

TÉCNICAS DE MINERÍA DE DATOS Y METAHEURÍSTICAS APLICADAS A LA EXPLOTACIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA EÓLICA

de San Pedro M.^{*}, Pandolfi D.^{*}, Lasso M.^{*}, Villagra A.^{*}, Lorenzetti D.[#], Fernandez C.[#], Valdez J.^{*}, Varas V.^{*}, Vidal P.^{*}, Bilbao M.^{*}

(*) Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

(#) Laboratorio de Energías Renovables

Unidad Académica Caleta Olivia - Universidad Nacional de La Patagonia Austral
e-mail: {edesanpedro, dpandolfi, mlasso, avillagra, dloren, cfernandez, jcvaldez, vvaras, pjvidal}@uaco.unpa.edu.ar; martb82@hotmail.com

Leguizamón, G.

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)
Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis
e-mail: legui@unsl.edu.ar

CONTEXTO

Esta línea de Investigación forma parte del proyecto “*Minería de Datos y Técnicas Metaheurísticas: su aplicabilidad al problema de explotación eficiente de energía eólica a través de la obtención de modelos aproximados y distribución óptima de máquinas eólicas*” del Laboratorio de Tecnologías Emergente (LabTEM) en el marco del programa de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

RESUMEN

La presente propuesta involucra tres temáticas principales: Metaheurísticas, Minería de Datos y Energía eólica (problemas asociados a la explotación eficiente de un parque eólico). En el caso de las metaheurísticas, el grupo tiene una amplia experiencia demostrada a través de la sostenida producción científica desde sus inicios en el año 1998, en publicaciones nacionales ([Villagra et al, 2005a] [Villagra et al, 2005b] [Villagra et al, 2004b] [Pandolfi et al, 2003a] [de San Pedro et al, 2003a] [Lasso et al, 2003a] [Lasso et al, 2003b] [de San Pedro et al, 2002a] [Lasso et al, 2002a] [Pandolfi et al, 2002c]) e internacionales ([de San Pedro et al, 2005] [Villagra et al, 2004a] [Lasso et al, 2004] [de San Pedro et al, 2004] [Lasso et al, 2003c] [de San Pedro et al, 2003c] [Pandolfi et al, 2003b] [Pandolfi et al, 2002a] [Pandolfi et al, 2002d]) en eventos de reconocida jerarquía, como también varios artículos en revistas [Pandolfi et al, 2004] [Pandolfi et al, 2002b].

Asimismo, el campo de Minería de Datos fue incorporado al grupo como objeto de estudio y sus posibles aplicaciones en el último proyecto presentado y actualmente en ejecución cuyo principal objetivo es el uso de metaheurísticas en el campo de minería de datos para mejorar el desempeño de las técnicas de minería de datos o como técnicas de minería de datos en sí.

Finalmente, sobre la problemática de la instalación de parques eólicos, el grupo ha incorporado dos nuevos integrantes quienes a su vez son integrantes de un grupo de investigación especializado en energías renovables. A partir de una fluida interacción con los mismos, los objetivos propuestos podrán ser alcanzados.

Palabras clave: *Minería de datos, Energía Eólica, Modelos descriptivos y predictivos, Metaheurísticas, Problemas de Asignación*

1. INTRODUCCION

En la actualidad, la producción de energía basada en recursos no-renovables, como el petróleo, ha alcanzado importantes niveles de desarrollo, sin embargo, su continuidad está muy limitada por diversos factores que tienen que ver, por ejemplo, con el incremento de los costos para su explotación, efectos nocivos en el medio-ambiente y principalmente, por su agotamiento en un corto plazo.

En consecuencia, diversas fuentes alternativas para la producción de energía, vienen siendo consideradas. Una de ellas, la producción de energía eólica. En este caso particular, es importante poder realizar una explotación eficiente de su principal recurso (el viento) a los efectos de lograr niveles adecuados en cuanto a la relación del costo de la inversión para realizar la explotación y el beneficio obtenido en cuanto a la capacidad de energía producida. En este sentido, un gran número de factores deberán ser considerados al momento de diseñar una estrategia que genere importantes beneficios a un costo razonable. Por ejemplo, factores como la intensidad y regularidad del viento, las características topográficas de la región en donde se instalará el parque, tipo y cantidad de máquinas eólicas (aerogeneradores), y su respectiva distribución, entre muchos otros factores.

