

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA COMPUTACIONAL

Autoría principal

Alejandro Rosete Suárez¹, Raisa Socorro Llanes¹, Milton García Borroto¹, Ingrid Wilford Rivera¹, Mailyn Moreno Espino¹, Humberto Díaz Pando¹, Diana Martín Rodríguez¹.

Otros autores

Taymí Ceruto Cordovés¹, Jenny Fajardo Calderín¹, Isis Torres Pérez¹, Francisco Herrera Triguero², José Luis Verdegay Galdeano², Juan Pavón Mestra³, María Luisa Micó Andrés⁴, David Alejandro Pelta², Jesús Alcalá Fernández², Carlos Cruz Corona².

Colaboradores

Dr. Roberto Sepúlveda Lima¹, Dr. Gil Cruz Lemus¹, Dra. Marta D. Delgado Dapena¹, MSc. Daymí Morales Vega¹, MSc. David Paredes Miranda¹, MSc. Ana Lilian Infante Abréu¹, MSc. Yahima Hadfeg Fernández¹, MSc. Yasser Leonardo Bardagí López¹, Ing. Eduardo Sánchez Ansola¹, Ing. Orenia Lapeira Mena¹, Ing. Katerine Escalera¹, Dra. Margarita André Ampuero¹, Ing. Alternán Carrasco Bustamante¹, Ing. Ailén Morales¹, Ing. Rosabel Zerquera¹, Ing. Lisandra Bravo Ilisástigui¹, MSc. Darián Horacio Grass Boada⁵, MSc. Octavio Loyola-González⁶, MSc. Cosme Ernesto Santiesteban Toca⁶, MSc. Raciél Yera Toledo⁶, MSc. Miguel Angel Medina-Pérez⁶, Dr. Sergio Cuenca Asensi⁴, Dr. Daniel Ruiz Fernández⁴, Dr. Claudia Plant⁷, Dr. José Francisco Martínez Trinidad⁸, Dr. Andrés Eduardo Gutiérrez-Rodríguez⁸, Dr. Leopoldo Altamirano Robles⁸, Dr. Jesús Ariel Carrasco-Ochoa⁸, Dr. Lei Duan⁸, Dr. Rafael Alejandro Espín Andrade⁹, Dra. María Teresa Lamata², Dr. Antonio David Masegosa Arredondo², MSc. Yoannia Aream Rodríguez¹⁰, MSc. Marlies Martínez, España.

Entidad ejecutora principal

¹Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

Entidades participantes

²Universidad de Granada, España.

³Universidad Complutense de Madrid, España.

⁴Universidad de Alicante, España.

⁵Universidad de Ciencias Informáticas.

⁶Universidad de Ciego de Ávila.

⁷Universidad Técnica de Munich, Alemania.

⁸Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), México.

⁹Universidad de Occidente, México.

¹⁰Universidad para la Cooperación Internacional, Costa Rica.

Autor para correspondencia

Dra. Diana Martín Rodríguez: dmartin@ceis.cujae.edu.cu

Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ Dr. **Alejandro Rosete Suárez**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (9%): Nuevos métodos multiobjetivos para obtener reglas de asociación cuantitativas. Desarrollo de metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes. Método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas. Modelo para el diseño de dispositivos FPGA basado en lógica difusa y metaheurísticas. Método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas. Nueva metaheurística para problemas de optimización dinámica, basada en portafolios de algoritmos. Participación en la tutoría de dos tesis doctorales defendidas. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ Dra. **Raisa Socorro Llanes**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (6%): Mejoría en la eficacia y eficiencia en los métodos de minería de datos basados en distancias. Desarrollo de metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ Dr. **Milton García Borroto**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (6%): Nuevos algoritmos para descubrir patrones con datos incompletos y de algoritmos conceptuales para minería de datos. Método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ Dra. **Ingrid Wilford Rivera**, Departamento de Ingeniería de Software (DIS), Facultad de Ingeniería Informática (6%): Método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ Dra. **Mailyn Moreno Espino**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (6%): Desarrollo de metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ Dr. **Humberto Díaz Pando**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (6%): Modelo para el diseño de dispositivos FPGA basado en lógica difusa y metaheurísticas. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ Dra. **Diana Martín Rodríguez**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (6%): Nuevos métodos multiobjetivos para obtener reglas de asociación cuantitativas. Método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas. Dos publicaciones de la Web de la Ciencias con alto impacto y un premio internacional. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ MSc. **Taymí Ceruto Cordovés**, Departamento de Ingeniería de Software (DIS), Facultad de Ingeniería Informática (5%): Método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ MSc. **Jenny Fajardo Calderín**, Departamento de Inteligencia Artificial (DIAISI), Facultad de Ingeniería Informática (5%): Modelo para el diseño de dispositivos FPGA basado en lógica difusa y metaheurísticas. Método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas. Nueva metaheurística para problemas de optimización dinámica, basada en portafolios de algoritmos. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.
- ✓ MSc. **Isis Torres Pérez**, Departamento de Ingeniería de Software (DIS), Facultad de Ingeniería Informática (5%): Método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas. Modelo difuso para el problema

de ruteo de camiones y remolques. Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.

- ✓ Dr. **Francisco Herrera Triguero**, Universidad de Granada, España (6%): Nuevos métodos multiobjetivos para obtener reglas de asociación cuantitativas. Dirección de una tesis doctoral. Dos publicaciones de la Web de la Ciencias con alto impacto y un premio internacional.
- ✓ Dr. **José Luis Verdegay Galdeano**, Universidad de Granada, España (6%): Modelo difuso para el problema de ruteo de camiones y remolques. Coordinación de programa de doctorado con la Universidad de Granada.
- ✓ Dr. **Juan Pavón Mestra**, Universidad Complutense de Madrid, España (6%): Desarrollo de metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes. Tutoría de una tesis doctoral.
- ✓ Dra. **María Luisa Micó Andrés**, Universidad de Alicante, España (6%): Mejoría en la eficacia y eficiencia en los métodos de minería de datos basados en distancias. Una publicación de la Web de la Ciencias con alto impacto.
- ✓ Dr. **David Alejandro Pelta**, Universidad de Granada, España (5%): Nueva metaheurística para problemas de optimización dinámica, basada en portafolios de algoritmos.
- ✓ Dr. **Jesús Alcalá Fernández**, Universidad de Granada, España (6%): Nuevos métodos multiobjetivos para obtener reglas de asociación cuantitativas. Dirección de una tesis doctoral. Dos publicaciones de la Web de la Ciencias con alto impacto y un premio internacional.
- ✓ Dr. **Carlos Cruz Corona**, Universidad de Granada (5%): España Modelo difuso para el problema de ruteo de camiones y remolques.

Resumen

Problema a resolver: Existen oportunidades no explotadas para mejorar la eficacia y eficiencia de las técnicas de Inteligencia Computacional que pueden lograrse a partir de la combinación adecuada de las potencialidades de las mismas.

