

METAHEURÍSTICAS POBLACIONALES Y TÉCNICAS DE MINERÍA DE DATOS APLICADAS A PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN EN 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: {desanpedro, dpandolfi, mlasso, avillagra, dloren, cfernandez, jvaldez, 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

RESUMEN

La presente propuesta involucra tres temáticas principales: Metaheurísticas, Minería de Datos y Energía eólica.

En cuanto a Metaheurísticas, el grupo ha adquirido en los últimos años una importante experiencia, siempre con el fin de producir versiones mejoradas de las mismas respecto a sus capacidades explorativas para su aplicación en muchos campos del mundo real.

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, en cuanto a energía eólica y la problemática de la instalación de parques eólicos, el grupo ha generado una fluida interacción con integrantes de un grupo de investigación especializados en energías renovables, considerando que los objetivos propuestos pueden ser alcanzados.

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

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.

1. INTRODUCCION

El grupo tiene una amplia experiencia demostrada en metaheurísticas, 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].

En la actualidad, existen diversas fuentes alternativas para la producción de energía, donde la producción de energía eólica, está alcanzado importantes niveles de desarrollo.

Para realizar una explotación eficiente de su principal recurso (el viento), 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*).

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.

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 el contexto de construcción y mantenimiento de plantas productoras de energía, es indudable que a

medida que los costos de los equipos para capturar 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. Hay un aspecto de fundamental importancia, que nuestra propuesta no considera, y que está vinculado al tipo y diseño de los aerogeneradores a ser usados en la instalación.

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.

Varias de las metaheurísticas mencionadas 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

Se ha trabajado con modelos eólicos reales para la distribución de máquinas eólicas en un parque para aprovechar al máximo las condiciones de viento dadas en el entorno. Para ello se han estudiado las siguientes líneas temáticas:

- Vientos de dirección constante de diferentes velocidades en el entorno [Bilbao 2009a][Bilbao 2009b]
- Vientos de dirección variable de diferentes velocidades en el entorno [Bilbao 2009a]
- Datos reales obtenidos en la ciudad de Comodoro Rivadavia en el año 2008 [Bilbao 2010a]
- Paralelización de algoritmos para el estudio de instancias mayores [Bilbao 2010b]

Para los estudios se han considerado diferentes escenarios para cada una de las condiciones anteriores y se ha aproximado mediante una distribución de Weibull, los datos reales obtenidos de la ciudad de Comodoro Rivadavia [Bilbao 2010a]. Se han considerado máquinas eólicas reales como la Gamesa G47 instalada en el parque eólico Antonio Morán de Comodoro Rivadavia, como también terrenos planos sin obstáculos para una primera aproximación.

Con respecto a las técnicas implementadas para resolver el problema de distribución de máquinas eólicas se han utilizado diferentes Metaheurísticas como: CHC (Variante de un Algoritmo Genético), Simulated Annealing y Geometric Particle Swarm Optimization (GPSO).

Se han obtenido mejores resultados con CHC para los problemas resueltos en diferentes escenarios tanto en potencia total obtenida como en tiempo de ejecución y esfuerzo computacional.

Otros estudios desarrollados se refieren a las Unidades de Proceso Gráfico (GPU – Graphics Processing Unit), buscando aprovechar la gran potencia de cálculo de las GPU y explotar el inherente paralelismo que estas unidades ofrecen. Para ello se ha focalizado el trabajo en los siguientes temas: Arquitectura de la GPU, lenguajes de desarrollo para GPU y adecuación de diversos algoritmos a este tipo arquitectura.

Las técnicas implementadas para el análisis han derivado principalmente del campo de las metaheurísticas. Principalmente se ha trabajado con el Algoritmo Genético Celular (cGA – Cellular Genetic Algorithm). En una primera aproximación se examinó el rendimiento del un cGA estándar (cuya implementación es en CPU) respecto de una realizada sobre GPU. Se ha pretendido evaluar la eficiencia física y la eficacia numérica. [Vidal

2010a]. Podemos manifestar que el cGA implementado en GPU es mejor que el de CPU, tanto numéricamente como en tiempo. [Vidal 2010b].

