

# Estudio energético de los sistemas de computación

Javier Balladini, Claudio Zanellato, Enzo Rucci<sup>1</sup>, Armando De Giusti<sup>1</sup>

Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue

Buenos Aires 1400, Neuquén Capital, Tel. 0299 - 4490300

{javier.balladini, cipotano}@gmail.com

<sup>1</sup> Instituto de Investigación en Informática LIDI, Universidad Nacional de La Plata

50 y 120 - 2do Piso, La Plata, Tel/Fax (54-221) 4227707

{erucci, degiusti}@lidi.info.unlp.edu.ar

## Resumen

La computación ha tenido, por décadas, el único objetivo de incrementar la velocidad de procesamiento de las aplicaciones. En particular, la computación de altas prestaciones que ejecuta sus aplicaciones muy frecuentemente en supercomputadoras, produce un consumo energético tan elevado que impacta fuertemente en el aspecto económico. Además, la falta de explotación de las energías renovables y limpias hacen que la producción energética afecte significativamente en lo ecológico y social. Estos factores nos han motivado a realizar una colaboración entre tres universidades para estudiar diferentes temas relacionados a la computación ecológica. Hemos centrado los estudios tanto en los procesadores de propósito general (CPU, *Central Processing Unit*) como en las aceleradoras basadas en unidades de procesamiento gráfico (GPU, *Graphics Processing Units*), y en sistemas tanto del tipo *cluster* como *cloud computing*. Nuestra investigación tiene como objetivo disminuir el consumo energético de las plataformas paralelas, existentes en el mercado, mediante modificaciones del software.

## 1. Contexto

La investigación aquí presentada surge como una colaboración entre dos proyectos de la Universidad Nacional del Comahue, "Software para aprendizaje y trabajo colaborativo - Parte II" y "Computación de Altas Prestaciones", el Instituto de Investigación en Informática LIDI de la Universidad Nacional de La Plata, y el departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos (CAOS) de la Universidad Autónoma de Barcelona (España). La colaboración se centra en el estudio energético de los sis-

temas de cómputo paralelo y aplicaciones científicas computacionalmente complejas, cuyo fin es disminuir el consumo energético de la plataforma evitando el aumento del tiempo de ejecución total de las mismas.

## 2. Introducción

De acuerdo con la definición de San Murugesan [11], se define el campo de la computación ecológica como el estudio y práctica del diseño, fabricación, uso y disposición de las computadoras, servidores y subsistemas relacionados como monitores, impresoras, almacenamiento y sistemas de redes y comunicación eficientes y efectivos con un impacto mínimo o nulo en el ambiente. El autor identifica cuatro formas en las cuales cree que los efectos de las computadoras en el ambiente deberían ser considerados: diseño ecológico, fabricación ecológica, uso ecológico y eliminación ecológica.

El diseño de las computadoras ha tenido, por décadas, el único objetivo de incrementar la velocidad de procesamiento de las aplicaciones. Fundamentalmente, el requerimiento de hacer computadoras cada vez más rápidas vino de la computación de altas prestaciones, cuyo fin es acelerar la ejecución de aplicaciones computacionalmente complejas, normalmente científicas. Para estas aplicaciones se diseñaban supercomputadoras con la única intención de aumentar la cantidad de operaciones de coma flotante por segundo (FLOPS, *FLoating-point OPerations per Second*). Esto se ve reflejado en la lista del TOP500 [4], que utiliza la métrica FLOPS para determinar el orden de clasificación de las supercomputadoras. Sólo importaban las prestaciones y, principalmente para el dueño de la supercomputadora, la relación precio/prestaciones.