Objetivo: Desarrollar nuevas técnicas de Inteligencia Artificial, que logren mejorías en cuanto a eficacia y eficiencia, respecto a las existentes, abriendo espacios para una aplicación mejor de las mismas.

Principales resultados: Los resultados concretos que aportó la investigación son:

- 1) Nuevos métodos multiobjetivos para obtener reglas de asociación cuantitativas.
- 2) Mejoría en la eficacia y eficiencia en los métodos de minería de datos basados en distancias.
- 3) Desarrollo de metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes.
- 4) Método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas.
- 5) Nuevos algoritmos para descubrir patrones con datos incompletos y de algoritmos conceptuales para minería de datos.
- 6) Modelo para el diseño de dispositivos FPGA basado en lógica difusa y metaheurísticas.
- 7) Método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas.
- 8) Modelo difuso para el problema de ruteo de camiones y remolques.
- 9) Nueva metaheurística para problemas de optimización dinámica, basada en portafolios de algoritmos.
- 10) Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.

Conclusiones:

Los resultados han dado lugar a 7 Tesis Doctorales y 29 publicaciones en revistas de alto prestigio (Grupo 1, según MES), de ellas 10 indizadas por ISI-Thompson (Web of Science) y 19 en Scopus. Se presentaron 61 trabajos en eventos y se realizó la tutoría de 27 estudiantes en trabajos de diploma y 13 trabajos de tesis de maestría.

Comunicación corta

El Grupo de Investigación de Minería de Datos, Optimización y Reconocimiento de Patrones (MDORP) de la Facultad de Ingeniería Informática del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (Cujae) agrupa desde el año 2008 a un conjunto de profesores dedicados al desarrollo y aplicación de técnicas de Inteligencia Computacional, pertenecientes a los dos departamentos docentes de la facultad: Departamento de Inteligencia Artificial e Infraestructura de Sistemas Informáticos (DIAISI) y Departamento de Ingeniería de Software (DIS). También cuenta con la participación de otros profesores e investigadores de otras áreas de la Cujae que investigan en temas afines y que participan en los seminarios, así como estudiantes de postgrado de otras instituciones. En funcionamiento del grupo se basa en sesiones sistemáticas de seminarios científicos en que se van presentando y discutiendo los resultados científicos que se van obteniendo.

Al inicio, el grupo contaba con muy pocos doctores, pero a partir de la organización del trabajo del grupo y la colaboración con prestigiosos investigadores de otros países, se ha logrado impulsar el trabajo de formación científica a nivel de maestría y de doctorado, con aportes a nivel teórico y práctico en los años recientes. Entre las entidades extranjeras que han tenido un aporte notable en estos resultados se encuentran universidades de España (como la Universidad de Granada, la Universidad de Alicante, la Universidad Complutense de Madrid), de Alemania (Universidad Tecnológica de Munich TUM) y de México (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, INAOE). En el caso de algunas universidades, la colaboración se ha estructurado alrededor de un programa formal de doctorado grupal, como son los casos de la Universidad de Granada y la Universidad de Alicante. En los casos de la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad Tecnológica de Munich y el INAOE no se trabajó por la vía grupal, sino que se estableció una colaboración directa que finalmente derivó en una participación en la tutoría. Estas universidades cuentan con gran prestigio internacional en diversos temas de Inteligencia Computacional que han fortalecido al grupo MDORP.

Entre las áreas de la Inteligencia Computacional (también conocida con el término inglés “SoftComputing”) que han recibido más atención en el trabajo del grupo están las técnicas de optimización conocidas como metaheurísticas, la minería de datos, la toma de decisiones empleando modelos difusos (también conocida con el término inglés “Fuzzy”) y los modelos basados en agentes inteligentes. Estas áreas no se han trabajado por separado, sino que se han logrado aportes teóricos en la combinación de ellas, así como en las nuevas posibilidades de aplicación de los resultados que se han derivado de las mejoras en eficacia y eficiencia que han salido de los aportes.

La idea central del trabajo ha estado centrado en encontrar oportunidades no explotadas para mejorar la eficacia y eficiencia de las técnicas de Inteligencia Computacional que pueden lograrse a partir de la combinación adecuada de las potencialidades de las mismas, y luego verificar como estos aportes abren espacios para una aplicación mejor de las mismas.

Sobre este último aspecto, los resultados del grupo han venido ampliando su profundidad y su área de aplicación, a partir de la participación activa en investigaciones con aportes a la defensa y el orden interior, dentro del Complejo de Investigaciones Tecnológicas Integradas (CITI), entre las que pueden mencionarse proyectos enfocados a mejorar herramientas para control aduanal, elaboración de retratos hablados, y análisis inteligente de información. Adicionalmente, se han introducido resultados en otros sectores como el deporte.

Finalmente, es importante aclarar que el trabajo no ha estado solamente dirigido hacia la investigación y solución de problemas prácticos, sino que también se ha introducido exitosamente en la docencia de pregrado y de postgrado, la cual se ha impartido tanto en Cuba como en otros países como Venezuela y México.

En general, los resultados fundamentales obtenidos se pueden resumir en los siguientes:

- Nuevos métodos multiobjetivos para obtener reglas de asociación cuantitativas.
- Mejora en la eficacia y eficiencia en los métodos de minería de datos basados en distancias para tareas de búsqueda por similitud y clasificación.
- Desarrollo de metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes.
- Método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas.
- Nuevos algoritmos para descubrir patrones con datos incompletos y de algoritmos conceptuales para minería de datos.
- Modelo para el diseño de dispositivos FPGA basado en lógica difusa y metaheurísticas.
- Método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas.
- Modelo difuso para el problema de ruteo de camiones y remolques.
- Nueva metaheurística para problemas de optimización dinámica, basada en portafolios de algoritmos.
- Aplicación de los resultados obtenidos en la docencia de pregrado y de postgrado.

En general, los resultados en los últimos cinco años (2010-2014) han dado lugar a la presentación de 7 Tesis Doctorales y 29 publicaciones en revistas de alto prestigio (Grupo 1, según MES), de ellas 10 indizadas por ISI-Thompson (Web of Science) y 19 en Scopus. Se presentaron 61 trabajos en eventos y se realizó la tutoría de 27 estudiantes en trabajos de diploma y 13 trabajos de tesis de maestría. Adicionalmente, hay otras dos tesis que están en etapas avanzadas de su escritura para ser defendidas en el año 2015.

En las secciones que siguen, se describen los resultados anteriores con mayores detalles, agrupando la descripción en las dos direcciones fundamentales del trabajo desarrollado:

- Combinación de técnicas de Inteligencia Computacional para crear variantes nuevas y mejores.
- Aplicación de las técnicas desarrolladas buscando nuevos y mejores resultados.

En cada sección, además de explicar los resultados, se incluyen las principales publicaciones relacionadas. Aunque algunas publicaciones se pueden asociar a más de uno de los resultados anteriores debido al enfoque sinérgico seguido, se ha preferido mencionar las publicaciones una sola vez, asociado al resultado más vinculado. En los casos de las publicaciones, solo se resalta la indización correspondiente cuando se corresponde con los grupos 1 y 2 del MES.

