

# Aplicaciones de Inteligencia Artificial y Minería de Datos a Diagnóstico de Fallos y Estimación de Parámetros

Orestes Llanes-Santiago<sup>a</sup>, Alberto Prieto Moreno<sup>a</sup>, Lídice Camps Echevarria<sup>a</sup>, José Manuel Bernal de Lázaro<sup>a</sup>, Mirtha Irizar Mesa<sup>a</sup>, Egly Barredo Vicedo<sup>a</sup>, Adrián Rodríguez Ramos<sup>a</sup>, Marcos Quiñones Grueiro<sup>a</sup>, Juan Alberto Hernández Fajardo<sup>a</sup>, Doniel Jiménez Sánchez<sup>a</sup>, Antônio José Silva-Neto<sup>b</sup>, Leôncio Diógenes Tavares Câmara<sup>b</sup>, Pedro P.G Watts Rodrigues<sup>b</sup>, Radael de Souza Parolin<sup>b</sup>, Emilio García Moreno<sup>c</sup>, Francisco Morant Anglada<sup>c</sup>, Haroldo Fraga do Campos Velho<sup>d</sup>, José Carlos Becceneri<sup>d</sup>, José Folgueras Méndez<sup>e</sup>, Alejandro Milánes Cruz<sup>e</sup>, Mayelín Torres Vizcaya<sup>f</sup>, Carlos Haug Ramírez<sup>g</sup>

<sup>a</sup>*Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, CUJAE, Cuba*

<sup>b</sup>*Instituto Politécnico- Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil*

<sup>c</sup>*Universitat Politècnica de València, España*

<sup>d</sup>*Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil*

<sup>e</sup>*Instituto Central de Investigación Digital, Cuba*

<sup>f</sup>*Termoléctrica Máximo Gómez del Mariel, Cuba*

<sup>g</sup>*Empresa Bravo S.A., Cuba*

---

## Resumen

Se describen los resultados alcanzados en el diseño de sistemas de diagnóstico de fallos y estimación de parámetros aplicando técnicas de inteligencia computacional y minería de datos. Los trabajos realizados han estado dirigidos al desarrollo de métodos de diagnóstico de fallos que sean robustos ante la presencia de ruidos y perturbaciones externas y sensibles a fallos de pequeña magnitud. En el caso de la estimación de parámetros se ha aplicado un enfoque de solución de problemas inversos planteado a partir de resolver un problema de optimización.

*Palabras Claves:* metaheurísticas, lógica difusa, redes neuronales, métodos kernel, análisis discriminante, clasificadores estadísticos, problemas inversos

---

## 1. Introducción

La importancia del diagnóstico de fallos y la estimación de parámetros en las industrias modernas es cada vez mayor. La demanda de productos de calidad y la necesidad de mantener los procesos en un estado de funcionamiento seguro con garantías para preservar vidas humanas y cuidar el medio ambiente han estimulado intensamente la búsqueda de novedosos métodos en estas dos áreas.

Un problema abierto a la investigación es lograr sistemas de diagnóstico de fallas que sean robustos ante la presencia de ruidos y perturbaciones externas y sensibles a la presencia de fallos de pequeña magnitud. Esta misma problemática se encuentra en la temática de estimación de parámetros.

Teniendo en cuenta lo anterior, desde el año 2008 el grupo de investigación en estimación de parámetros y diagnóstico de fallos en procesos industriales de la CUJAE se ha centrado dos objetivos:

1. Diseño de sistemas de diagnóstico de fallos para procesos industriales que sean robustos ante la presencia de ruidos y perturbaciones externas y a su vez sean sensibles a la presencia de fallos de pequeña magnitud.
2. Desarrollo de nuevos enfoques en la estimación de parámetros en procesos biotecnológicos.

La hipótesis central de la cual se partió fue que con la utilización de herramientas de inteligencia computacional y minería de datos era posible proponer soluciones novedosas a estas dos problemáticas.

A continuación se describen los resultados alcanzados.

## 2. Resultados Alcanzados

### 2.1. Enfoque de solución de problema inverso

Los primeros resultados de la investigación se obtienen usando un enfoque de solución de problemas inversos en el diagnóstico de fallos basado en modelos. En los modelos que describen el comportamiento dinámico del sistema que se estudia, se incorporan los diferentes fallos y se realiza la detección y determinación de la magnitud de los mismos mediante la estimación de parámetros que los identifican directamente. Esto se realiza a través de la solución de un problema de optimización que se resuelve utilizando herramientas de inteligencia computacional. Este mismo proceder se aplicó a la estimación de parámetros en procesos biotecnológicos. Los resultados en estos aspectos fueron publicados en [1], [2], [3].