Así, se ha propiciado la aparición de super-

computadoras que consumen enormes cantidades de energía eléctrica y producen tanto calor que se requieren sistemas de refrigeración de dimensiones extravagantes para asegurar su correcto funcionamiento. Según datos del Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), por cada watt (W) de energía consumido, se gastan 0,7 W de refrigeración para disipar la energía. Dado el tamaño actual de las supercomputadoras, el consumo energético de las mismas es tan elevado que producen un tremendo impacto económico. En 2005, el gasto anual de energía eléctrica del LLNL ya era de 14,6 millones de dolares [8]. En 2002, el Dr. Eric Schmidt, CEO de Google, dijo “lo que más importa a los diseñadores de computadoras de Google no es la velocidad sino el consumo energético, porque los centros de datos pueden consumir tanta electricidad como una ciudad” [9]. A modo de ejemplo, la represa Hidroeléctrica El Chocón, que cuenta con dos obras sobre el río Limay, El Chocón y Arroyito, tiene una generación media anual de 3.600 GWh. Google consume anualmente 2.600 GWh, es decir, para hacer funcionar a Google sería necesario destinarle el 72 % de la energía total generada por ambas instalaciones hidroeléctricas.

El consumo energético no solo tiene un impacto económico. La falta de explotación de las energías renovables y limpias hacen que la producción energética también afecte en lo ecológico y social. Cabe resaltar que la mayor cantidad (y más grandes) de las supercomputadoras del mundo están en EEUU. La mitad de la energía eléctrica en éste país se produce con carbón [5], impactando fuertemente en el medio ambiente, y la salud y riesgo de vida de las personas, por causa de la extracción del mineral y la contaminación por combustión del carbón, entre otros.

La situación actual está cambiando. En el 2007 el Green500 publicó su primera lista, que clasifica a las supercomputadoras de mayor eficiencia energética del mundo. Esta clasificación considera el rendimiento por W (FLOPS/W) de cada supercomputadora al ejecutar un cierto benchmark, donde el diseño y el uso ecológico son los factores que tienen una relación directa con el resultado alcanzado. Así, comenzó la nueva era de la computación ecológica, evitando el enfoque de rendimiento a cualquier costo.

### 3. Líneas de investigación

No se pretende desarrollar nuevas tecnologías hardware que tengan una mayor eficiencia energética, sino gestionar (mediante software) el

hardware existente para reducir el consumo energético. Nuestra investigación se divide principalmente en dos líneas:

#### 1. Cloud Computing

En pequeñas y medianas empresas la subutilización de los recursos de computación (por lo general en forma de *cluster*) sumado a los altos costos de la adquisición de la infraestructura, su mantenimiento, y el consumo energético provocó que varias mudaran su plataforma informática a una *Cloud pública*. El *Cloud Computing* [10] provee modelos de computación, modelos de almacenamiento y modelos de comunicaciones. La *Cloud pública* solucionó el problema de subutilización de los recursos ya que ejecuta los trabajos de muchos clientes a la vez. Sin embargo, aunque el consumo eléctrico disminuyó, el problema aún persiste. Los prestadores de los servicios de Cloud Computing buscan mejorar sus servicios maximizando el uso de su infraestructura y minimizando sus costos operativos. Una reducción del consumo eléctrico redundaría en mejores tarifas para los clientes, mas ingresos y además contribuiría con el medio ambiente. Nuestra línea de investigación en *Cloud Computing* intenta mejorar la eficiencia energética de estos sistemas, estudiando el comportamiento de la ejecución de diferentes aplicaciones paralelas, donde algunas de las principales variables involucradas son: las características intrínsecas de la aplicación, la cantidad y capacidad de los nodos de cómputo a utilizar, y los parámetros de ejecución físicos y virtuales (escalado de la frecuencia de las CPUs, tratamiento de las comunicaciones, etc.).

#### 2. Computación de Altas Prestaciones basadas en CPUs y GPUs

El objetivo de esta línea de investigación es la propuesta de un nuevo sistema de gestión energético que proporcione, para una aplicación y plataforma de computación de altas prestaciones dada, las diferentes alternativas de ejecución determinadas por valores predichos de potencia, energía y rendimiento. Así, es necesario disponer de modelos de predicción de potencia, energía y rendimiento para la plataforma destino.

### 4. Resultados y objetivos

A continuación se presentan los avances y resultados de las líneas mencionadas.