1. Combinación de técnicas de Inteligencia Computacional para crear variantes nuevas y mejores.

Las técnicas de Inteligencia Computacional han tenido un creciente reconocimiento, tanto por la comunidad científica como por los encargados de aplicar las técnicas a problemas reales, debido a su flexibilidad innata de ellas para lidiar con la complejidad de la realidad. Por ejemplo, los sistemas difusos permiten trabajar con la vaguedad del mundo donde las cosas realmente no son totalmente verdaderas o falsas, las metaheurísticas permiten enfrentar problemas de optimización en las que no es posible hallar una solución óptima en un tiempo razonable pero permiten una buena solución aproximada, la minería de datos permite obtener modelos que describen datos aun cuando en ello la información esté incompleta, y los agentes permiten modelar una realidad activa y cambiante. En estas técnicas se ha trabajado mucho a nivel mundial, tanto en el desarrollo de cada técnica en sí, como en la mejora de las mismas a partir de incluir potencialidades de otras de las técnicas. En este sentido, los resultados que aquí se presentan siguen esta línea, fundamentalmente trabajando en la intersección de las metaheurísticas, la minería de datos, los sistemas difusos, y los agentes inteligentes.

Metaheurísticas y Minería de Datos

En la línea de la intersección de las metaheurísticas con la minería de datos, hay muchas variantes posibles de establecer la combinación entre ellas, ya que el uso de Minería de Datos puede ayudar a guiar el proceso de optimización de las metaheurísticas, pero también la búsqueda de patrones de conocimiento útiles que pretender hacer la Minería de Datos puede ser vista como un problema de optimización y consecuentemente usar Metaheurísticas para realizar la búsqueda.

- Se ha propuesto un nuevo método para obtener reglas de asociación cuantitativas empleando metaheurísticas. Entre las singularidades del método, está que las reglas que se obtienen pueden tener condiciones positivas y negativas, de modo que lo mismo puede referirse el cumplimiento como el incumplimiento de la condición. Otras de las características interesantes es que se mantiene una población externa de

soluciones (reglas) que se van obteniendo, de modo que puede guiarse la búsqueda hacia la obtención de reglas que se diferencien entre sí, logrando mayor variedad. Un aspecto final a destacar, es que el método trabaja con un enfoque multi-objetivo, de modo que se evalúan las reglas en función de varios aspectos. Este método ha sido comparado de manera exitosa con otros métodos del estado del arte.

- Se ha desarrollado un método para la integración de modelos de minerías de datos obtenidos de distintas fuentes, empleando metaheurísticas. Este método es útil cuando existe un entorno distribuido, en que existen bases de datos locales a las cuales se le puede aplicar métodos de minería de datos para obtener patrones (grupos, árboles, reglas) pero no es posible unir todos los datos en una sola base de datos centralizada para poder aplicar minería de datos. El método propuesto plantea una solución general eficaz para el problema, concibiendo la solución por la vía de optimizar el conjunto de patrones, escogiendo entre los patrones locales obtenidos, y agregando una fase final de refinamiento y estimación de las características cualitativas de los patrones obtenidos.
- Se ha desarrollado una nueva metaheurística que es útil para resolver problemas de optimización dinámica. En este tipo de problemas, la meta de la optimización va cambiando, y es necesario que la metaheurística se ajuste a los cambios. La propuesta se basa en definir un portafolio de algoritmos, que ajusta su funcionamiento según va trabajando, para lo cual aplica técnicas de aprendizaje y de minería de datos.

De los resultados anteriores, se obtuvo un premio internacional:

- MOPNAR: Algoritmo Evolutivo Multi-Objetivo para Extraer Reglas de Asociación Cuantitativas Positivas y Negativas, Premio de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA) al mejor artículo de carácter metodológico presentado a MAEB 2013 (IX Congreso Español de Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados), 19 Septiembre 2013, (D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá, F. Herrera).

También se publicaron trabajos en publicaciones internacionales seriadas, con ISSN:

- Wilford, D. Ruiz, A. Rosete, O. Marín, Integrating Data Mining Models from Distributed Data Sources. Distributed Computing and Artificial Intelligence: 7th International Symposium (DCAI), 2010, Advances in Intelligence and Soft Computing, 79, Editor-in-chief: J. Kacprzyk, Springer-Verlag, ISSN 1867-5662, pp 389-396. (Indexed by: Scopus, ISI Proceedings) (<http://www.springerlink.com/content/ku341120q573uw2x/>).
- J. Fajardo, A. Rosete: Algoritmo Multigenerador de Soluciones, para la competencia y colaboración de Generadores, Revista Internacional de Investigación de Operaciones (RIIO), Edición No. 1, Diciembre de 2010, Año 1, ISSN 2145-9517, pp. 57-62, 2011.
- D. Morales, D. Martín, I. Wilford, A. Rosete: Integración de modelos de agrupamiento y reglas de asociación obtenidos de múltiples fuentes de datos,

Revista Computación y Sistemas, ISSN-1405-5546, Vol. 16, No. 2, p. 175-190, Mes 4, México (indexado por ISI- Thomson-Reuters), 2012.

- D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá-Fernández, F. Herrera: A Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Mining Quantitative Association Rules, International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, IEEE, (ISDA 11th), ISSN: 2164-7143, indexed by SCOPUS, Vol. 1, No. 1, p. 1397-1402, Córdoba, España, 2011.
- J. Fajardo, A. D. Masegosa, A. Rosete, D. A. Pelta: Adaptation schemes and dynamic optimization problems: a basic study on the Adaptive Hill Climbing Memetic Algorithm, Studies in Computational Intelligence, VI International Workshop on Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2013), September 2-4 2013, Canterbury, United Kingdom, ISSN 1860-949x, Springer, pp. 85-97, Vol. 512, 2013
- D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá-Fdez, F. Herrera: QAR-CIP-NSGA-II: A New Multi-Objective Evolutionary Algorithm to Mine Quantitative Association Rules, Information Sciences, ISSN 0020-0255, Vol. 258, pp. 1–28, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.09.009>, (indexado por ISI- Thomson-Reuters), 2014.
- D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá-Fdez, F. Herrera: A New Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Mining a Reduced Set of Interesting Positive and Negative Quantitative Association Rules, aceptado, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, ISSN 1089-778X, (indexado por ISI- Thomson-Reuters), 2013.