### 2.2. Utilización de herramientas de inteligencia computacional

Posterior a esos primeros resultados continua profundizándose en el uso de herramientas de la inteligencia computacional en el diagnóstico de fallos y en la estimación de parámetros. En ese sentido se estudian las características de diferentes metaheurísticas y las ventajas de su uso ante las técnicas más avanzadas establecidas en la literatura por la posibilidad de su aplicación independientemente del tipo de modelo usado para representar el sistema (espacio de estado o función de transferencia) y en el diagnóstico de fallos múltiples. Además, se extienden los resultados a la estimación de parámetros en sistemas medioambientales. Los resultados obtenidos son publicados en [4], [5], [6], [7], [8]. Además se estudian la utilización de otras técnicas como la lógica difusa y las redes neuronales [9], [10].

### 2.3. Utilización de herramientas de minería de datos

Todos los resultados anteriores fueron obtenidos a partir de técnicas basadas en modelos. Sin embargo donde los procesos son muy complejos la solución anterior no es factible. En esos casos es recomendable el uso de la información contenida en las grandes bases de datos históricos recopilados por los sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) y para realizar el diagnóstico se utilizaron herramientas de minería de datos provenientes de la estadística y de la inteligencia computacional. Los resultados fundamentales que se han obtenido en este sentido están relacionados con la reducción de la dimensión en los espacios de características a partir de análisis discriminante y empleo de métodos kernel que permiten seleccionar aquellas características que favorezcan la separabilidad de las clases para su posterior clasificación. También se hicieron análisis comparativos entre diferentes tipos de clasificadores para determinar los de mejores resultados. Los resultados obtenidos fueron publicados en [11], [12], [13], [14], [9] [15], [16]. La profundización en el conocimiento de estas herramientas permitió establecer un enfoque estadístico para el análisis de la propagación de la incertidumbre en la estimación de los parámetros de transferencia de masa cinética utilizados para modelar una columna de cromatografía en lecho móvil simulado [17].

### 2.4. Diseño basado en diagnóstico y empleo de autómatas híbridos

Durante el desarrollo de la investigación se llegó a la conclusión que en el diseño de la mayor parte de los sistemas electrónicos e industriales no se tienen en cuenta la posibilidad de utilizar sistemas de diagnóstico de fallos lo cual dificulta posteriormente su implementación. En ese sentido se realizó un trabajo conjunto con un grupo de desarrollo del Instituto Central de Investigación Digital (ICID) dentro de un proyecto internacional con la Universidad Politécnica de Valencia y se desarrolló una metodología para el diseño de sistemas electrónicos basado en diagnóstico de fallos utilizando autómatas híbridos que facilitaron el desarrollo del modelo del sistema. Los resultados fueron publicados en [18].

### 3. Conclusiones

Como resultado de la investigación durante los últimos 6 años se logró la publicación de 8 artículos en revistas de la Web de la Ciencia (WoS), 5 artículos en revistas indexadas en la base de datos SCOPUS (grupo 1), 5 artículos en revistas indexadas en SCIELO (grupo 2) y 27 trabajos presentados en eventos internacionales. Otros resultados muy importantes de este proceso de investigación lo constituye la formación de recursos humanos lograda que comprende la defensa exitosa de 2 tesis doctorales, 5 tesis de maestría y 21 trabajos de diploma; la colaboración internacional expresada en el desarrollo de 3 proyectos internacionales y la colaboración con empresas cubanas y el ICID.

Parte de estos resultados se han aplicado en la Termoeléctrica Máximo Gómez del Mariel y en la Empresa Bravo S. A. perteneciente al MINAL. Ambas entidades emitieron los avales correspondientes.

Los resultados obtenidos en este trabajo están orientados a tributar a los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución que buscan la mayor eficacia y eficiencia en los procesos productivos con garantías de la seguridad de los trabajadores y el medio ambiente.