Desde un punto de vista global y vinculado con la presente propuesta, podemos diferenciar varias etapas en el desarrollo de un plan de explotación eólica:

a) Recolección de datos sobre las características del viento (mediciones a través de veletas y anemómetros). Esta etapa también implica la definición de una estrategia adecuada para la selección de la ubicación y tipo de los equipos de medición a utilizar en función de al menos, los siguientes aspectos: velocidad media y máxima del viento, distribución de frecuencias en las diferentes direcciones, variación del viento con respecto a la altura y posición, estadística de ráfagas, etc. [Escudero 2003].

b) Inferencia de posibles modelos del comportamiento del viento según los datos recolectados. En este caso, el estudio se puede complementar con aproximaciones basadas en la distribución de Weibull [Weibull 1951] la cual puede ser usada para caracterizar los datos asociados a la velocidad del viento.

c) Determinación del número y distribución óptima de las máquinas eólicas en lo que se denomina conformación del parque eólico o “*wind farm*”. Más precisamente, un parque eólico es una agrupación de máquinas eólicas o aerogeneradores, usadas para producir energía eléctrica y las cuales se distribuyen sobre una región generalmente extensa.

d) Uso de los modelos encontrados para realizar predicciones sobre el comportamiento del viento y por lo tanto, lograr un uso más eficientemente del equipamiento instalado.

Los puntos a), b) y d) se enmarcan, dentro de nuestra propuesta, en el contexto del proceso conocido como KDD (*Knowledge Discovering in Databases*). Si bien el término KDD fue utilizado originalmente sobre datos almacenados en bases de datos, hoy en día, se lo considera un proceso que permite la extracción automática de conocimiento a partir de volúmenes de datos estadísticamente significativos (no necesariamente almacenados en bases de datos tradicionales o estructurados).

La minería de datos constituye el núcleo del análisis inteligente de los datos y ha recibido un gran impulso en los últimos tiempos motivado por distintas causas: i) el desarrollo de algoritmos eficientes y robustos para el procesamiento de grandes volúmenes de datos, ii) un poder computacional más barato que permite utilizar métodos computacionalmente intensivos, y iii) las ventajas comerciales y científicas que han brindado este tipo de técnicas en las más diversas áreas. Entre las áreas donde han sido utilizadas exitosamente las técnicas de minería de datos podemos mencionar distintas aplicaciones financieras y bancarias, análisis de mercado, seguros y salud privada,

educación, procesos industriales, medicina, biología, bioingeniería, telecomunicaciones, Internet, turismo, deportes, etc.

Es importante diferenciar en la minería de datos, el tipo de tareas que se suelen abordar y las técnicas utilizadas en cada caso. Como ejemplos de tareas generales, se pueden mencionar el aprendizaje de conceptos, clasificación, categorización, regresión, agrupamiento (o *clustering*), correlaciones y análisis de asociación. Estas tareas pueden ser abordadas mediante distintos métodos o técnicas que suelen adaptarse mejor de acuerdo a la tarea sobre la cual se trabajará. Entre las técnicas más conocidas se puede mencionar el aprendizaje de reglas de clasificación, reglas de asociación, reglas relacionales, reglas difusas, árboles de decisión (y regresión), ecuaciones de regresión, redes neuronales, metaheurísticas, etc. [Witten 1999], [Witten 2005], [Orallo et al. 2003]. En términos generales, el análisis inteligente de datos surge como una necesidad para dar respuesta a las limitaciones que exhiben hoy en día las técnicas tradicionales de análisis e interpretación manual de los datos.

Actualmente, llevar a cabo un análisis manual de los datos se torna impráctico si se consideran los grandes volúmenes de información originados desde distintas fuentes: registro automático de transacciones comerciales, actividades desarrolladas en Internet, disponibilidad *on-line* de resultados experimentales y mediciones científicas (velocidad y dirección del viento en distintas horas del día), etc.

