

# Exascale Computing

## Computación Exascale

¿Que hace falta para por lograr para cumplir la meta de tener el primer supercomputador exascale en el año 2024?

Santiago Iván Gómez Meyer  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia

Jhon Fernando Tellez Camargo  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia

**Abstract**— The Exascale computing which is refers to a computer capable of performing a colossal amount of millions of calculations per second but involves a high challenge today both structural , technological, economic or energy level , but as this is estimated could be achieved before a decade and which would mean the possibility to give an infrastructure for the generation of new discoveries and the creation of new applications for the benefit of humanity.

**Keywords**—*computing; exascale; exaflops; calculations per second; teraflops; supercomputing ; superconducting*

**Resumen** - La computación exascale la cual es hace referencia a una computación capaz de realizar una cantidad colosal de millones de cálculos por segundo pero supone un reto altísimo hoy en día tanto a nivel estructural, tecnológico, económico o energético, pero según se estima este podría ser logrado antes de una década y lo cual supondría la posibilidad a dar una infraestructura para la generación de nuevos descubrimientos y la creación de nuevas aplicaciones en beneficio de la humanidad.

**Palabras clave** —*computación; exascale; exaflops; cálculos por segundo; teraflops; supercomputación, superconductor*

### INTRODUCCIÓN

La Computación Exascale hace referencia a los sistemas de computación capaces de realizar un mínimo de un exaFlops, es decir,  $10^{18}$  cálculos por

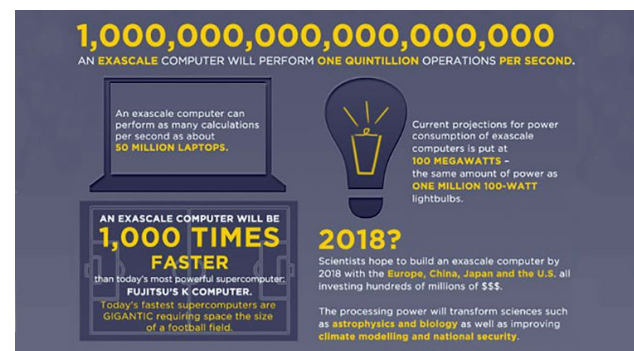
segundo, esto supone un nivel de procesamiento de operaciones significativamente alto.

En una conferencia de supercomputación en el año 2009, Computerworld pronosticó la incorporación de los primeros supercomputadores exascale en 2018.

La computación Exascale podría suponer un logro muy significativo en la ingeniería informática, pues se cree que puede llegar a superar la potencia de procesamiento del cerebro humano a nivel neuronal, como muestra el Proyecto cerebro humano.

La carrera ha comenzado a desarrollar una nueva generación de superordenadores más potentes que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más acuciantes del mundo.

Los superordenadores Exascale, que se espera que aparezca en el año 2018, podrían, por ejemplo, jugar un papel significativo en los esfuerzos para combatir el cambio climático o el desarrollo de baterías de larga duración para la alimentación de los automóviles. Los científicos también esperan que los sistemas de exascale para ayudarles a llegar a los procesos para la creación de biocombustibles a partir de las malas hierbas en lugar de maíz.



Gran parte del trabajo en varios laboratorios nacionales para diseñar y desarrollar los nuevos sistemas es financiado por corporaciones que

pretenden sus operaciones de TI pueden aprovechar las ventajas de las nuevas tecnologías.

Por ejemplo, la próxima generación de superordenadores se podría utilizar para resolver problemas grandes de programación y permitir el desarrollo de una nueva generación de aplicaciones científicas y comerciales.

### **¿QUE HACE FALTA PARA LOGRAR CUMPLIR LA META DE TENER EL PRIMER SUPERCOMPUTADOR EXASCALE ANTES DEL AÑO 2024?**

La necesidad de sistemas de exaescala, y las dificultades que se enfrentan los desarrolladores al tratar de aumentar el rendimiento del hardware sin empaparse megavatios excesivos de poder, fue ampliamente discutido entre muchos de los cerca de 11.000 personas que se reunieron en Portland, Ore., Para la conferencia SC09 supercomputación .

"Hay problemas de clase exascale graves que no pueden ser resueltos en cualquier cantidad razonable de tiempo con los equipos que tenemos hoy en día", dijo Bland de amigos, director del proyecto en el Centro de Oak Ridge Liderazgo Computing en Oak Ridge, Tennessee.

hoy superordenador más rápido del mundo, un sistema Cray XT5 en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge que es conocido como Jaguar, tiene un rendimiento pico de 2,3 petaflops. Un petaflop es mil billones, o 1,000 billones de operaciones de punto flotante por segundo.