Actualmente se está trabajando en diferentes líneas temáticas para aproximar más el modelo utilizado al modelo real, para ello se están considerando diferentes opciones como:

- **Diferentes Tipos de Aerogeneradores:** Considerar otros tipos de aerogeneradores para nuestros diseños como Micon, Vestas u otro modelo de Gamesa, con diferentes potencias y alturas.
- **Complejidad en el terreno:** Considerar terrenos irregulares con lugares prohibidos para colocar molinos, o zonas de mayor capacidad portante, es decir con mayor costo de cimentación debido a la complejidad del terreno en ese lugar.
- **Modelos de Energía Eólica y de Beneficios:** Se están trabajando con nuevos modelos de estela, nuevos modelos de costos más realistas y con modelos de beneficios como el VAN (Valor Anual Neto) que mide la rentabilidad del proyecto a largo plazo (20 a 25 años).

En el tema algorítmico se está trabajando con las siguientes líneas temáticas:

- **Mejora de las técnicas algorítmicas utilizadas:** Generar nuevos operadores para los algoritmos y diferentes representaciones para tratar el problema desde otros enfoques.
- **Paralelización de las técnicas algorítmicas:** Implementar técnicas paralelas de los algoritmos estudiados para disminuir los tiempos de ejecución a medida que aumenta la complejidad del problema.
- **Escalabilidad del Problema a instancias mayores:** Considerar terrenos más grandes, aumentando el espacio de búsqueda y dándole mayor complejidad al problema justificando el uso del paralelismo.
- **Problema multi-objetivo:** Se están estudiando técnicas multi-objetivo para resolver el problema de distribución de molinos en un parque eólico, considerando dos funciones contrapuestas, la maximización de energía producida y la minimización de los costos de instalación del parque.

En otro aspecto, se está analizando la robustez de los algoritmos desarrollados y elaborando un análisis en profundidad del aprovechamiento que realizan estos respecto de la GPU. Tomando como base estos análisis se plantea seguir trabajando en temáticas tales como:

- **Diseño de algoritmos:** a partir de las implementaciones hechas, usarlas como base para diseñar algoritmos más complejos que numéricamente superen los algoritmos existentes. Asimismo implementar otras familias de algoritmos evolutivos.
- **Trabajo con múltiples GPUs:** evaluar el rendimiento de los algoritmos en arquitecturas multi-GPU.
- **Aplicación a problemas reales:** analizar la eficiencia de los algoritmos implementados sobre problemas del mundo real, dado que estos presentan espacios de búsqueda de soluciones muy grandes.

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. Enrique Alba, para realizar estudios sobre Modelos y Algoritmos Paralelos en el ámbito de Metaheurísticas.

Un integrante presentó su Tesis de Maestría, en la Universidad Nacional de San Luis bajo la dirección del Dr. Guillermo Leguizamón, en diciembre de 2009.

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.

Dos becarios de investigación se han incorporado al grupo a partir de marzo 2010.

5. BIBLIOGRAFIA

- [Alba 2005] E. Alba - Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms, Wiley-Interscience, 2005.
- [Bilbao 2009a] M.Bilbao, E. Alba Simulated Annealing for Optimization of Wind Farm Annual Profit, LINDI 2009, Linz, Austria.
- [Bilbao 2009b] M.Bilbao, E. Alba GA and PSO Applied to Wind Energy Optimization, CACIC 2009, Jujuy, Argentina.
- [Bilbao 2010a] M.Bilbao, E. Alba CHC and SA Applied to Wind Energy Optimization Using Real Data, CEC 2010, Barcelona, España.
- [Bilbao 2010a] M.Bilbao, E. Alba Designing Optimal Wind Farm With Parallel CHC, ALIO-INFORMS Join International Meeting 2010, Buenos Aires, Argentina.
- [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 an 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
- [Vidal 2010a] Vidal P. and Alba E., Cellular Genetic Algorithm on Graphic Processing Units, NICSO, May 2010, Granada, Spain
- [Vidal 2010b] Vidal P. and Alba E., A Multi-GPU Implementation of a Cellular Genetic Algorithm, CEC, July 2010, Barcelona, Spain
- [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.