En el contexto de construcción y mantenimiento de plantas productoras de energía, es indudable que a medida que los costos de los equipos para captura de diversos datos disminuyen y por ende se expande su utilización, la cantidad de datos recolectados se incrementa proporcionalmente. En la actualidad existe un término (*Energy Data Mining*), que identifica a todos aquellos procesos de búsqueda automática en grandes volúmenes de datos, derivados de observaciones vinculadas a plantas productoras de energía, que intentan descubrir patrones ocultos, correlaciones entre diferentes atributos y modos operacionales sostenidos. Por lo tanto, tareas típicas de minería de datos, tal como *clustering*, regresión, clasificación, reglas de asociación, etc., pueden ser aplicadas sobre esos datos que ayuden a la toma de decisiones para un adecuado diseño y/o funcionamiento de una planta productora de energía. En el caso de la energía eólica y desde la perspectiva del proyecto propuesto, estamos ante al siguiente situación: por un lado, es importante tratar de ajustar los modelos del comportamiento del viento en ciertas regiones de la Patagonia, a través del análisis de datos que permitan, describir o explicar el comportamiento de los datos; y por otro lado, poder realizar ciertas predicciones para mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles cuando la planta se encuentre

en proceso de producción. (<http://www.osdpd.noaa.gov/ml/index.html>).

Sin embargo, existen otras decisiones importantes antes de poner en funcionamiento un parque eólico de manera tal que pueda aprovechar al máximo las condiciones climáticas (comportamiento del viento en la zona elegida). En este caso, es de vital importancia la distribución de las máquinas eólicas, ya que este tipo de decisiones no son tan simples (es decir, no se trata solamente de distribuir aerogeneradores en una región ventosa). Cabe aclarar, que hay otro aspecto de fundamental importancia (fuera del alcance de nuestra propuesta) vinculado al tipo y diseño de los aerogeneradores a ser usados en la instalación.

Un proyecto bien encarado para la explotación eólica debe cuidadosamente definir la locación en donde se ubicarán las máquinas eólicas considerando, entre otras cosas, dirección y velocidad del viento en conjunción con otros aspectos específicos como por ejemplo, tener en cuenta que la velocidad del viento se incrementa con la altitud en regiones abiertas y que los sitios más adecuados son aquellos en la cima de cerros lisos y redondeados, en praderas y líneas costeras abiertas o entre montañas cercanas. En este último caso, por la posibilidad de la ocurrencia del efecto “embudo”.

Claramente, el problema de la distribución de las máquinas eólicas puede ser representado como un problema de optimización en donde la función objetivo podría representar la energía eléctrica producida (un problema de maximización de beneficios). Siendo éste además, un problema de alta complejidad, puede existir más de un objetivo a optimizar e inclusive varias restricciones (lineales y no-lineales) asociadas al problema. En este sentido, diversas propuestas han sido consideradas para resolver el problema de distribución de las máquinas eólicas según las características de la función objetivo y la existencia de restricciones [Donovan 2005], [Donovan 2007], [Donovan 2008], [Eliknton 2008].

Sin embargo, hay situaciones en que los métodos tradicionales están limitados en su aplicación, y por ende los enfoques metaheurísticos se presentan como una alternativa altamente viable, no sólo por su robustez y flexibilidad, sino por la calidad de los resultados encontrados en tiempos razonables [Mora et al. 2006], [Mora et al. 2007a], [Mora et al. 2007b], [Grady et al. 2005]. Más precisamente, las metaheurísticas proveen de un marco general que permite crear nuevos híbridos a través de la combinación de conceptos derivados de: heurísticas clásicas, inteligencia artificial, evolución biológica, sistemas naturales, mecánica estadística, etc. Esta familia de enfoques incluyen, pero no están limitados, a algoritmos evolutivos (AEs), optimización basada en colonia de hormigas (ACO),

búsqueda local, búsqueda local guiada, búsqueda local iterada, *simulated annealing* (SA), *tabu search* (TS), *scatter search* (SS), *greedy randomized adaptive search process* (GRASP), redes neuronales, etc. [Glover et al. 2003]. En su evolución, estos métodos han incorporado diferentes estrategias para evitar la convergencia a óptimos locales, especialmente en espacios de búsqueda complejos. En la actualidad es indiscutible el gran impacto que el desarrollo de las metaheurísticas ha tenido en muchos campos de aplicación, tanto en el ámbito académico como en problemas del mundo real. Además, varias de las metaheurísticas mencionadas anteriormente se caracterizan por ser poblacionales y por llevar a cabo un proceso de búsqueda altamente distribuido. Esto, en términos de mejoras en la eficiencia computacional, ha derivado en desarrollos de modelos y algoritmos paralelos, que no sólo se traduce en el aprovechamiento de las capacidades de cómputo existentes en la actualidad, sino que además, un incremento en la calidad de los resultados esperados [JH 2002], [Alba 2005].