La capacidad total de la última lista Top500 de los superordenadores más potentes, distribuido al SC09, fue de 27,6 petaflops, frente a los 22,6 petaflops de la lista anterior, publicado en junio.

Una exaflop es 1.000 veces más rápido que un petaflop - 1 trillón, o 1 millón de billones de cálculos por segundo. "Creemos que es una especie exascale de 100 millones de núcleos de procesamiento," dijo Dave Turek, vicepresidente de Exascale Systems en IBM.

A mediados de 2008, IBM Roadrunner - un sistema híbrido que funciona tanto de procesadores Opteron y chips Cell diseñado por IBM, Toshiba y Sony

AMD - fue el primero en alcanzar velocidades petaflop. Ahora el Departamento de Energía de EE.UU. ha comenzado a hacer planes para construir un sistema de exascale que es 1.000 veces más potente que el Jaguar.

## **DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA EXASCALE EN LAS PRINCIPALES POTENCIAS**

### **China**

Actualmente china cuenta con dos de los supercomputadores más rápidos en el mundo. El primer supercomputador Exascale de China será puesto en servicio para 2020 de acuerdo a la escuela de computación en la *National University of Defense Technology* (NUDT). Según el plan nacional para la próxima generación de computadores de alto rendimiento, China va a desarrollar un computador Exascale durante el 13vo periodo del *Five-Year-Plan* (plan de cinco años) (2016 – 2020). El gobierno de Tianjin Binhai New Area, NUDT y el centro nacional de supercomputación en Tianjin trabajan en el proyecto del supercomputador Exascale el cual llevará el nombre de Tianhe-3.

### **Estados Unidos**

En 2008 organizaciones gubernamentales de Estados Unidos de América, la oficina de ciencia y la administración nacional de seguridad nuclear, financiaron al Institute for Advanced Architectures para el desarrollo de un supercomputador Exascale; *Sandia National Laboratory* y el *Oak Ridge National Laboratory* colaboraron en los diseños Exascale. Se espera que la tecnología sea aplicada en diversas áreas de investigación de computation-intensive incluyendo investigación básica, ingeniería, ciencia de la tierra, biología, ciencia de los materiales, cuestiones energéticas, y seguridad nacional. En Enero de 2012 Intel compró la línea de productos *InfiniBand* a *QLogic* por US \$125 millones con el fin de cumplir la promesa de desarrollar la tecnología Exascale para 2018.

En el 2012 los Estados Unidos pusieron a disposición \$126 millones para desarrollo de computación Exascale.

En Febrero de 2013 la *Intelligence Advanced Research Projects Activity* comenzaron el programa *Cryogenic Computer Complexity (C3)* el cual prevé una nueva generación de

superconducting supercomputers que operan a velocidades de Exascale basado en la lógica de Superconducting. En Diciembre de 2014 se anunció un multi-año de contacto con *International Business Machines, Raytheon BBN Technologies* and *Northrop Grumman* para el desarrollo de tecnologías para el programa C3.

El 29 de Julio de 2015, el presidente Obama firmó una orden ejecutiva para crear la *National Strategic Computing Initiative* para acelerar el desarrollo de un sistema Exascale y financiar las investigaciones en la computación post-semiconductor.

## Europa

En 2011 se iniciaron tres proyectos destinados a desarrollar tecnologías y software para computación Exascale en la UE. El proyecto CRESTA (Collaborative Research into Exascale Systemware, Tools and Applications), el proyecto DEEP (Dynamical ExaScale Entry Platform), y el proyecto Mont-Blanc.

En 2015 el proyecto *Scalable, Energy-Efficient, Resilient and Transparent Software Adaptation (SERT)*, un importante proyecto de investigación entre la Universidad de Manchester y el Laboratorio STFC Daresbury, en Cheshire, fue galardonado c. £ 1 millón de la UK's Engineering y el Physical Sciences Research Council. El proyecto SERT se debió comenzar en marzo de 2015. Será financiado por EPSRC bajo el programa de software para el Futuro II, y el proyecto se asociará con el Numerical Analysis Group (NAG), Visión de clústeres y el Consejo de Instalaciones de Ciencia y Tecnología ( STFC).

## Japón

En Japón, en 2013, el Instituto Avanzado RIKEN de Ciencias de la Computación comenzó a planificar un sistema exascale para el año 2020, con la intención de consumir menos de 30 megavatios. En 2014 Fujitsu se adjudicó un contrato por RIKEN para desarrollar una supercomputadora de próxima generación para tener éxito el computador K. en 2015, Fujitsu anunció en la Conferencia Internacional de Supercomputación que este superordenador utilizará procesadores de aplicación de la arquitectura ARMv8 con extensiones que fue co-diseñar con ARM Limited.

