

## ARQUITECTURAS MULTIPROCESADOR EN HPC: SOFTWARE, MÉTRICAS, MODELOS Y APLICACIONES.

De Giusti Armando<sup>1,2</sup>, Tinetti Fernando<sup>1,3</sup>, Naiouf Marcelo<sup>1</sup>, Chichizola Franco<sup>1</sup>, De Giusti Laura<sup>1,3</sup>, Villagarcía Horacio<sup>1,3</sup>, Montezanti Diego<sup>1</sup>, Encinas Diego<sup>1</sup>, Pousa Adrián<sup>1</sup>, Rodríguez Ismael<sup>1</sup>, Rodríguez Eguren Sebastián<sup>1</sup>, Iglesias Luciano<sup>1</sup>, Paniego Juan Manuel<sup>1</sup>, Pi Puig Martín<sup>1</sup>, Libutti Leandro, Dell'Oso Matías<sup>1</sup>, Mendez Mariano<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)  
Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata  
50 y 115, La Plata, Buenos Aires

Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Buenos Aires (CIC)  
526 e/ 10 y 11 La Plata Buenos Aires

<sup>2</sup>CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>3</sup>CIC - Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

{degiusti, fernando, mnaiof, francoch, ldgiusti, hvw, dmontezanti, dencinas, apousa, ismael, seguren, li, mmendez, jmpaniego, mpipuig, llibutti, mdelloso}@lidi.info.unlp.edu.ar, marianomendez@gmail.com

Con la colaboración en la dirección de Tesis de Posgrado de la Universidad Autónoma de Barcelona (España) y la Universidad Complutense de Madrid (España).

### RESUMEN

La línea presentada en este trabajo tiene como eje central las arquitecturas paralelas para Cómputo de Altas Prestaciones, con los siguientes objetivos:

- Caracterizar las arquitecturas multiprocesador orientadas a computación de alto desempeño, analizando técnicas para el desarrollo de código eficiente sobre las mismas y métricas de rendimiento computacional y energético. Principalmente teniendo en cuenta aquellas arquitecturas que son combinaciones de cluster, multicores, aceleradores (GPUs, FPGAs, Xheon Phi), placas de bajo costo (Raspberry PI, Odroid).

- Estudiar la conformación de clusters y clouds a partir de configuraciones homogéneas e híbridas de multiprocesadores. Y analizar la performance de aplicaciones sobre los mismos, considerando eficiencia computacional/energética y escalabilidad, así como la tolerancia a fallos.

- Analizar y desarrollar software de base para estas arquitecturas con el objetivo de optimizar del rendimiento y consumo energético en aplicaciones de propósito general.

- Estudiar clases de aplicaciones inteligentes en tiempo real, en particular el trabajo colaborativo de robots conectados a un cloud y procesamiento de Big Data.

Es de hacer notar que este proyecto se coordina con otros proyectos en curso en el III-LIDI, relacionados con Computación de Alto Desempeño, Algoritmos Paralelos, Sistemas Distribuidos y Sistemas de Tiempo Real.

**Palabras claves:** *Sistemas Paralelos – Multicore – GPU – FPGAs – Cluster y Cloud Computing – Cluster híbridos – Performance y eficiencia energética – Tolerancia a fallas – Scheduling – Cloud Robotics – Big Data.*

### CONTEXTO

Esta línea de Investigación está dentro del proyecto: “Computación de Alto Desempeño: Arquitecturas, Algoritmos, Métricas de rendimiento y Aplicaciones en HPC, Big Data, Robótica, Señales y Tiempo Real.” acreditado en el marco del Programa de Incentivos del Ministerio de Educación, y de proyectos específicos apoyados por organismos nacionales e internacionales. También del proyecto “Computación de Alto Desempeño, Minería de Datos y Aplicaciones de interés social en la Provincia de Buenos Aires” financiado por la CIC PBA dentro de la convocatoria a Proyectos de Innovación y Transferencia en Áreas Prioritarias de la Pcia. de Buenos Aires (PIT-AP-BA). El III-LIDI forma parte del Sistema Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (SNCAD) del MINCYT y en esta línea de I/D hay cooperación con varias Universidades de Argentina, de América Latina y Europa en proyectos con financiación nacional e internacional.