En síntesis, el presente proyecto tiene dos objetivos principales, uno de ellos, destinado a la aplicación de técnicas de minería de datos para el análisis inteligente de datos obtenidos a través de diversas mediciones *in situ* (provisas por diferentes fuentes), que permitan inferir modelos descriptivos y predictivos del comportamiento del viento. La otra parte, orientada a la investigación y desarrollo de metaheurísticas (versiones seriales y paralelas), para resolver uno de los problemas claves (distribución) asociados al proceso de instalación de aerogeneradores en un parque eólico.

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

De lo anterior, se desprenden en detalle las siguientes líneas temáticas específicas:

A.1) Organización de los datos provenientes de mediciones *in situ* (de la región patagónica o de otras fuentes disponibles para uso de la comunidad científica).

A.2) Aplicación de técnicas de Minería de Datos (tareas descriptivas y predictivas).

B.1) Investigación, desarrollo y aplicación de Metaheurísticas para la distribución eficiente de los aerogeneradores o máquinas eólicas.

B.2) Paralelización de las Metaheurísticas desarrolladas (aprovechamiento de sus características inherentes para acelerar el proceso de búsqueda y mejorar la calidad de las soluciones).

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Avance del conocimiento científico en el área.

A partir de los objetivos planteados, se espera lograr un importante avance en conocimiento en el área de aplicación de técnicas de minería de datos en el ámbito de explotación de energía eólica. Además, se espera lograr un desarrollo de algoritmos avanzados basados en inteligencia computacional para distribución de aerogeneradores considerando situaciones próximas a la realidad dado el contexto geográfico y de trabajo del grupo de investigación.

Es importante destacar además, la consolidación del grupo en este campo de investigación a nivel regional, nacional e internacional a través de sus propios desarrollos y de la interacción en progreso con grupos de otras Universidades, en particular con el grupo del LIDIC de la Universidad Nacional de San Luis con el cual este grupo mantiene una estrecha relación de colaboración con perspectivas de consolidación hacia el futuro. Específicamente el Dr. Guillermo Leguizamón que oficiará como asesor científico externo del Proyecto con la posibilidad de realizar visitas periódicas a la Unidad Académica Caleta Olivia.

Contribución al desarrollo socioeconómico del país, región, provincia, etc.

Existen posibilidades concretas de transferencia directa o indirecta de los resultados, dada la aplicabilidad de los métodos a estudiar, a instituciones y/o empresas del medio que necesiten estudiar y resolver determinados problemas vinculados al aprovechamiento de la energía eólica.

Más importante aún, el presente proyecto se desarrollará en un contexto geográfico altamente beneficioso dada la existencia de planes concretos de explotación de energía eólica en la región, como también la existencia de grupos de investigación vinculados a la temática, con los cuales se pueden realizar intercambios de gran utilidad e impacto entre los grupos involucrados.

4. FORMACION RECURSOS HUMANOS

Dos de los integrantes, están actualmente realizando sus estudios de postgrado (Doctorado), que iniciaron en Noviembre de 2008, en la Universidad de Málaga bajo la dirección del Dr. Anrique Alba, para realizar estudios sobre Modelos y Algoritmos Paralelos en el ámbito de Metaheurísticas.

Un integrante está desarrollando su Tesis de Maestría estimando su defensa para mediados de 2009, en la Universidad Nacional de San Luis bajo la dirección del Dr. Guillermo Leguizamón.

Dos integrantes, han comenzado a definir su plan de tesis en temas afines a los propuestos en el proyecto, y han comenzado a realizar cursos de postgrado como parte inicial de sus tareas para definir su plan.