## India

En 2012, el Gobierno de la India ha propuesto para cometer 2.5 mil millones de dólares a la investigación supercomputación durante el período de 12vo plan de cinco años (2012-2017). El proyecto será manejado por el Instituto Indio de Ciencia (IIS) de Bangalore. Además, luego se supo que la India planea desarrollar una supercomputadora con capacidad de procesamiento en el rango exaflop. Se desarrollará por C-DAC dentro de los siguientes 5 años de su aprobación.

## DESAFÍOS

Se ha reconocido que las aplicaciones que permiten explotar al máximo las capacidades de los sistemas de computación Exascale no es sencillo. De hecho, en junio de 2014, el estancamiento de la lista supercomputer Top500 tenía dudas que cuestionan la posibilidad de sistemas de exascale 2020.

Inicialmente, la línea de tiempo marcado 2018 como el año en el que un sistema con capacidad exaflop sería realidad, justo un año después de la CORAL máquinas de pre-exascale están instalados en tres laboratorios nacionales en los EE.UU..

Eso fue aplazado posteriormente a 2020, y ahora, de acuerdo un nuevo informe que establece los requisitos iniciales de hardware para dicho sistema, es en cualquier lugar entre 2023-2025. Para aquellos que siguen la computación de alto rendimiento y los esfuerzos hacia la computación exascale, esta línea de tiempo prolongada podría no ser una sorpresa dado los principales desafíos que hay por delante. Mientras que los superordenadores petaflop que encabezan la lista bianual de los sistemas más rápidos del mundo están dando tremendos éxitos científicos ahora, hay una serie de áreas, tanto en la investigación y la industria que puede aprovechar los recursos de computación de clase exascale, incluyendo los modelos del sistema de resolución de la nube, modelos de materiales multi-escala, y más allá.



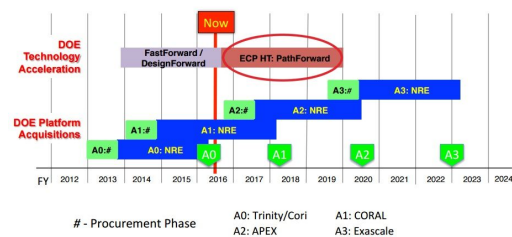
Los problemas con el logro del objetivo exascale en un periodo más próximo no se limitan a las grandes cuestiones, como el consumo de energía y capacidad de programación. Exascale requiere un esfuerzo de todo el sistema, con las mejoras de cada componente, que culmina en la eficiencia de energía y capacidad de programación.

En un esfuerzo por alcanzar exascale, el Departamento de Energía (DoE), Administración Nacional de Seguridad Nuclear (NNSA) y la Oficina de Ciencia (SC) han ampliado los esfuerzos incluyeron en el FastForward y los esfuerzos DesignForward para apoyar la computación exascale (la financiación termina en el 2019) en el proyecto

de computación Exascale (ECP), que es la fuente de la nueva línea de tiempo. El objetivo de la iniciativa es "marcar la R&D, desarrollo del producto, la integración y la entrega de al menos dos sistemas de computación exascale para su entrega en 2023."

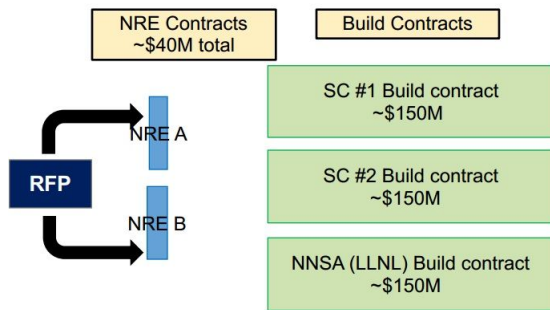
A los efectos de PathForward un sistema capaz exascale se define como "un superordenador que puede resolver problemas científicos 50 veces más rápido (o más complejas) que en los sistemas de 20 petaflop (Titan y Sequoia) de hoy en un sobre de 20-30 megavatios de potencia, y es suficientemente resistente que la intervención del usuario con los fallos del hardware o del sistema es del orden de una semana en promedio. "Dado que estos requisitos están muy por fuera de la curva de la Ley de Moore que ha guiado a saltos en la capacidad computacional para superordenadores, este tipo de mejora requerida es drástica y viene con muchos más contratiempos relacionados con el software que antes, incluso con el salto a clase petascale de computación.