En la Facultad de Informática de la UNLP (a partir del equipo del proyecto) se dictan asignaturas optativas en la currícula de grado de las carreras de Licenciatura en Informática, Licenciatura en Sistemas e Ingeniería en Computación relacionadas con Cloud Computing, Programación sobre GPGPUs y procesamiento de Big Data. Además, la Facultad aprobó y financia el proyecto “Transformación de Algoritmos para Nuevas Arquitecturas Multiprocesador”.

Se participa en iniciativas como el Programa IberoTIC de intercambio de Profesores y Alumnos de Doctorado en el área de Informática, así como el desarrollo de la Maestría y Especialización en Computación de Altas Prestaciones, acreditadas por CONEAU.

Por último, se tiene financiamiento de Telefónica de Argentina en Becas de grado y posgrado y se ha tenido el apoyo de diferentes empresas (IBM, Microsoft, Telecom, INTEL, AMAZON AWS) en las temáticas de Cloud Computing y Big Data.

## 1. INTRODUCCIÓN

La investigación en Paralelismo (a partir de arquitecturas multiprocesador distribuidas o concentradas en supercomputadoras) es una de las líneas de mayor desarrollo en la Ciencia Informática actual [GRA03]. La utilización de clusters, multiclusters, grids y clouds, soportadas por redes de diferentes características y topologías se ha generalizado, tanto para el desarrollo de algoritmos paralelos orientados a HPC como para el manejo de aplicaciones distribuidas y/o servicios WEB concurrentes [GRA03][MCC12]. El área de cómputo de alto desempeño (o de altas prestaciones) se ha convertido en clave debido al creciente interés y necesidad por el desarrollo de soluciones a problemas con muy alta demanda computacional y de almacenamiento, convirtiéndose en ocasiones en la única alternativa real y produciendo transformaciones profundas en las líneas de I/D [RAU10][KIR12]. El rendimiento en este caso está relacionado con dos aspectos: por un lado, las arquitecturas de soporte y por el otro los algoritmos que hacen uso de las mismas, y el desafío se centra en cómo aprovechar las prestaciones obtenidas a partir de la evolución de las arquitecturas físicas.

Tradicionalmente el objetivo principal del cómputo de altas prestaciones (HPC, *High-Performance Computing*) fue mejorar el rendimiento y ocasionalmente la relación precio/rendimiento, donde rendimiento hace referencia a la velocidad de procesamiento. La constante búsqueda por mejorar la velocidad de procesamiento llevó a las empresas fabricantes de hardware a desarrollar supercomputadoras que consumen gigantescas cantidades de energía eléctrica y que producen tanto calor que requieren de grandes instalaciones refrigeradas que aseguren un correcto funcionamiento y agrega un alto costo de funcionamiento. En un mundo con recursos energéticos limitados y constante demanda por mayor poder computacional, el problema del consumo energético se presenta como uno de los mayores obstáculos para el diseño de sistemas que sean capaces de alcanzar la escala de los Exaflops. Por lo tanto, la comunidad científica está en la búsqueda de diferentes maneras de mejorar la eficiencia energética de los sistemas HPC [EVA10].

El cambio tecnológico, fundamentalmente a partir de los procesadores multicore, ha impuesto la necesidad de investigar en paradigmas "híbridos", en los cuales coexisten esquemas de memoria compartida con mensajes [LEI12]. Asimismo, la utilización de aceleradores combinados con las CPUs (GPU, FPGA, Xeon Phi) presenta una alternativa para alcanzar un alto speedup en determinadas clases de aplicaciones [KIN09][SIN12][JEF16]. Estos sistemas heterogéneos son capaces de obtener picos de rendimiento muy superiores a los de las CPUs, el incremento en el poder de cómputo se logra al mismo tiempo que se

limita el consumo de potencia energética [REI16]. Debe notarse que el modelo de programación orientado a estas arquitecturas cambia sensiblemente y la optimización de código paralelo requiere nuevos recursos.