En este tema, también se lograron trabajos en publicaciones nacionales seriadas, con ISSN

- Wilford, D. Ruiz, A. Rosete, Modelo de integración de conocimiento descubierto mediante técnicas de minería de datos, Desarrollo de Grandes Aplicaciones de Red, VII Jornadas (JDARE 2010), Alicante, España, octubre 14-15, 2010. Actas. Eds Maciá, F et al, ISSN: 1889-7819, ISBN: 978-84-613-4894-7, pp 275-286.
- D. Martín, D. Morales, I. Wilford, I. Torres, A. Rosete, D. Ruiz, Aplicación de algoritmos metaheurísticos en la integración de modelos de minería de datos, Desarrollo de Grandes Aplicaciones de Red, VII Jornadas (JDARE 2010), Alicante, España, octubre 14-15, 2010. Actas. Eds Maciá, F et al, ISSN: 1889-7819, ISBN: 978-84-613-4894-7, pp 213-224.

En este tema, también se logró publicar dos capítulos de libro:

- D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá-Fdez, F. Herrera, Un nuevo algoritmo Evolutivo Multi-Objetivo para la extracción de Reglas de Asociación Cuantitativas Positivas y Negativas. Eds. David Pelta, Carlos Cruz, Raúl Pérez, J.L Verdegay. pp. 1-16. Contribuciones en Soft Computing, Universidad de Granada. ISBN: 978-84-338-5672-2, 2014
- J. Fajardo, A. Masegosa, A. Rosete, D. Pelta, Esquemas de Portafolio para la resolución de PODs. Eds. David Pelta, Carlos Cruz, Raúl Pérez, J.L Verdegay. Pp. 81-104. Contribuciones en Soft Computing, ISBN: 978-84-338-5672-2, 2014.

Metaheurísticas y agentes

Otra línea en que se ha trabajado, es en la combinación de las metaheurísticas con las tecnologías de agentes inteligentes. En este caso, el resultado fundamental es el siguiente:

- Se han desarrollado metaheurísticas proactivas a partir de un enfoque de agentes, que han permitido que la metaheurística sea capaz de trabajar de manera auto-regulada, mejorando su comportamiento en función de las metas que le traza el humano que quiere usarla. Este modelo de agentes ha permitido desarrollar variantes de varias metaheurísticas basadas en la modificación de la forma de escoger las nuevas soluciones que guiarán la búsqueda o del ajuste del operador que guía la búsqueda.

A partir de este resultado, se incluyeron trabajos en publicaciones internacionales seriadas, con ISSN

- M. Moreno, A. Carrasco, A. Rosete, M. D. Delgado: Patrones de Implementación para Incluir Comportamientos Proactivos, Revista Polibits, ISSN 1870-9044, (indexado por Scielo), January-June 2013, No.47, pp.73-87, 2013.
- M. Moreno, A. Rosete, J. Pavón, An agent based implementation of proactive S-Metaheuristics, Lecture Notes in Computer Science, ISSN 0302-9743, (indexado por Scopus), LNCS Vol. 8073, pp. 1-10, 2013.
- Rosete, M. Moreno: Proactive Selection of Metaheuristics based on Knowledge of Previous Results, Advances in Intelligent Systems Research, ISSN 1951-6851, indexed by Compendex, Vol. 51, p. 111-119, 2013.
- M. Moreno, A. Rosete: Búsqueda local proactiva basada en FDC, Revista Dyna, Medellín, Colombia, ISSN 0012-7353 Printed, ISSN 2346-2183 Online, (indexado por ISI- Thomson-Reuters), Vol. 81, No. 184, pp. 206-213, April 2014.

Sistemas difusos, Minería de Datos y Metaheurísticas

En el caso de la combinación de los sistemas difusos, la minería de datos y las metaheurísticas, se ha trabajado en las direcciones siguientes:

- Se ha propuesto un método para la obtención de predicados difusos usando metaheurísticas. Este método permite obtener predicados difusos, que modelan la vaguedad del mundo real, y que se basan en una forma de representación nueva que avala la obtención de conocimiento que hasta el momento no podía obtenerse. De esta manera, este método es eficaz resolviendo un problema que hasta el momento no era posible enfrentar. Para ello, se emplean metaheurísticas para guiar la búsqueda y un criterio difuso para evaluar la calidad de los predicados.
- Se ha propuesto una nueva familia de métodos de extracción de patrones de contraste para bases de datos mezcladas e incompletas. Estos métodos extraen los patrones de una colección de árboles de decisión que utilizan una novedosa técnica de generación de diversidad. Basados en esta idea, se propuso un nuevo método de extracción de patrones difusos y su uso en problemas de clasificación supervisada con clases duras. También se han obtenido resultados interesantes en las métricas

de comparaciones de patrones de contraste, utilizadas en el contexto de la clasificación y la selección de los mejores patrones para un problema dado. Otros resultados incluyen la combinación de clasificadores y en la adaptación de estos resultados a bases de datos con grandes niveles de desbalance de clases.

De los resultados anteriores, se presentaron trabajos en publicaciones internacionales seriadas, con ISSN

- T. Ceruto, A. Rosete, R. Espín: Obtención de predicados difusos a partir de datos utilizando metaheurísticas, *Revista Internacional de Investigación de Operaciones (RIIO)*, Edición No. 1, Diciembre de 2010, Año 1, ISSN 2145-9517, pp. 29-37, 2011.
- T. Ceruto, O. Lapeira, A. Rosete, R. A. Espín: Discovery of Fuzzy Predicates in Database, *Advances in Intelligent Systems Research*, ISSN 1951-6851, indexed by Compendex, Vol. 51, p. 45-54, 2013.
- M. Martínez, R. A. Espín, V. López, A. Rosete: Discovering Knowledge by Fuzzy Predicates in Compensatory Fuzzy Logic Using Metaheuristic Algorithms, pp. 161-174, *Soft Computing for Business Intelligence*, R. A. Espín, R. Bello, A. Cobo, J. Marx, A. Racet (Editors), *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 537, Springer, ISSN 1860-949X, ISSN 1860-9503 (electronic), ISBN 978-3-642-53736-3, ISBN 978-3-642-53737-0 (eBook), DOI 10.1007/978-3-642-53737-0, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- T. Ceruto, A. Rosete, R. A. Espín: Knowledge Discovery by Fuzzy Predicates, pp. 187-196, *Soft Computing for Business Intelligence*, R. A. Espín, R. Bello, A. Cobo, J. Marx, A. Racet (Editors), *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 537, Springer, ISSN 1860-949X, ISSN 1860-9503 (electronic), ISBN 978-3-642-53736-3, ISBN 978-3-642-53737-0 (eBook), DOI 10.1007/978-3-642-53737-0, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- T. Ceruto, O. Lapeira, A. Tonch, C. Plant, R. Espin, A. Rosete: Mining Medical Data to Obtain Fuzzy Predicates, *Lecture Notes in Computer Science*, ISSN 0302-9743, (indexado por Scopus), LNCS Vol. 8649, pp. 103-118, 2014.
- M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: Fuzzy emerging patterns for classifying hard domains, *Knowledge and Information Systems*, *Knowledge and Information Systems*, ISSN: 0219-1377, August 2011, Volume 28, Issue 2, pp 473-489 (ISI-Thompson)

Adicionalmente, se presentaron trabajos en publicaciones nacionales seriadas, con ISSN

- T. Ceruto, A. Rosete, R. Espín: Método general de descubrimiento de conocimiento utilizando lógica difusa y metaheurísticas, *Desarrollo de Grandes Aplicaciones de Red*, VII Jornadas (JDARE 2010), Alicante, España, octubre 14-15, 2010. Actas. Eds Maciá, F et al, ISSN: 1889-7819, ISBN: 978-84-613-4894-7, pp 243-253.
- T. Ceruto, A. Rosete, R. A. Espín: Búsqueda de predicados difusos en una base de datos utilizando metaheurísticas, *Revista Ingeniería Industrial*, ISSN-1815-5936, indexada por SciELO, Vol 35, No. 1, p. 74-84, 2014.

