utilizando teoría de juegos [13, 14].

En el campo de la optimización, la programación matemática y la programación dinámica son herramientas ampliamente utilizadas. La búsqueda de óptimos globales para problemas no lineales es actualmente llevada a cabo mediante la utilización de métodos estocásticos y evolutivos (algoritmos genéticos, programación evolutiva, *tunneling algorithm*, *simulated annealing*), también se emplean métodos de búsquedas elaborados [16]. Muchas investigaciones emplean utilitarios cuando ello es posible (GAMS, LINGO).

Con respecto al diagnóstico de fallas [17], los trabajos presentados en la bibliografía se ocupan en su gran mayoría de estados estacionarios. Estos estados son idealizaciones de los estados de régimen en

los cuales funcionan los procesos continuos. No obstante, durante la operación de estos procesos se presentan numerosos estados dinámicos (puesta en marcha, detención, parada de emergencia, cambio de condiciones de operación, etc.) donde la asistencia de un sistema de diagnóstico es aún más necesaria que para los estados estacionarios. En el extremo, las plantas batch funcionan permanentemente en estado dinámico, lo que hace imprescindible un sistema de diagnóstico que pueda manejar tales estados.

Uno de los criterios más importante a considerar en la optimización del proceso seleccionado es la operabilidad [18], la cual comprende los siguientes subcriterios:

- **Flexibilidad:** implica la capacidad del diseño de un sistema de obtener una operación en estado estacionario estable para 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 de 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.

## Líneas de Investigación y Desarrollo

A continuación se presenta una descripción sintética de las líneas de investigación y desarrollo emprendidas:

- **Simulación de procesos determinísticos:** se desarrollan modelos dinámicos para modelar procesos industriales de interés. Estos modelos son modelos de espacio de estado; por lo tanto, están formados por sistemas de ecuaciones diferenciales

acoplados a sistemas de ecuaciones algebraicas. Dependiendo del caso en estudio, el modelo es resuelto empleando utilitarios matemáticos, o programando los métodos numéricos apropiados.

• **Simulación de sistemas estocásticos:** cuando el proceso industrial en estudio lo requiere, se emplean simulación de Monte Carlo, o se emplean simuladores orientados a procesos estocásticos.

• **Optimización de procesos:** se emplea esta herramienta para optimizar tanto el diseño como la operación de los procesos industriales en estudio.

• **Operabilidad de procesos:** se determinan los diseños y procedimientos de operación que maximice la operabilidad de los procesos industriales estudiados.

• **Diagnóstico de fallas:** se desarrollan sistemas para detectar y localizar fallas de equipos u operación en los procesos industriales en estudio.

En todas las líneas presentadas, se emplean o desarrollan herramientas informáticas.

## Objetivos y Resultados

Este proyecto se ha planificado en cuatro años de duración (2010-2013) para el desarrollo de los siguientes objetivos:

### *Objetivo General*

El presente proyecto tiene como objetivo general optimizar el diseño y el funcionamiento de los procesos seleccionados. Para ello se desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Ingeniería de Procesos. Lo anterior se llevará a cabo con el fin de maximizar la operabilidad, la seguridad, la calidad de la producción y la rentabilidad, al tiempo que se minimizará el impacto ambiental. El producto final será un DSS para los procesos industriales seleccionados.

### *Objetivos Particulares*

La estrategia a seguir para alcanzar el objetivo general propuesto consiste primero en identificar las perturbaciones que pueden afectar al proceso; segundo, tomar las medidas preventivas apropiadas; tercero, adoptar las medidas correctivas necesarias;

y por último, realizar una evaluación de los resultados obtenidos con el fin de mejorar la respuesta a futuras perturbaciones. En otras palabras, a fin de aumentar la operabilidad y optimizar el funcionamiento del proceso, será necesario considerar las perturbaciones potenciales, y sus posibles consecuencias, en el diseño de los equipos, del sistema de supervisión y control, de los procedimientos de operación y de la capacitación de los operadores.