En la actualidad también se comercializan placas de bajo costo como Raspberry PI [RAS16] u Odroid [ODR16] que poseen múltiples núcleos de baja complejidad y en algunos casos son procesadores multicore asimétricos (AMPs) que integran en un mismo chip diversos tipos de cores con distintas características (frecuencia, microarquitectura o consumo) pero con el mismo repertorio de instrucciones. Asimismo, existen diversos dispositivos móviles con capacidades similares. Es de interés estudiar como explotar el paralelismo en estos dispositivos para mejorar el rendimiento y/o consumo energético de las aplicaciones [ANN12], así como las características de scheduling en los mismos [POU17]. Por otra parte, los avances en las tecnologías de virtualización y cómputo distribuido han dado origen al paradigma de Cloud Computing [VEL09], que se presenta como alternativa a los tradicionales sistemas de Clusters y Multicluster para ambientes de HPC [ROD07], integrando grandes conjuntos de recursos virtuales (hardware, plataformas de desarrollo y/o servicios), fácilmente accesibles y utilizables como servicio ("as a service") por usuarios distribuidos por medio de una interfaz de administración web, con un modelo de arquitectura "virtualizada" [SHA10][XIN12]. Estos recursos pueden ser dinámicamente reconfigurados para adaptarse a una carga de trabajo variable (escalabilidad), permitiendo optimizar su uso evitando el sobre o sub dimensionamiento (elasticidad) [VAZ09].

Más allá de las potenciales características y beneficios que brinda un Cloud, de por sí atractivas, es de gran interés estudiar el despliegue de entornos de ejecución para cómputo paralelo y distribuido (Clusters Virtuales), como así también realizar I/D en la portabilidad de las aplicaciones de HPC en el Cloud [DOE11][ROD11]. Al enfocarse en Cloud Computing aparecen problemas clásicos de la Ciencia Informática, extendidos para este nuevo modelo de arquitectura: planificación, virtualización, asignación dinámica de recursos, migración de datos y procesos, y también su uso para aplicaciones de Big Data o las que requieren centralizar el accionar de "robots" distribuidos en tiempo real [MAY13]. Justamente Cloud Robotics es una de las áreas más prometedoras de la investigación informática actual en la cual se cuenta con "robots" dotados de diferentes sensores y capacidades, conectados a un Cloud vía Internet. Los temas de investigación derivados son múltiples: sensores, redes de sensores e inteligencia distribuida; robótica y sistemas colaborativos de tiempo real basados en robots; aplicaciones críticas (por ej. en ciudades inteligentes o en el ámbito industrial) [GUO12][KEH15][ROD16].

Los avances tecnológicos y la búsqueda continua de mayor eficiencia hacen necesario investigar diferentes componentes de las arquitecturas. En particular, las aplicaciones científicas con un uso intensivo de datos utilizan software de E/S paralelo para acceder a archivos [ENC15]. Contar con herramientas que permitan predecir el comportamiento de este tipo de aplicaciones en HPC es de gran utilidad para los desarrolladores. Para esto se puede utilizar el modelado basado en agentes y simulación (Agent-Based Modeling and Simulation, ABMS) [MAC06] [MEN13].

La importancia que ha adquirido el uso del paralelismo para aplicaciones científicas de gran duración requiere la necesidad de estudiar los problemas de detección y tolerancia a fallos en arquitecturas paralelas, debido al alto costo de relanzar la ejecución desde el comienzo en caso de resultados incorrectos. Esto se debe lograr tratando de minimizar el overhead temporal y de aprovechar la redundancia de recursos de hardware que caracteriza a estas arquitecturas [GOL09][FIA11]. El manejo de fallos es una preocupación creciente en HPC, se esperan crecimientos en las tasas de errores, mayores latencias de detección y elevadas cantidades de fallos silenciosos con capacidad de corromper los resultados de las aplicaciones. Por ello, se han desarrollado estrategias de detección y recuperación de fallos transitorios basadas en replicación de software, detectando divergencias en las comunicaciones entre réplicas para evitar que la corrupción se propague a otros procesos, restringiendo así la latencia de detección [MON17]. De esta forma se permiten obtener ejecuciones fiables con resultados correctos o conducir al sistema a una parada segura. La recuperación puede lograrse mediante múltiples checkpoints de nivel de sistema o de un único checkpoint de capa de aplicación.