- T. Ceruto, O. Lapeira, A. Rosete, R. A. Espín: Comparación de metaheurísticas para obtener predicados difusos: un caso curioso, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, ISSN 2227-1899, indexada por SciELO, Vol. 8, No. 2, pp. 69-84, Abril-Junio, 2014.

En este tema, también se logró publicar un capítulo de libro:

- Rosete, T. Ceruto, R. Espín, J. Marx-Gómez: A General Method for Knowledge Discovery using Compensatory Fuzzy Logic and Metaheuristics, (chapter in book) Towards a trans-disciplinary technology of Business and Organizational Intelligence: Gathering Knowledge Discovery, Knowledge Management and Decision Making, p. 240-270, R. Espín, J. Marx, A. Racet (ed), Shaker Verlag, Aachen 2011, ISBN 978-3-8322-9718-3, Series: Oldenburger Schriften Zur Wirtschaftsinformatik, ISSN 1863-8627, January 2011.

Mejoras específicas: Minería de datos y Metaheurísticas

Además de las propuestas anteriores que trabajan fundamentalmente en las combinaciones de técnicas también se han desarrollado mejoras dentro de algunas técnicas en específico. En esta dirección, pueden destacarse los aportes siguientes en el campo propio de la minería de datos:

- Se han desarrollado varios algoritmos que mejoran la eficiencia de los métodos actuales basados en el cálculo de distancias para la búsqueda por similitud. Este método se basa en la exploración y selección de pivotes, lo cual produce una mejoría en la eficiencia de los métodos basados en distancias, ampliamente usados en minería de datos, reconocimiento de patrones y también en metaheurísticas. Incluso, la mejora obtenida en cuanto a la eficiencia, permite la aplicación de estos algoritmos en problemas que implican la búsqueda en bases de datos de dimensiones mayores que las que hasta el momento se pueden enfrentar, esto provoca también un aumento en la eficacia al resolver situaciones nuevas.
- También se han desarrollado mejoras sobre métodos de minería basado en algoritmos conceptuales, que han mejorado el estado del arte del tema, más allá de su impacto en la minería de datos difusa que se mencionó antes.

En el campo de las metaheurísticas en sí mismas, también son importantes los aportes siguientes:

- La estrategia subyacente para la optimización del conjunto de reglas de asociación también es novedosa en sí misma, al incluir integradamente los conceptos optimización multiobjetivo, población externa, reinicio y diferenciación, lo que en su conjunto es posible extrapolarlo a otros usos de metaheurísticas, más allá de la minería de datos. Esto implica un aporte en sí a las metaheurísticas multiobjetivo, más allá del trabajo concreto hecho para obtener reglas de asociación.
- Por otro lado, el aporte metodológico del enfoque proactivo para las metaheurísticas (tipo S-Metaheurísticas) desarrollado, tiene posibilidad de ser extrapolado a otras metaheurísticas de tipo poblacional, ya que se basa en un análisis desde la

perspectiva de agentes que es metodológicamente novedosa. Esto brinda un enfoque singular para desarrollar nuevas metaheurísticas en el futuro.

Sobre estos temas, hay aportes que se incluyeron en algunas de las publicaciones citadas en las secciones anteriores, Adicionalmente a ellas, se lograron presentar otros trabajos en publicaciones internacionales seriadas, con ISSN.

- M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco, M. A. Medina, J. Ruiz-Shulcloper: LCMine: An efficient algorithm for mining discriminative regularities and its application in supervised classification. *Pattern Recognition* 43(9): 3025-3034 (2010), (ISI-Thompson) .
- M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: Cascading an Emerging Pattern Based Classifier, *Advances in Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 6256*, pp 240-249, 2010, (Scopus) .
- M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: A New Emerging Pattern Mining Algorithm and Its Application in Supervised Classification, *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, Lecture Notes in Computer Science Volume 6118*, pp 150-157, 2010, (Scopus) .
- E. Gutiérrez, M. A. Medina, J. F. Martínez, J. A. Carrasco, M. García: New Dissimilarity Measures for Ultraviolet Spectra Identification, *Advances in Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 6256*, pp 220-229, (Scopus), 2010.
- R. Socorro, L. Micó, J. Oncina: A fast pivot-based indexing algorithm for metric spaces. *Pattern Recognition Letters* 32(11): 1511-1516 (2011), (ISI-Thompson) .
- C. E. Santiesteban, M. García, J. S. Aguilar: Using Short-Range Interactions and Simulated Genetic Strategy to Improve the Protein Contact Map Prediction, *Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 7329*, pp 166-175, 2012, (Scopus) .
- M. A. Medina, M. García, A. E. Gutierrez, L. Altamirano: Improving the Multiple Alignments Strategy for Fingerprint Verification, *Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 7329*, pp 147-154, 2012, (Scopus) .
- M. A. Medina, M. García, A. E. Gutierrez, L. Altamirano: Improving fingerprint verification using minutiae triplets, *Sensors*, 12(3), pp:3418-37, 2012 (ISI-Thompson Reuters) .
- R. Socorro, M. L. Micó: Uso eficiente de pivotes aplicado a la búsqueda aproximada en algoritmos rápidos sobre espacios métricos. *Computación y Sistemas* 17(4), 2013, (ISI-Thompson) .
- M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: A survey of emerging patterns for supervised classification, *Artificial Intelligence Review, Artificial Intelligence Review*, ISSN: 0269-2821, October 2012, (ISI-Thompson) .
- R. Yera, Y. Caballero, M. García: A Regularity-Based Preprocessing Method for Collaborative Recommender Systems. *Journal of Information Processing Systems*, ISSN: 1976-913X, JIPS, Vol. 9, No: 3, Pp. 435~460, 2013 (Scopus) .
- M. García, O. Loyola, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: Comparing Quality Measures for Contrast Pattern Classifiers, *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis*,

Computer Vision, and Applications, Lecture Notes in Computer Science Volume 8258, pp 311-318, 2013, (Scopus) .

- O. Loyola, M. García, M. A. Medina, J. F. Martínez, J. A. Carrasco, G. De Ita: An Empirical Study of Oversampling and Undersampling Methods for LCMine an Emerging Pattern Based Classifier, Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 7914, pp 264-273, 2013, (Scopus) .
- M. A. Medina, O. Loyola, A. E. Gutierrez, M. García, L. Altamirano: Introducing an Experimental Framework in C# for Fingerprint Recognition, Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 8495, pp 132-141, 2014, (Scopus) .