#### 4.1. Cloud Computing

Se configuró las computadoras de los laboratorios de informática, utilizados para las prácticas de los alumnos, para utilizarlas como una *cloud privada*. El sistema instalado es el OpenNebula [3] utilizando la solución de virtualización KVM [1]. Se verificó el correcto funcionamiento de la *cloud* con ejemplos sencillos. Se tiene planificado ejecutar los diferentes benchmarks del NAS [2], que varían en características de cómputo y comunicaciones, mientras se estudia el comportamiento de los mismos en cuanto a eficiencia energética en distintas configuraciones físicas y virtuales. Una vez probado los benchmarks del NAS, se procederá a estudiar aplicaciones reales teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos. Como paso siguiente, se buscará definir una metodología que permita inferir los parámetros de ejecución apropiados para alcanzar cierto nivel requerido de eficiencia energética de nuevas aplicaciones.

#### 4.2. Computación de Altas Prestaciones basadas en CPUs y GPUs

Se ha estudiado la influencia de los modelos de programación paralela y el escalado de frecuencias de CPUs en aplicaciones de computación de altas prestaciones [6]. También hemos estudiado los factores influyentes en el consumo energético de los sistemas de cómputo de altas prestaciones basados en CPUs y GPUs [7]. Actualmente se está trabajando en la predicción de la potencia media en CPUs y esperamos realizar en lo inmediato alguna publicación internacional sobre los avances. El esquema o solución adoptada está basada en el mantenimiento de datos históricos energéticos de ejecuciones de microprogramas sintéticos. Para predecir la potencia de una aplicación real, la misma debe descomponerse en pequeñas partes para luego buscar los microprogramas que más se asemejen y finalmente extraer los datos históricos de potencia.

### 5. Formación de recursos humanos

Los estudios aquí expuestos tienen como objetivo formar recursos humanos a nivel de grado y postgrado. Actualmente, en la Universidad Nacional del Comahue, se está finalizando una tesis de Licenciatura en Ciencias de la Computación en el tema de “Computación de Altas Prestacio-

nes Ecológica con GPUs”. Además, se está desarrollando un trabajo de investigación para la tesis de doctorado a presentar en la Universidad Nacional de La Plata, cuyo tema es “Computación de Altas Prestaciones Ecológica en Cloud Computing”. Recientemente, se ha incorporado una becaria de investigación alumno que trabaja en la línea “Computación de Altas Prestaciones Ecológica con CPUs”.

### Referencias

- [1] Kvm, <http://www.linux-kvm.org> (accedido en marzo de 2012).
- [2] Nas parallel benchmarks, <http://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html> (accedido en marzo de 2012).
- [3] Opennebula, <http://opennebula.org/> (accedido en marzo de 2012).
- [4] Sitio web del top500: <http://www.top500.org/> (accedido en octubre de 2010).
- [5] U.s. geological survey, <http://energy.usgs.gov/coal.html> (accedido en octubre de 2010).
- [6] Javier Balladini, Remo Suppi, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Impact of parallel programming models and cpus clock frequency on energy consumption of hpc systems. *Computer Systems and Applications, ACS/IEEE International Conference on*, 0:16–21, 2011.
- [7] Javier Balladini, Federico Uribe, Remo Suppi, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Factores influyentes en el consumo energético de los sistemas de computación de altas prestaciones basados en cpus y gpus. *XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2011)*, pages 271–281, 2011.
- [8] Wu-Chun Feng. The importance of being low power in high-performance computing. *Cyberinfrastructure Technology Watch Quarterly (CT-Watch Quarterly)*, 1(3), August 2005.
- [9] John Markoff and Steve Lohr. Intel's huge bet turns iffy. *New York Times*, September 29, 2002.
- [10] Peter Mell and Tim Grance. The nist definition of cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*, 53(6):50, 2009.
- [11] San Murugesan. Harnessing green it: Principles and practices. *IT Professional*, 10:24–33, January 2008.