Desde otro punto de vista, interesan también los problemas que significan integración de redes de sensores con modelos del mundo real (por ej. modelos meteorológicos, hídricos o de terreno) para prevención de emergencias [GAU16]. En esta línea, el eje del proyecto sigue estando en la problemática del paralelismo combinado con sistemas de tiempo real, pudiendo contribuir a proyectos multidisciplinarios, en particular por temas de emergencias hídricas, exploración de recursos naturales y temas de atención sanitaria y evacuación de edificios en situaciones de emergencia.

## 2. LINEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

- Estudio y caracterización de arquitecturas paralelas: clusters, grids, clouds, aceleradores (GPU, FPGA, Xeon Phi), placas de bajo costo (Raspberry PI, Odroid) e híbridos.
- Desarrollo de algoritmos de planificación de procesos orientado a procesadores asimétricos para

optimizar el rendimiento general. Análisis en los diferentes niveles: sistema operativo, compiladores, técnicas de programación.

- Desarrollo de aplicaciones concretas (numéricas y no numéricas) sobre diferentes máquinas paralelas utilizando técnicas de optimización adecuadas a cada arquitectura.
- Desarrollo de técnicas de tolerancia a fallas en sistemas paralelos y distribuidos, lo cual supone una mejora en el aprovechamiento de la redundancia de recursos que no resultan eficientemente utilizadas en dichas arquitecturas.
- Desarrollo de herramientas para la transformación de código heredado, buscando su optimización sobre arquitecturas paralelas.
- Integración de métricas de rendimiento computacional y energético. Predicción de performance de aplicaciones paralelas.
- Cloud Computing. Software de base. Desarrollo de aplicaciones de HPC (principalmente de big data).
- Sistemas inteligentes distribuidos de tiempo real aprovechando la potencia de cómputo del Cloud (Cloud Robotics).
- Utilización de ABMS para desarrollar un modelo de Entrada/Salida en HPC que permita predecir cómo cambios realizados en los diferentes componentes del mismo afectan a la funcionalidad y el rendimiento del sistema.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

- Estudiar modelos complejos, que integren redes de sensores en tiempo real y cómputo paralelo. Estrategias de predicción de catástrofes (inundaciones, incendios por ejemplo) se basan en estos modelos con alta capacidad de procesamiento y monitoreo de señales en tiempo real [GAU16].
- Se han desarrollado diferentes aplicaciones adaptadas para diferentes arquitecturas "híbridas" (que combinan clusters, multicores y aceleradores), y analizado/comparado el rendimiento obtenido [RUC16][POU16][MON16] [RUC17].
- Se está trabajando en técnicas de recuperación a partir de múltiples checkpoints de nivel de sistema, que sirvan para garantizar la correcta finalización de aplicaciones científicas sobre sistemas de HPC, que resultan afectadas por la ocurrencia de fallas transitorias externas y aleatorias, integrando esta solución con las herramientas de detección desarrolladas previamente [MON17].
- Se han desarrollado nuevos planificadores de tareas para multicores asimétricos sobre diferentes sistemas operativos con el objetivo de maximizar el rendimiento y minimizar el consumo de energía [SAE15][POU17].
- Desarrollo de un modelo de la Entrada/Salida en HPC por medio de ABMS (Agent-Based Modeling and Simulation) que permita predecir cómo cambios realizados en los diferentes componentes

del modelo afectan a la funcionalidad y el rendimiento del sistema [ENC15].

- Desarrollo de aplicaciones vinculadas con "Big Data", especialmente para resolver en Cloud Computing [BAS17].
- Optimización de algoritmos paralelos para controlar el comportamiento de múltiples robots que trabajan colaborativamente, considerando la distribución de su capacidad de procesamiento "local" y la coordinación con la potencia de cómputo y capacidad de almacenamiento (datos y conocimiento) de un Cloud.
- Actualización y modernización de código fuente de Sistemas Heredados (Legacy Systems) de Cómputo Científico a través de la aplicación de un proceso de desarrollo iterativo e incremental dirigido por transformaciones de código fuente, apoyado fuertemente en las herramientas de desarrollo. Dichas transformaciones se implementan para ser aplicadas automáticamente en un entorno integrado de desarrollo [MEN14][TIN15][MEN16].
- Trabajar en la implementación de transformaciones que ayuden a la paralelización del código fuente, así como también en herramientas de análisis estático de Código fuente [TIN13][TIN15].
- Adaptar las técnicas de scheduling y mapeo de procesos a procesadores de acuerdo a los objetivos actuales (en particular los relacionados con el consumo), considerando la migración dinámica de datos y procesos en función de rendimiento y consumo [GRA03][DEG10]. Se debe incluir la utilización de los registros de hardware de los procesadores para la toma de diferentes decisiones en tiempo de ejecución.
- Analizar metodologías y herramientas de software y hardware para medir consumo energético. Determinar el grado de error en las herramientas de medición por software. Determinar el consumo energético de cada componente de las máquinas (memoria, disco, procesador, etc) [PAN18][PIP17].