En estos mismos temas, se logró además la publicación de un capítulo de libro:

- L. Duan, M. García, G. Dong: More Expressive Contrast Patterns and Their Mining. Contrast Data Mining 2013: 89-108, ISBN 978-1-43-985432-7, CRC Press 2013

2. Aplicación de las técnicas desarrolladas buscando nuevos y mejores resultados.

Los aportes teóricos que se describieron en la sección anterior, también se han combinado con un enfoque práctico enfocado a resolver problemas que tiene implicaciones en la realidad cotidiana. De esta manera, la instanciación de las técnicas trabajadas, en problemas particulares ha llevado al desarrollo de modelo que permiten enfrentar problemas concretos.

De esta manera, a la vez que se han desarrollado nuevos métodos, se ha trabajado en la aplicabilidad y la aplicación de los mismos, constatando lo que se puede ganar con el uso de ellos. Las secciones siguientes detallan los resultados obtenidos.

Aplicación combinada de técnicas de Inteligencia Computacional

Una de las líneas trabajada ha estado enfocada en identificar problemas en que las combinaciones de métodos producen resultados novedosos en otras áreas, y que necesitan de las potencialidades del empleo combinado de técnicas de Inteligencia Computacional. Los aportes fundamentales en esta dirección son los siguientes:

- Se ha desarrollado un modelo para el diseño de dispositivos FPGA basado en lógica difusa y metaheurísticas. Cada uno de los posibles diseños, se basa en la decisión de la ubicación en software o hardware, con implicaciones para la velocidad y el espacio ocupado por el diseño final. Este modelo, permite que un diseñador de este tipo de dispositivos electrónicos pueda definir de manera flexible sus criterios de diseño a través de un modelado difuso de sus intereses, precisado qué tipo de cualidad espera de los diseños. A partir de estos criterios, se emplean metaheurísticas para obtener soluciones al problema que responden a distintos balances en cuanto a los intereses del diseñador que generalmente están en competencia. La propuesta incluye un enfoque multiobjetivo que brinda al diseñador un grupo de buenas soluciones, con diferentes compromisos entre los criterios, permitiendo tomar una solución final de mayor calidad y más orientada.

- Se ha desarrollado un modelo difuso para el problema de ruteo de camiones y remolques, que permite enfrentar este problema de gran interés real para el establecimiento de los recorridos de distribución. El modelo, tiene la singularidad de permitir manejar flexiblemente las características del problema, como son la cantidad de camiones y remolques con los que se cuenta, las capacidades de los mismos, y las peticiones o demandas de cada uno de los puntos en los que hay que distribuir. Este enfoque ha permitido definir un nuevo tipo de problema, constituido por una familia de estos diferenciados en el grado en que se flexibilizan las condiciones originales, y para los cuales se aporta un conjunto de soluciones que el usuario finalmente evaluará y escogerá entre ellas.

A partir de los dos resultados anteriores, se lograron presentar los siguientes trabajos en publicaciones internacionales seriadas, con ISSN.

- H. Díaz, S. Cuenca, R. Sepúlveda, J. Fajardo, A. Rosete: Application of Fuzzy Logic for Hardware/Software Partitioning in Embedded Systems, Revista Computación y Sistemas, ISSN 1405-5546, Vol. 17, No. 1, p. 25-39, Mes 3, México, (indexado por ISI- Thomson-Reuters, Scopus, Scielo), 2013.
- H. Díaz, S. Cuenca, R. Sepúlveda, A. Rosete, J. Fajardo: Algoritmos metaheurísticos en el problema del particionado hardware/software de sistemas, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, ISSN: 1988-3064, indexed by Scopus, Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA), Vol. 16, No. 51, p. 1-13, 2013.
- Torres, J. L. Verdegay, C. Cruz. A. Rosete: Models and Solutions for Truck and Trailer Routing Problems: An overview, International Journal of Applied Metaheuristic Computing, Vol. 4, No. 2, p. 31-43, ISSN: 1947-8283, Estados Unidos, (indexado por INSPEC), doi: 10.4018/jamc.2013040103, 2013.
- Torres, A. Rosete, C. Cruz, J. L. Verdegay: Fuzzy constraints in the Truck and Trailer Routing Problem, Advances in Intelligent Systems Research, ISSN 1951-6851, indexed by Compendex, Vol. 51,p. 71-78, 2013.

Adicionalmente, estos temas se logró publicar dos capítulos de libro:

- Torres, A. Rosete, C. Cruz, J. L. Verdegay: A Soft Computing–based idea applied to the Truck and Trailer Routing Problem, (Chapter XIII), Exploring Innovative and Successful Applications of Soft Computing, Eds: A. D. Masegosa, P. J. Villacorta, C. Cruz, M.S. Garcia, M. T. Lamata, J. L. Verdegay, ISBN: 9781466647855, España, DOI: 10.4018/978-1-4666-4785-5, pp. 245-259, Serie: Advances in Computational Intelligence and Robotics (ACIR), ISSN: 2327-0411, EISSN: 2327-042X, 2013.
- Torres, A. Rosete, C. Cruz, J. L. Verdegay: Una vision de la Soft Computing a través del Problema Ruteo de Camiones y Remolques, Eds. David Pelta, Carlos Cruz, Raúl Pérez, J.L Verdegay. pp. 105-124. Contribuciones en Soft Computing, Universidad de Granada. ISBN: 978-84-338-5672-2, 2014.

Además de los aspectos de aplicabilidad comentados en esta sección, hay otros aspectos que merece la pena destacar como son los siguientes, derivados de la

posibilidad de las nuevas técnicas aportadas para resolver problemas que antes no podían enfrentarse.

- Los métodos para obtener conocimiento difuso presentados en la sección “Sistemas difusos, Minería de Datos y Metaheurísticas” son eficaces en el descubrimiento de modelos que generalizan los datos de una forma diferentes a las previamente existentes. De esta forma, se obtiene conocimientos que antes quedaban ocultos en los datos, y por tanto no se hacía explícito este conocimiento.
- Las reglas de asociación descritas en la sección “Metaheurísticas y Minería de Datos” no se podían obtener por otros métodos, porque no era posible antes tratar condiciones positivas y negativas en reglas que a su vez eran simplificadas buscando lo realmente diferente, simplificando el trabajo de los usuarios de minería de datos porque se alivia la limpieza y post-procesamiento de los modelos obtenidos.
- La nueva forma de calcular la distancia presentada en la sección “Mejoras específicas: Minería de datos y Metaheurísticas”, permite que sean ahora enfrentados problemas que antes era imposible enfrentar en un contexto de tiempo reducido, lo cual ampliar el espectro de aplicación de las muchas técnicas de minería de datos que se basan en distancias.
- El método propuesto en la sección “Metaheurísticas y Minería de Datos” que en un trabaja en contexto de minería distribuida permite que se puedan generalizar datos que son sensibles (por ejemplos, personales o clínicos) u ocultos (de importancia para el orden interior), a los cuales se le puede aplicar ahora métodos de minería de datos locales, y solo compartiendo los modelos, sin enviar la información detallada que es más sensible. Esto abre un espacio de mayor aplicabilidad de técnicas de minería de
- datos a nuevos campos, con los consecuentes incrementos en el entendimiento de la situación y el aporte que tiene esto a la toma de decisiones en diversos ámbitos.
- Las publicaciones asociadas a estos temas se mencionaron en las respectivas secciones.

