

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

La complejidad de los actuales sistemas productivos, prácticamente en cualquier ámbito, crece incesantemente, impulsados por la globalización, la competencia, la seguridad, los avances tecnológicos, los problemas ambientales y sociales, entre otras causas. Por estos motivos, en el ámbito tecnológico-industrial, la toma de decisiones referidas a equipos o procesos, se realiza con el apoyo de sistemas informáticos especializados.

La secuencia de actividades requeridas para tomar decisiones es independiente del área particular de aplicación, y puede enunciarse como sigue: identificación y análisis del problema; establecimiento y ponderación de criterios; generación, evaluación y selección de alternativas; implementación de la decisión y evaluación final de los resultados.

En este proyecto, se estudian, diseñan, implementan y evalúan sistemas de apoyo para toma de decisiones en procesos industriales del ámbito de la industria química y la industria de alimentos.

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

Contexto

El presente proyecto, orientado al desarrollo general de sistemas de apoyo para la toma de decisiones en procesos industriales, se desarrolla en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu) bajo la dirección del Dr. Enrique Tarifa y la codirección del Ing. Sergio Martínez. Está financiado por la Secretaría de

Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (SeCTER) de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Se identifica con el código interno D/0056 y está inserto en el Programa de Incentivos dependiente de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de la Nación, bajo el código 08/D106.

Este proyecto forma parte del Programa de Investigación “Desarrollo de Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones”, dirigido por el Dr. Enrique Tarifa (código interno D/0056, y código 08/D080 del Programa de Incentivos de la SPU).

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. Los integrantes del grupo *IngProAr* aportan conocimientos desde distintas áreas académicas, como ser Ingeniería de Procesos, Inteligencia Artificial, Modelos y Simulaciones, Informática e Ingeniería de los Alimentos.

A partir de abril de 2011, algunas de las líneas de investigación definidas para este proyecto, han sido incorporadas en un Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica Orientado PICTO 2008-00154, financiado por la ANPCYT y la UNJu, bajo la dirección del Dr. Enrique Tarifa.

Introducción

El campo del diagnóstico y supervisión de procesos productivos, 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 actividades involucradas en la supervisión de procesos productivos, podrá concluirse que éste responde a la secuencia requerida 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 se desprende una fuerte conexión entre la toma de decisión [5] y el área de optimización [6]. En esta última, se siguen los mismos procesos, tal que: 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 un apartado siguiente.

El tomar decisiones se ha vuelto una actividad sumamente compleja, dando origen así a la necesidad de desarrollar 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].

Uno de los criterios más importante a considerar en la optimización del proceso seleccionado es la operabilidad [9], 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 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 metodología 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 maximicen 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.
- **Control de procesos:** se diseñan controladores basados en técnicas de Inteligencia Artificial: redes neuronales, redes wavelets, sistemas expertos fuzzy, entre otras.

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

Optimizar el diseño y el funcionamiento de los procesos seleccionados. Para ello se desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Ingeniería de Procesos. Esto 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

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.

Para el grado de desarrollo actual del proyecto, se realizaron diversos trabajos que dieron lugar a presentaciones y publicaciones en congresos nacionales e internacionales y revistas científicas.

Año 2010

“Processing Ambiguous Fault Signals with Three Model of Feedforward Neural Networks”, presentado y publicado en el XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2010). Buenos Aires, Argentina.

“*Simulación Dinámica en una Dimensión utilizando Volúmenes Finitos Móviles*”. Presentado y publicado en las VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Jujuy, Argentina.

“*Clasificador Neuronal Implementado con Redes SOM*”. Presentado y publicado en las VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Jujuy, Argentina.

“*Controladores Fuzzy vs. Controladores Convencionales – Un Caso de Estudio*”. Presentado y publicado en las VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Jujuy, Argentina.

“*Análisis de Sensibilidad en un Evaporador Doble Efecto para Jugo de Tomate*”. Presentado y publicado en las VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Jujuy, Argentina.

Año 2011

“*Predicción para uno y doce pasos sobre serie de tiempos con redes NARX*”. Presentado y publicado en las VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Catamarca, Argentina.

“*Control neuronal tipo MIMO aplicado a un mezclador de corrientes líquidas*”. Presentado y publicado en las VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Catamarca, Argentina.

“*Estudio de Flexibilidad de un Evaporador Doble Efecto para Jugo de Tomate*”. Presentado y publicado en las VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Catamarca, Argentina.