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

En cooperación con Universidades iberoamericanas se ha implementado la Maestría en Cómputo de Altas Prestaciones y se continúa dictando la Especialización en Cómputo de altas Prestaciones y Tecnología GRID. Asimismo, se tiene un importante número de doctorandos (del país y del exterior) realizando el Doctorado en Ciencias Informáticas de la UNLP.

Desde el año 2013 se organizan anualmente las Jornadas de Cloud Computing & Big Data (JCC&BD), integrando una Escuela con cursos de Posgrado relacionados con la temática de las líneas de investigación presentadas.

Existe cooperación a nivel nacional e internacional y dentro de la temática del proyecto se espera alcanzar 5

Tesis de Doctorado y 5 Tesis de Maestría en los próximos 3 años, en el país. Al menos tener 3 Doctorandos en el exterior/mixtos en el mismo período.

En 2017 se aprobó 1 Tesis Doctoral [POU17]. También se aprobaron 2 trabajos de Especialista y 2 Tesinas de grado.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

[ANN12] Annamalai A., Rodrigues R., Koren I., Kundu S., "Dynamic Thread Scheduling in Asymmetric Multicores to Maximize Performance-per-Watt," 2012 IEEE 26th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops & PhD Forum, pp. 964-971, 2012 IEEE 26th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops & PhD Forum, 2012.

[BAS17] Basgall, M. J., Hasperué, W., Naiouf, M., & Bariviera, A. F. "Cálculo del exponente de Hurst utilizando Spark Streaming: enfoque experimental sobre un flujo de transacciones de criptomonedas. Presentado en XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2017).

[DEG10] De Giusti L., Chichizola F., Naiouf M., De Giusti A.E., Luque E. "Automatic Mapping Tasks to Cores - Evaluating AMTHA Algorithm in Multicore Architectures". IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 2, No 1, March 2010. ISSN (Online): 1694-0784. ISSN (Print): 1694-0814. Págs. 1-6.

[DOE11] Doelitzcher, F., Held, M., Sulistio, A., Reich, C. ViteraaS: "Virtual Cluster as a Service". In: 3rd IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science. Grecia (2011).

[ENC15] D. Encinas et al., "Modeling I/O System in HPC: An ABMS Approach". The Seventh International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL), ISBN: 978-1-61208-442-8, 2015.

[EVA10] J. Evans, "On performance and energy management in high performance computing systems" in Parallel Processing Workshops (ICPPW). 39th International Conference on, pp. 445-452. 2010.

[FIA11] Fialho L. "Fault Tolerance configuration for uncoordinated checkpoints". Ph.D. Thesis, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España, Julio 2011.

[GAU16] Adriana Gaudiani, Emilio Luque, Pablo García, Mariano Re, Marcelo Naiouf, Armando De Giusti. "How a Computational Method Can Help to Improve the Quality of River Flood Prediction by Simulation". Advances and New Trends in Environmental and Energy Informatics (part V). ISBN 978-3-319-23455-7. Pp337-351. 2016.

[GOL09] Golander A., Weiss S., Ronen R. "Synchronizing Redundant Cores in a Dynamic DMR Multicore Architecture". IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs Volume 56, Issue 6, 474-478. 2009.