Aplicaciones: seguridad y orden interior

Es importante mencionar que los aportes científicos (teóricos y prácticos) que se ha mencionado antes han sido aplicados en diversos contextos concretos. Entre ellos vale mencionar que se ha trabajado en varios problemas relevantes para la seguridad y el orden interior del país, desarrollando proyectos concretos en el Centro de Investigaciones Tecnológicas Integradas (CITI) donde se emplean los resultados anteriores en las áreas de control aduanal, elaboración de retratos hablados, ruteo de vehículos, análisis de información y seguridad informática. En todos estos temas se han tutorado más de 40 tesis de diploma en Ingeniería Informática en los últimos 4 años.

De esos aportes, se logró un premio:

- Sistema para la Elaboración de Retratos Hablados, Premio Destacado, Concurso Nacional de Computación, (Y. Torres, E. Hernández, A. Fernández, Tutores: A. Rosete, D. Paredes, J. Fajardo), Febrero 2014

Además, se presentaron trabajos en publicaciones internacionales seriadas, con ISSN

- L. Infante, M. André, A. Rosete, L. Rampersaud: Conformación de equipos de proyectos de software aplicando algoritmos metaheurísticos de trayectoria multiobjetivo, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, ISSN: 1988-3064, indexed by Scopus, Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA), Vol. 17, No. 54, p. 1-16, 2014.

Adicionalmente, también se lograron trabajos en publicaciones nacionales seriadas, con ISSN

- M. Moreno, A. Carrasco, A. Rosete, M. D. Delgado, Apoyo a la toma de decisiones en un Observatorio Tecnológico incorporando proactividad, Revista de Ingeniería Industrial, ISSN 1815-5936, (indexado por Scielo), Vol. 34, No. 3, p. 293-306, 2013.
- Y. Hadfeg, M. Moreno, A. Rosete, A. Carrasco, Y. Juan: Requisitos de Ingenierías con un enfoque del modelado social e i*, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, ISSN 2227-1899, indexada por SciELO, Vol. 8, No. 3, pp. 26-40, Julio-Septiembre, 2014.
- M. Moreno, A. Rosete, A. Carrasco, Y. Hadfeg, M. D. Delgado: Un Observatorio Tecnológico proactivo a partir del Modelado Social, Ciencias de la Información Vol. 45, No. 1, enero - abril, pp. 31 - 42, (Compendex), 2014
- K. Escalera, A. L. Infante, M. André, A. Rosete: Uso de estrategias de paralelización en algoritmos metaheurísticos para la conformación de equipos de software, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, ISSN 2227-1899, indexada por SciELO, Vol. 8, No. 3, pp. 53-68, Julio-Septiembre, 2014.

Aplicación: calendarios de Series Nacionales de Béisbol

Los avances en metaheurísticas fueron usados para elaborar los calendarios oficiales de las Series Nacionales de Béisbol 52 y 53 en sus etapas clasificatoria y segunda vuelta, constanding ahorros que oscilaron entre un 20 y un 30% del total de kilómetros recorridos respecto a la solución por el método manual que se usaba antes, y obteniendo el resultado en menos del 1% del tiempo.

Asociado a este trabajo, se lograron premios a varios niveles con el trabajo siguiente:

- Ahorro en la transportación de los equipos en las Series Nacionales de Béisbol empleando metaheurísticas, (A. Rosete, D. Paredes, E. Sanchez), XVI Forum de Ciencia y Técnica, Premio Relevante, Distinción Especial, Primera Etapa, CUJAE, Cuba, 20 mayo 2013, Premio Relevante, Distinción Especial, Nivel Municipal, Marianao, 21 septiembre 2013, Premio Relevante, Nivel Provincial, La Habana, Cuba, 28 noviembre 2013.

También con este trabajo se presentó un trabajo en una publicación nacional seriada, con ISSN

- Rosete, D. Paredes, E. Sánchez: Reducción del costo de transportación en las Series Nacionales de Béisbol empleando metaheurísticas, Revista Ingeniería

Mecánica, ISSN 1815-5944, indexada por SciELO, Vol. 16, No. 3, septiembre-diciembre, p. 257-271, 2013.

También relacionado con este trabajo, se publicó un libro:

- A. Rosete, A. Guerra: Una solución flexible y eficiente para el trazado de grafos basada en el Escalador de Colinas Estocástico, Editorial Académica Española, EAE, ISBN: 978-3-8465-6220-8, 2011.

Otras aplicaciones

Además de los temas anteriores, otros resultados de los aportes logrados, han dado lugar a la presentación de un trabajo en una publicación internacional seriada, con ISSN

- Y. Arean, A. Rosete, F. Marín-Vargas: “Evaluación de un Modelo Matemático para Apoyar Toma de Decisiones Empresariales Complejas”, Revista Internacional de Administración & Finanzas (RIAF), ISSN 1933-608xm, The Institute for Business and Finance Research, p. 1-14, Vol. 7, No. 6, 2014.
- D. Morales, M. T. Lamata, A. Rosete, J. M. Lozano: Applying Pareto Meta-Analysis in Location Selection for Photovoltaic Plant, Advances in Intelligent Systems Research, ISSN 1951-6851, indexed by Compendex, Vol. 51, p. 218-224, 2013.
- También se presentaron trabajos en publicaciones nacionales seriadas, con ISSN
- G. Cruz, R. Zerquera, A. Morales, A. Rosete: Estimación de parámetros meteorológicos secundarios: Altura de la Capa de Mezcla Convectiva, Altura de la Capa de Mezcla Mecánica y Velocidad Convectiva de Escala en la zona de la CUJAE utilizando técnicas de minería de datos, Revista Cubana de Ingeniería, DOAJ, Número 3, Vol. 1, Año 2010.
- D. H. Grass, A. Rosete, J. E. Sánchez, V. Guerra: Minería de uso Web aplicada a registros de navegación por Internet, Revista Cubana de Ingeniería, ISSN: 2223-1781 (indexado por DOAJ), Vol. 3. No. 3, Mes 9, 2012.
- Adicionalmente, los avances han sido aplicados en la docencia que se imparte en la Facultad de Ingeniería Informática en todos los niveles:
- Pregrado (asignaturas: Introducción a la Inteligencia Artificial, Procesamiento de Señales e Imágenes, Minería de Datos, Algoritmos Metaheurísticos, Agentes Inteligentes)
- Postgrado (Sistemas Informáticos Inteligentes, Matemática Discreta, Matemática Computacional, Algoritmos Metaheurísticos, Minería de Datos).