5. BIBLIOGRAFIA

- [Alba 2005] E. Alba - Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms, Wiley-Interscience, 2005.
- [de San Pedro et al, 2002a] de San Pedro M., Pandolfi D., Villagra A., Lasso M., Vilanova G, Gallard R. - Adding problem-specific knowledge in evolutionary algorithms to solve W-T scheduling problems - CACIC 2002, Buenos Aires, 2002.
- [de San Pedro et al, 2003a] de San Pedro M., Lasso M., Villagra A., Pandolfi D., Gallard R. - Influence of Crossover Operators in Evolutionary Scheduling Under Multirecombined Schemes - CACIC 2003, La Plata, 2003.
- [de San Pedro et al, 2003c] de San Pedro M., Villagra A., Lasso M., Pandolfi D., Díaz Vivar M., Gallard R. - Solutions for the Weighted Number of Tardy Jobs in Single Machine Environments via Evolutionary Algorithms - CSITeA03, Rio de Janeiro, 2003.
- [de San Pedro et al, 2004] de San Pedro M., Pandolfi D., Lasso M., Villagra A., Gallard R. - Effect of Crossover Operators under Multirecombination: Weighted Tardiness, a Test Case - CEC '04 - Portland, U.S.A., 2004.
- [de San Pedro et al, 2005] de San Pedro M., Pandolfi D., Lasso M., Villagra A. - Dynamic Scheduling Approaches to solve Single Machine Problems, ASC 2005, Benidorm, España, 2005.
- [Donovan 2005] S. Donovan - Wind Farm Optimization, Department of Engineering Science, University of Auckland, New Zealand. (<http://www.orsnz.org.nz/Prizes/Papers/2005WindFarmOptimization.pdf>)
- [Donovan 2007] S. Donovan, H. Waterer, R. Archer - Mixed Integer Programming Models for Wind Farm Design. Department of Engineering Science, The University of Auckland, Electric Power Optimization Centre, Winter Workshop 2007.
- [Donovan 2008] S. Donovan - An improved mixed integer programming model for wind farm layout optimization. YPP entry, 2008.
- [Eliknton 2008] C.N. Elkinton J.F. Manwell & J.G. McGowan - Algorithms for Offshore Wind Farm Layout Optimization. Wind Engineering, Volume 32, Number 1, January 2008, pp. 67-84(18). Multi-Science Publishing Co Ltd.
- [Escudero 2003] J.M. Escudero López - Manual de Energía Eólica. Ediciones Mundi Prensa, 2003.
- [Glover et al. 2003] F. Glover, G.H. Kochenberger (editors)- Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [Grady et al. 2005] S. A. Grady, M. Y. Hussaini, M. M. Abdullah - Placement of wind turbines using genetic algorithms Renewable Energy, Volume 30, Issue 2, February 2005, pp. 259-270
- [JH 2002] Journal of Heuristics - Special Issue: Parallel Meta-Heuristics. Volume 8, Number 3, Springer Netherlands, 2002.