“*Comparación de Desempeño de Controladores Fuzzy y Controladores Proporcionales*”. Avances en Ciencia e Ingeniería, ISSN N° 0718-8706. La Serena, Chile. En prensa.

“*Derivación de reglas de control MIMO para un controlador fuzzy sin conocimiento experto*”. Presentado en el 4° Simposio Internacional de Investigación – UCSE, DASS. Jujuy, Argentina. En prensa.

“*Simulación de un intercambiador de calor utilizando volúmenes finitos móviles*”. Presentado en el 4° Simposio Internacional de

Investigación – UCSE, DASS. Jujuy, Argentina. En prensa.

“*Comparación de Desempeño de Controladores Fuzzy y Controladores Proporcionales*”, Avances en Ciencias e Ingeniería, ISSN: 0718-8706, aceptado para el vol. 3 (3), 2012. La Serena, Chile.

“*Análisis de sensibilidad por simulación del proceso de deshidratación de una planta de acondicionamiento de gas natural*”, Avances en Ciencias e Ingeniería, ISSN: 0718-8706, aceptado para el vol. 3 (3), 2012. La Serena, Chile.

“*Endulzamiento de Gas Natural con Aminas. Simulación del Proceso y Análisis de Sensibilidad Paramétrico*”, Avances en Ciencias e Ingeniería, ISSN: 0718-8706, aceptado para el vol. 3 (4), 2012. La Serena, Chile.

“*Simulación estacionaria de un evaporador doble efecto para jugo de tomate*”, Avances en Ciencias e Ingeniería, ISSN: 0718-8706, aceptado para el vol. 3 (4), 2012. La Serena, Chile.

Formación de recursos humanos

El equipo de trabajo está formado por cinco profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNJu, quienes desarrollaron las siguientes actividades en la formación de recursos humanos:

Becas doctorales

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 inició una beca doctoral con financiamiento de CONICET, y en junio se agregó una beca más con financiamiento de la ANPCYT.

Tesis de grado

“*Reconocimiento de Rostros Basado en Teoría Wavelet y Redes Neuronales*”, Tesis: Reinaldo R. Colqui y Héctor J. Flores, carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, UNJu. Res. FI N° 250/11. En evaluación.

“Predicción de Datos en Series de Tiempo con Redes Neuronales Artificiales”. Tesista: Jorge J. Gutiérrez, carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, UNJu. En evaluación.

“Prototipo de Sistema de Control Fuzzy aplicado al Proceso de Curado del Tabaco”. Tesista: Miguel A. Azar, carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, UNJu. Res. FI N° 167/10. En ejecución.

“Prototipo de Sistema Inteligente para la Selección de Circuitos Turísticos”, Tesistas: Leticia Cari y María C. Cosme, carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, UNJu. Res. FI N° 168/10. En ejecución.

Conferencias a cargo de IngProAr

Conferencia “El papel del paper en Ingeniería”, VIII Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología, 17 de junio de 2010, Facultad de Ingeniería (UNJu), auspiciada por la ANPCyT, UNJu, 2010.

Conferencia “A 25 años del desastre nuclear en Chernobyl”, IX Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología, 16 de junio de 2011, Facultad de Ingeniería (UNJu), auspiciada por la ANPCyT, UNJu, 2011.

Conferencia “Accidentes en Plantas Químicas”, Asociación Jujeña de Estudiantes de Ingeniería Química (A.J.E.I.Q.), 20 de octubre de 2011, Facultad de Ingeniería, UNJu, 2011.

Otras actividades

Servicio de asistencia tecnológica, con el tema “Optimización de la red de hidrógeno para la refinería de Luján de Cuyo de YPF”, junto investigadores de la UNL y CONICET.

Desarrollo del simulador WinCaudal3 para el estudio hidrológico de cuencas. En convenio con la Universidad Politécnica de Madrid. Financiamiento de la AECID.

Referencias

1. Staroswiecki M. and Gehin A., “From Control to Supervisión”, *Annual Reviews in Control*, (25) 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) 441–455, 2001.
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)*, (II) 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) 362–369, 2009.
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) 642–652, 2009.
9. Seferlis P., Georgiadis M. C., 2004, “The integration of process design and control”, *Computer – Aided Chemical Engineering*, 17, Elsevier.