- [GRA03] Grama A, Gupta A, Karypis G, Kumar V. "Introduction to parallel computing". Second Edition. Pearson Addison Wesley, 2003.
- [GUO12] Guoqiang Hu, Wee Peng Tay, Yonggang Wen: "Cloud robotics: architecture, challenges and applications". In: Network, IEEE, vol.26, no.3, pp.21-28. 2012.
- [JEF16] Jeffers, James; Reinders, James; Sodani, Avinash. "Intel Xeon Phi Processor High Performance Programming. Knights Landing Edition", Morgan Kaufmann, 2016.
- [KEH15] Kehoe B., Patil S., Abbeel P., Goldberg K.: "A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation". In: IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE): Special Issue on Cloud Robotics and Automation. Vol. 12, no. 2. 2015.
- [KIN09] Kindratenko, V.V.; Enos, J.J.; Guochun Shi; Showerman, M.T.; Arnold, G.W.; Stone, J.E.; Phillips, J.C.; Wen-Mei Hwu, "GPU clusters for high-performance computing," Cluster Computing and Workshops, 2009. CLUSTER '09. IEEE International Conference on, vol., no., pp.1,8, Aug. 31 2009-Sept. 4 2009
- [KIR12] Kirk D., Hwu W. "Programming Massively Parallel Processors, second edition: A Hands-on Approach. Morgan-Kaufmann. 2012.
- [LEI12] Leibovich F., Chichizola F., De Giusti L., Naiouf M., Tirado Fernández F., De Giusti A. "Programación híbrida en clusters de multicore. Análisis del impacto de la jerarquía de memoria". XII Workshop de Procesamiento Distribuido y Paralelo. CACIC2012. ISBN: 978987-1648-34-4. Pág. 306-315. 2012.
- [MAC06] C. Macal, M. North, "Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: how to model with agents", in: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2006.
- [MAY13] Mayer-Schönberger V., Cukier K., "Big Data: A revolution that will transform how we live, work and think" Houghton Mifflin Harcourt 2013.
- [MCC12] McCool M., Robison A., Reinders J. "Structured Parallel Programming" Elsevier-Morgan Kaufmann, 2012.
- [MEN13] Mendez S., "Metodología para la evaluación de prestaciones del Sistema de Entrada/Salida en computadoras de altas prestaciones". Tesis de Doctorado en Computación de Altas Prestaciones. Universidad Autónoma de Barcelona, 2013.
- [MEN14] Méndez M., Tinetti F. "Integrating Software Metrics for Fortran Legacy into an IDE". XI Workshop Ingeniería de Software – CACIC 2014. ISBN 978-987-3806-05-6. Pág. 771-780. San Justo, Buenos Aires, Argentina. Octubre 2014.
- [MEN16] Méndez M. "Aplicaciones de Cómputo Científico: Mantenimiento del Software Heredado". Tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas (Facultad de Informática – UNLP). 2016
- [MON16] E. Montes de Oca, L. De Giusti, F. Chichizola, A. De Giusti, and M. Naiouf. "Análisis de uso de un algoritmo de balanceo de carga estático en un Cluster Multi-GPU Heterogéneo". Actas del XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016), ISBN: 978-987-733-072-4, págs. 159-168. 2016.
- [MON17] D. M. Montezanti, A. E. De Giusti, M. Naiouf, J. Villamayor, D. Rexachs del Rosario, and E. Luque. "A Methodology for Soft Errors Detection and Automatic Recovery". Proceedings of the 2017 International Conference on High Performance Computing Simulation (HPCS2017), págs. 434-441. 2017.
- [ODR16] Odroid <http://www.hardkernel.com> Accedido 21 de Marzo de 2016.
- [PAN18] J. M. Paniego, S. Gallo, M. P. Puig, F. Chichizola, L. D. Giusti, and J. Ballardini. "Analysis of RAPL Energy Prediction Accuracy in a Matrix Multiplication Application on Shared Memory". Computer Science – CACIC 2017. Communications in Computer and Information Science, vol 790, ISBN: 978-3-319-75213-6 978-3-319-75214-3, Springer, Cham, págs. 37-46, 2018.
- [PIP17] M. Pi Puig, L. C. De Giusti, M. Naiouf, A. E. De Giusti. "GPU Performance and Power Consumption Analysis: A DCT based denoising application". Actas del XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2017). ISBN: 978-950-34-1539-9, págs. 185-195. 2017.
- [POU16] Pousa A, Sanz V, De Giusti A. "Estructurando código paralelo para clusters heterogéneos de CPUs/GPUs". Proceedings del XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. ISBN: 978-987-733-072-4. Pp. 139-148
- [POU17] A. Pousa, Directores: De Giusti, Armando; Saez Alcaide, Juan Carlos. "Optimización de rendimiento, justicia y consumo energético en sistemas multicore asimétricos mediante planificación". Tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas. Facultad de Informática (UNLP). 2017.
- [RAS16] Raspberry PI. <https://www.raspberrypi.org/> Accedido 21 de Marzo de 2016.
- [RAU10] Rauber T., Rüniger G. "Parallel programming for multicore and cluster systems". Springer. 2010.
- [REI16] Reinders, J., Jeffers, J., Sodani, A. "Intel Xeon Phi Processor High Performance Programming Knights Landing Edition". Morgan Kaufmann Publishers Inc., Boston, MA, USA, 2016
- [ROD07] Rodríguez, I. P., Pousa, A., Pettoruti, J.E., Chichizola, F., Naiouf, M., De Giusti, L., De Giusti, A.: "Estudio del overhead en la migración de algoritmos paralelos de cluster y multicluster a GRID". In: Proceedings del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Argentina (2007).
- [ROD11] Rodríguez, I., Pettoruti, J.E., Chichizola, F., De Giusti, A.: "Despliegue de un Cloud Privado para entornos de cómputo científico". In: Proceedings del XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Argentina (2011).