### Bibliografía

- [1] M. Irizar-Mesa, L. Tavares-Câmara, A. J. Silva-Neto, O. Llanes-Santiago, Inverse solution of a chromatography by means of evolutionary computation, *CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences* 54 (1) (2009) 1–14. doi:10.3970/cmcs.2009.054.001.
- [2] L. Camps-Echeverría, O. Llanes-Santiago, A. J. Silva-Neto, Fault diagnosis in industrial systems using bioinspired cooperative strategies, in: *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*, Vol. 284 of *Studies in Computational Intelligent*, Springer Verlag, 2010, pp. 53–63. doi:10.1007/978-3-642-12538-6\_5.
- [3] L. Camps-Echeverría, O. Llanes-Santiago, A. J. Silva-Neto, A proposal to fault diagnosis in industrial systems using bio-inspired strategies, *Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería* 19 (2) (2011) 240–252. doi:10.4067/S0718-33052011000200009.
- [4] L. Camps-Echeverría, O. Llanes-Santiago, A. J. Silva-Neto, Aplicación de los algoritmos evolución diferencial y colisión de partículas al diagnóstico de fallos en sistemas industriales, *Revista Investigación Operacional* 33 (2) (2012) 160–172.
- [5] L. Camps-Echeverría, O. Llanes-Santiago, A. J. Silva-Neto, H. F. Campos-Velho, An approach of fault diagnosis using metaheuristics : a new variant of differential evolution algorithm, *Computación y Sistemas* 18 (1) (2014) 5–17. doi:10.13053/CyS-18-1-2014-015.
- [6] L. Camps-Echeverría, O. Llanes-Santiago, J. Hernández-Fajardo, A. J. Silva-Neto, D. Jimenez-Sánchez, A variant of the particle swarm optimization for the improvement of fault diagnosis in industrial systems via faults estimation, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 28 (2014) 36–51. doi:10.1016/j.engappai.2013.11.007.
- [7] L. Camps-Echeverría, H. F. Campos-Velho, J. C. Becceneri, A. J. Silva-Neto, O. Llanes-Santiago, The fault diagnosis inverse problema with ant colony optimization and ant colony optimization with dispersión, *Applied Mathematics and Computation* 227 (2014) 687–700. doi:10.1016/j.amc.2013.11.062.
- [8] R. de Souza Parolin, A. J. Silva-Neto, P. W. Rodrigues, O. Llanes-Santiago, Estimation of a contaminant source in an estuary with an inverse problema approach, *Applied Mathematics and Computation* 54 (2015) 331–341. doi:10.1016/j.amc.2015.03.054.
- [9] E. Barrero-Viciedo, B. Fernández, O. Llanes-Santiago, Propuesta de procedimiento para configurar una red neuronal artificial de base radial con aplicaciones al diagnóstico de fallos, *RIELAC, Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Telecomunicaciones XXXV* (3) (2014) 60–75.

- [10] A. Rodríguez-Ramos, O. Llanes-Santiago, Diagnóstico de fallos en un generador de vapor bkz-340-140-29m utilizando herramientas de lógica difusa, *Revista de Ingeniería Mecánica* 15 (2) (2014) 147–156.
- [11] J. M. B. de Lázaro, A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago, E. García-Moreno, Estudio comparativo de clasificadores empleados en el diagnóstico de fallos en sistemas industriales, *Revista de Ingeniería Mecánica* 14 (2) (2011) 87–98.
- [12] M. Torres-Vizcaya, T. Rodríguez-Barrios, A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago., Diagnóstico de fallos en el generador de vapor bkz-340-140-29m, RIELAC, *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Telecomunicaciones* 32 (2) (2011) 31–41.
- [13] A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago, J. M. B. de Lázaro, E. García-Moreno, Comparative evaluation of classification methods used in the fault diagnosis of industrial processes, *IEEE Latin America Transaction* 11 (2) (2013) 682 –689. doi:10.1109/TLA.2013.6533955.
- [14] M. Quinones-Grueiro, A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago, Una propuesta para configurar el algoritmo fastica en el diagnóstico de fallos en sistemas industriales, RIELAC, *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Telecomunicaciones XXXV* (2) (2014) 73–89.
- [15] J. M. B. de Lázaro, A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago, A. J. Silva-Neto, Optimizing kernel methods to reduce dimensionality in fault diagnosis of industrial systems, *Computer & Industrial Engineering* 87 (2015) 140–149. doi:10.1016/j.cie.2015.05.012.
- [16] A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago, E. García-Moreno, Principal components selection for dimensionality reduction using discriminant information applied to fault diagnosis, *Journal of Process Control* 22 (2015) 14–24. doi:10.1016/j.jprocont.2015.06.003.
- [17] A. Prieto-Moreno, L. D. Tavares-Câmara, O. Llanes-Santiago, A. J. Silva-Neto, Factorial experiment design in the front velocity modeling approach applied to chromatographic separation of glucose and fructose, *CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences* Aceptado para publicar.
- [18] A. Prieto-Moreno, O. Llanes-Santiago, A. Milanés-Cruz, J. Folgueras-Méndez, E. García-Moreno, F. Morant-Anglada, Diseño basado en diagnóstico de fallos y sistemas híbridos aplicado en un equipo de desfibrilación ventricular, *Ingeniare, Revista chilena de Ingeniería* 20 (1) (2012) 48–65. doi:10.4067/S0718-33052012000100006.