- [Lasso et al, 2002a] Lasso M., Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Vilanova G, Gallard R. - Algorithms to solve the dynamic weighted tardiness problem - CACIC 2002, Buenos Aires, 2002.
- [Lasso et al, 2003a] Lasso M., de San Pedro M., Villagra A., Pandolfi D., Gallard R. - Solutions to the Dynamic Average Tardiness Problem in Single Machine Environments - CACIC 2003, La Plata, 2003.
- [Lasso et al, 2003b] Lasso M., Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Vilanova G, Gallard R. - Heuristics for partial and total dynamic w-t problems In single machine environments - WICC'03, Tandil, 2003.
- [Lasso et al, 2003c] Lasso M., Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Gallard R. - Heuristics to Solve Dynamic W-T problems in Single Machine Environments - CSITeA03, Rio de Janeiro, 2003.
- [Lasso et al, 2004] Lasso M., Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Gallard R. - Solving Dynamic Tardiness Problems in Single Machine Environments” – CEC '04 –Portland, U.S.A., 2004.
- [Mora et al. 2006] J.C. Mora, J.M. Calero Barón, J.M. Riquelme Santos, M. Burgos Payán - A Hybrid Evolutive Algorithm for Wind Farm Optimum Network Design. Aiesp 2006. Artificial Intelligence in Energy Systems and Power Aiesp 2006. Madeira, Portugal. pp. 1-5, 2006
- [Mora et al. 2007a] J.C. Mora, J.M. Calero Barón, J.M. Riquelme Santos, M. Burgos Payán - A Mixed Hybrid Algorithm for Integral Wind Farm Optimum Design. Proceeding of Icrepq-07. Sevilla, España. European Association for the Development of Renewable Energy, pp. 227-228, 2007.
- [Mora et al. 2007b] J.C. Mora, J.M. Calero Barón, J.M. Riquelme Santos, M. Burgos Payán - An evolutive algorithm for wind farm optimal design. Neurocomputing, Volume 70 , Issue 16-18, pp. 2651-2658, October 2007.
- [Orallo et al. 2003] C. Ferri Ramírez; J. Hernández Orallo; M.J. Ramírez Quintana Introducción A La Minería De Datos (Pearson Educación), 2003.
- [Pandolfi et al, 2002a] Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Vilanova G, Gallard R. - Multirecombining Random and Seeds with Studs in evolutionary algorithm to solve W-T Scheduling problems - CSITeA-02, Foz Iguazú, Brasil, 2002.
- [Pandolfi et al, 2002b] Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Vilanova G, Gallard R. - Stud Mating Immigrants in Evolutionary Algorithms to solve the Earliness-Tardiness Scheduling Problem - Cybernetics and Systems: An International Journal, Ed Taylor & Francis, pp 391-400, 2002 Vol 33 Number 4 June 2002 ISSN 0196-9722
- [Pandolfi et al, 2002c] Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Vilanova G, Gallard R. - Inserting Problem Specific-Knowledge in Multirecombined Evolutionary Algorithms - WICC'02, 2002.
- [Pandolfi et al, 2002d] Pandolfi D., de San Pedro M., Villagra A., Vilanova G, Gallard R. - A survey on multirecombined evolutionary approach for single machine scheduling – AEB'02, Merida, España, 2002.
- [Pandolfi et al, 2003a] Pandolfi D., Lasso M., de San Pedro M., Villagra A., Gallard R. - Knowledge Insertion: an Efficient Approach to Reduce Search Effort in Evolutionary Scheduling - CACIC 2003, La Plata, 2003.
- [Pandolfi et al, 2003b] Pandolfi D., Lasso M., de San Pedro M., Villagra A., Gallard R. - Evolutionary algorithms to solve average tardiness problems in single machine environments - CSITeA03, Rio de Janeiro, 2003.
- [Pandolfi et al, 2004] Pandolfi D., Lasso M., de San Pedro M., Villagra A., Gallard R. - Knowledge Insertion: an Efficient Approach to Reduce Search Effort in Evolutionary Scheduling - Journal of Computer Science & Technology, pp 109-114, Vol 4 Number 2 Agosto 2004 ISSN 1666-6038
- [Villagra et al, 2004a] Villagra A., de San Pedro M., Lasso M., Pandolfi D. - Multirecombined Evolutionary Algorithm inspired in the Selfish Gene Theory to face the Weighted Tardiness Scheduling Problem - Iberamia 2004 - Puebla, Mexico, 2004.
- [Villagra et al, 2004b] Villagra A., de San Pedro M., Lasso M., Pandolfi D. - Algoritmos Evolutivos inspirados en la Teoría del Gen Egoísta - WICC'04 – Neuquén, 2004.
- [Villagra et al, 2005a] Villagra A., de San Pedro M., Lasso M., Pandolfi D. – Algoritmo Evolutivo basado en el mecanismo de haplodiploidia para resolver el problema de planificación de weighted tardiness. CACIC 2005.
- [Villagra et al, 2005b] Villagra A., de San Pedro M., Lasso M., Pandolfi D. - Optimización guiada por Algoritmos Evolutivos Multirecombinados inspirados en la Teoría del Gen Egoísta para resolver Problemas de Weighted Tardiness – XI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, 2005.
- [Weibull 1951] W. Weibull - A statistical distribution function of wide applicability. Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME 18(3), 293-297, 1951.
- [Witten 1999] I.H. Witten - Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations, The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, 1999.
- [Witten 2005] I.H. Witten - Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, Second Edition, Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, 2005.