3. Balance general de las publicaciones

En conjunto, alrededor de los aportes anteriores, se han tutorado más de 40 tesis de diploma, 10 tesis de maestría, y se han presentado 7 tesis doctorales en los últimos 5 años (2010-2014).

También se han presentado más de 30 trabajos en eventos científicos internacionales con memoria impresa, 9 trabajos en eventos nacionales con memoria, y más de 15 trabajos en eventos sin memoria.

El trabajo global del grupo, además de los premios mencionados en las secciones previas, también ha recibido los premios siguientes:

- Premio al Resultado que refleja el avance científico técnico de mayor trascendencia y originalidad: Metaheurísticas en la solución de diversos problemas, Balance de Investigaciones CUJAE, Diciembre de 2013, (A. Rosete, R. Socorro, D. Martín, H. Díaz, M. Moreno, J. Fajardo, T. Ceruto, I. Torres, D. Paredes, A. L. Infante, E. Sánchez, O. Lapeira, K. Escalera).
- Distinción Especial del Ministro de Educación Superior (Alejandro Rosete): Trabajo en Investigaciones, 1 de Abril de 2014.

Haciendo un balance general de las publicaciones, los resultados obtenidos en los años comprendidos entre el 2010 y el 2014 se pueden resumir numéricamente de la manera siguiente:

- 10 publicaciones en Revistas indizadas por ISI-Thompson Reuters (Web of Science)
- Otras 19 publicaciones en revistas clasificadas como Grupo 1 por el Ministerio de Educación Superior (Scopus)
- 14 publicaciones en revistas clasificadas como Grupo 2 por el Ministerio de Educación Superior (Scielo, Compendex, INSPEC)
- Un premio internacional, de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA) al mejor artículo de carácter metodológico.
- Varios premios en Cuba, entre los que pueden destacarse un premio relevante en el Forum de Ciencia y Técnica a nivel provincial y un Premio Destacado en el Concurso Nacional de Computación
- Se presentaron 34 trabajos en eventos internacionales con memoria.
- Se presentaron 9 trabajos en eventos nacionales con memoria.

Referencias Bibliográficas

- [1] T. Ceruto, A. Rosete, R. A. Espín: Knowledge Discovery by Fuzzy Predicates, pp. 187-196, Soft Computing for Business Intelligence, R. A. Espín, R. Bello, A. Cobo, J. Marx, A. Racet (Editors), Studies in Computational Intelligence, Vol. 537, Springer, ISSN 1860-949X, ISSN 1860-9503 (electronic), ISBN 978-3-642-53736-3, ISBN 978-3-642-53737-0 (eBook), DOI 10.1007/978-3-642-53737-0, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [2] H. Díaz, S. Cuenca, R. Sepúlveda, J. Fajardo, A. Rosete: Application of Fuzzy Logic for Hardware/Software Partitioning in Embedded Systems, Revista Computación y Sistemas, ISSN 1405-5546, Vol. 17, No. 1, p. 25-39, Mes 3, México, (indexado por ISI-Thomson-Reuters, Scopus, Scielo), 2013.

- [3] J. Fajardo, A. D. Masegosa, A. Rosete, D. A. Pelta: Adaptation schemes and dynamic optimization problems: a basic study on the Adaptive Hill Climbing Memetic Algorithm, *Studies in Computational Intelligence, VI International Workshop on Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2013)*, September 2-4 2013, Canterbury, United Kingdom, ISSN 1860-949x, Springer, pp. 85-97, Vol. 512, 2013
- [4] M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: Fuzzy emerging patterns for classifying hard domains, *Knowledge and Information Systems, Knowledge and Information Systems*, ISSN: 0219-1377, August 2011, Volume 28, Issue 2, pp 473-489 (ISI-Thompson)
- [5] M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco: A survey of emerging patterns for supervised classification, *Artificial Intelligence Review, Artificial Intelligence Review*, ISSN: 0269-2821, October 2012, (ISI-Thompson)
- [6] D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá-Fdez, F. Herrera: A New Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Mining a Reduced Set of Interesting Positive and Negative Quantitative Association Rules, *accepted, IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, ISSN 1089-778X, (indexado por ISI- Thomson-Reuters), 2013.
- [7] D. Martín, A. Rosete, J. Alcalá-Fdez, F. Herrera: QAR-CIP-NSGA-II: A New Multi-Objective Evolutionary Algorithm to Mine Quantitative Association Rules, *Information Sciences*, ISSN 0020-0255, Vol. 258, pp. 1–28, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.09.009>, (indexado por ISI- Thomson-Reuters), 2014.
- [8] M. Moreno, A. Rosete, J. Pavón, An agent based implementation of proactive S-Metaheuristics, *Lecture Notes in Computer Science*, ISSN 0302-9743, (indexado por Scopus), LNCS Vol. 8073, pp. 1-10, 2013.
- [9] M. Moreno, A. Rosete: Búsqueda local proactiva basada en FDC, *Revista Dyna, Medellín, Colombia*, ISSN 0012-7353 Printed, ISSN 2346-2183 Online, (indexado por ISI- Thomson-Reuters), Vol. 81, No. 184, pp. 206-213, April 2014.
- [10] R. Socorro, L. Micó, J. Oncina: A fast pivot-based indexing algorithm for metric spaces. *Pattern Recognition Letters* 32(11): 1511-1516 (2011), (ISI-Thompson)
- [11] R. Socorro, M. L. Micó: Uso eficiente de pivotes aplicado a la búsqueda aproximada en algoritmos rápidos sobre espacios métricos. *Computación y Sistemas* 17(4), 2013, (ISI-Thompson)
- [12] Torres, J. L. Verdegay, C. Cruz. A. Rosete: Models and Solutions for Truck and Trailer Routing Problems: An overview, *International Journal of Applied Metaheuristic Computing*, Vol. 4, No. 2, p. 31-43, ISSN: 1947-8283, Estados Unidos, (indexado por INSPEC), doi: 10.4018/jamc.2013040103, 2013.
- [13] I. Wilford, D. Ruiz, A. Rosete, O. Marín, Integrating Data Mining Models from Distributed Data Sources. *Distributed Computing and Artificial Intelligence: 7th International Symposium (DCAI)*, 2010, *Advances in Intelligence and Soft Computing*, 79, Editor-in-chief: J. Kacprzyk, Springer-Verlag, ISSN 1867-5662, pp 389-396. (Indexed by: SCOPUS, ISI Proceedings), (<http://www.springerlink.com/content/ku341120q573uw2x/>).

- [14] M. García, J. F. Martínez, J. A. Carrasco, M.A Medina, J. Ruiz-Shulcloper: LCMine: An efficient algorithm for mining discriminative regularities and its application in supervised classification. *Pattern Recognition* 43(9): 3025-3034 (2010) (ISI-Thompson)