En este contexto, los objetivos particulares del presente proyecto son los siguientes:

1. Optimizar el diseño de los procesos seleccionados:
  - a. Optimizar el diseño de equipos.
  - b. Optimizar la instrumentación.
  - c. Optimizar el sistema de control.
2. Optimizar la operación de los procesos seleccionados:
  - a. Optimizar las condiciones de operación.
  - b. Optimizar los procedimientos operativos.
  - c. Desarrollar sistemas de apoyo para la toma de decisiones.
3. Optimizar la gestión de los procesos seleccionados:
  - a. Optimizar la gestión de inventarios.
  - b. Optimizar la distribución de personal.
  - c. Desarrollar sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

Los procesos a estudiar serán procesos industriales vinculados a la industria química y a la industria de alimentos de la región. La selección se realizará a lo largo de la ejecución del proyecto.

## Formación de recursos humanos

El proyecto se inició en el año 2010. El equipo de trabajo está formado por cinco profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNJu. En el marco del presente proyecto se encuentran en desarrollo dos becas doctorales, una con financiamiento de la ANPCYT, y otra con financiamiento de CONICET. En abril de 2011, se iniciaron dos becas doctorales con financiamiento de CONICET, y en junio se agregará una beca más con financiamiento de la ANPCYT.

## Referencias

1. Staroswiecki M. and Gehin A., "From Control to Supervisión", *Annual Reviews in Control*, **25**, pp. 1-11, 2001.
2. Acosta G., Alonso Gonzalez C., Pulido B., "Basic tasks for knowledge-based supervision in process control", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **14**, 2001, 441–455.
3. Villa J.L., Duque M., Gauthier A. and Rakoto-Ravalontsalama N., "Supervision and Optimal Control of a Class of Industrial Processes", *In Proc. of 2003 IEEE Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA2003)*, Vol II, pp. 177-180, 2003.
4. Samantaray A.K., Boyamama B.O., "Model-Based Process Supervision: A Bond Graph Approach", *Springer London*, London, 2008.
5. Turban E., Aronson J.E., "Decision Support Systems And Intelligent Systems", sixth edition, *Prentice Hall*, New Jersey, 2001.
6. Edgar, T.F. and Himmelblau D.M., "Optimization of Chemical Processes", 2° edition, *McGraw-Hill*, New York, 2001.
7. Frombo F., Minciardi R., Robba M., Sacile, R., "Decision support system for planning biomass-based energy production", *Energy*, **34**, 2009, 362–369.
8. Phillips-Wren G., Mora M., Forgie G.A., Gupta J.N.D., "An integrative evaluation framework for intelligent decision support systems", *European Journal of Operational Research*, **195**, 2009, 642–652.
9. Nie G, Zhang L., Liu Y., Zheng X., Shi Y., "Decision analysis of data mining project based on Bayesian risk", *Expert Systems with Applications*, **36**, 2009, 4589–4594.
10. Petrya F. E., Zhaob L., "Data mining by attribute generalization with fuzzy hierarchies in fuzzy databases", *Fuzzy Sets and Systems*, 2009, article in press.
11. Wei D., Lu X., Lu Z., Gu J., "Dynamic modeling and simulation of an Organic Rankine Cycle (ORC) system for waste heat recovery", *Applied Thermal Engineering*, **28**, 2008, 1216–1224.
12. González Bustamante J. A., Sala J. M., López González L. M., Míguez J. L., Flores I., "Modelling and dynamic simulation of processes with 'MATLAB'. An application of a natural gas installation in a power plant", *Energy*, **32**, 2007, 1271–1282.
13. Esmaeili M., Aryanezhad Mir-Bahador, Zeephongsekul P., "A game theory approach in seller–buyer supply chain", *European Journal of Operational Research*, **195**, 2009, 442–448.
14. Reneke J. A., "A game theory formulation of decision making under conditions of uncertainty and risk", *Nonlinear Analysis*, 2009, Article in press.
15. Ghorbanian K., Gholamrezaei M., "An artificial neural network approach to compressor performance prediction", *Applied Energy*, **86**, 2009, 1210–1221.
16. Eiben A., Smith J. Introduction to Evolutionary Computing. Ed. Springer. USA. 2008.
17. Tarifa E., Scenna N., "Fault Diagnosis for MSF Dynamic States using a SDG and Fuzzy Logic", *Desalination*, Elsevier, ISSN 0011-9164, **166**, 2004, 93–101.
18. Seferlis P., Georgiadis M. C., 2004, "The integration of process design and control", *Computer – Aided Chemical Engineering*, 17, Elsevier.