- [ROD16] Rodriguez, I., Paniego, J. M., Rodriguez Eguren, S., Estrebou, C., De Giusti, A. "Cloud Robotics: Sistema Multi-Robot conectado al Cloud público AWS". Actas del XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Argentina (CACIC 2016). Págs. 189-198.
- [RUC16] Rucci, Enzo. "Evaluación de rendimiento y eficiencia energética en sistemas heterogéneos para bioinformática". Tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas (Facultad de Informática – UNLP). 2016.
- [RUC17] E. Rucci, A. E. De Giusti, and M. Naiouf. "Blocked All-Pairs Shortest Paths Algorithm on Intel Xeon Phi KNL Processor: A Case Study". Actas del XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2017)., ISBN: 978-950-34-1539-9, págs. 154-164. 2017.
- [SAE15] Juan Carlos Saez, Adrian Pousa, Daniel Chaver, Fernando Castro, Manuel Prieto Matias. ACFS: A Completely Fair Scheduler for Asymmetric Single-ISA Multicore Systems. ACM SAC 2015 (The 30TH ACM/SIGAPP Symposium on applied computing). 2015.
- [SHA10] Shafer, J.: "I/O virtualization bottlenecks in cloud computing today". In: Proceedings of the 2nd conference on I/O virtualization (VIOV10). USA (2010).
- [SIN12] Sinha, R.; Prakash, A.; Patel, H.D., "Parallel simulation of mixed-abstraction SystemC models on GPUs and multicore CPUs," Design Automation Conference (ASP-DAC), 2012 17th Asia and South Pacific, pp.455,460. 2012.
- [TIN13] F. G. Tinetti, M. Méndez, A. De Giusti. "Restructuring Fortran legacy applications for parallel computing in multiprocessors". The Journal of Supercomputing, May 2013, Volume 64, Issue 2, ISSN 0920-8542, DOI 10.1007/s11227-012-0863-x, pp 638-659.
- [TIN15] M. Mendez, F. G. Tinetti. "Integrating Software Metrics for Fortran Legacy into an IDE" Computer Science & Technology Series – XX Argentine Congress of Computer Science, Selected Papers., ISBN: 978-987-1985-71-5, Red UNCI, págs. 126-134, 2015.
- [VAZ09] Vázquez Blanco C., Huedo E., Montero R. S., Llorente I. M. "Elastic Management of Cluster-based Services in the Cloud". Proceedings pp. 19-24, ACM Digital Library 2009. ISBN 978-1-60558-564-2.
- [VEL09] Velte, A.T., Velte, T.J., Elsenpeter, R.: "Cloud Computing: A Practical Approach". McGraw Hill Professional. 2009.
- [XIN12] Xing, Y., Zhan, Y.: "Virtualization and Cloud Computing". In: Proceedings pp.305-312, Springer Link. ISBN 978-3-642-27323-0. (2012). Morgan Kaufmann. 2013.