### Platform Acquisition and \*Forward Timelines



El informe enfocado en el hardware cita los cuatro principales desafíos a escala extrema por el lado del hardware, en los cuales se centraran en profundidad para poder superarlos. Estos incluyen la construcción masiva de niveles de paralelismo en el código, así como el diseño de sistemas que puedan apoyarlo; resiliencia a escala; la memoria y los

problemas de almacenamiento de alta capacidad (y sistemas de baja latencia en ambos frentes), y por supuesto, el consumo de energía.



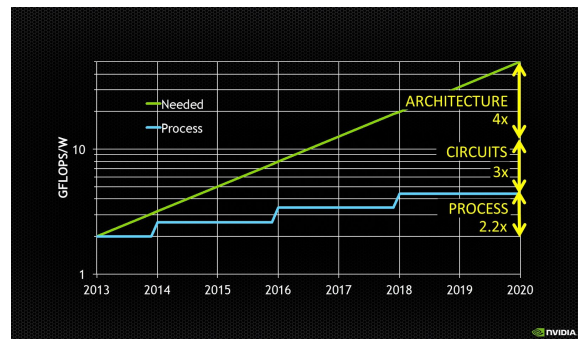
La estrategia de inversión en línea de base para el marco temporal 2022-2023. Representa dos sistemas (con "al menos dos" caminos de arquitecturas separadas) para tres sistemas. Recordemos que el gasto total estimado para una máquina exascale es de alrededor de \$ 3 mil millones.

El objetivo para todos estos esfuerzos es un enfoque de co-diseño, lo que significa tener una visión a nivel de sistema contra aplicaciones científicas y permitiendo que la concentración en las aplicaciones para guiar futuras decisiones de arquitectura y diseño. La ECP "establecerá nuevos centros de co-diseño de todos los temas matemáticos comunes, en contraste con los centros de ASCR y ASC co-diseño, que fueron diseñados en torno a las aplicaciones específicas."

En preparación de la primera ronda de propuestas para el sistema, un proceso que comenzará formalmente en 2019, es una etapa más importante la confirmación de las tecnologías en todo el ecosistema de proveedores de HPC para apoyar este tipo de máquinas.

Los revisores estarán tomando las solicitudes de los vendedores centrados en elementos clave de la pila como las tecnologías de plomo-up en los sistemas de pre-exaescala en el íterin. "Mientras que el enfoque de la R&D debe estar en los sistemas de exaescala, si hay beneficios provisionales que podría dar lugar a futuros requisitos de plataforma de pre-exaescala de Doe, éstos deberán ser descritas," señala el informe, que apuntan a varias condiciones principales.

Según la siguiente lista, claramente se ve que lo que falta en los futuros superordenadores es mucho menos acerca de las capacidades de hardware y mucho más acerca de la gestión de los sistemas grandes. En última instancia, se trata de problemas de software impulsada. Si bien los desafíos para desarrolladores no se mencionan aquí, que, al igual que el consumo de energía, es uno de los "retos de gran escala" por delante también.



- Diseños que simplifican el cambio o mejora de las capacidades de nodos específicos (por ejemplo, procesadores, memoria, coprocesadores) o de sustitución de nodo que

permita dar cara a los fallos que pueden degradar o matar a los nodos.

- Mecanismos para aumentar la flexibilidad en la utilización de recursos tales como la forma de compartir la capacidad de memoria en los nodos.

- Mecanismos para mitigar la tensión entre el uso del sistema de producción, lo que implica principalmente grandes puestos de trabajo, y el desarrollo de software para el sistema, que implica tareas no computacionales, tales como la compilación y el empleo de corta duración para probar y depurar.

- Los diseños que facilitan la compilación de una mezcla de nodos heterogéneos.

- Mecanismos de apoyo a la programación eficaz de los diversos tipos de recursos.

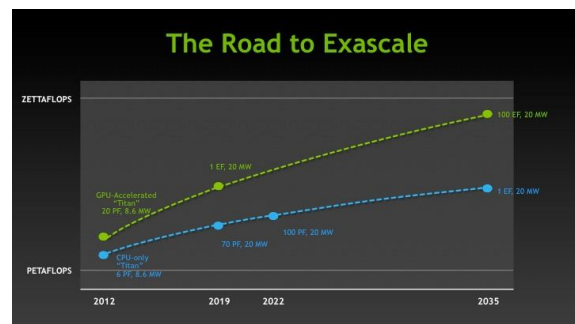
- Escalable, adaptable y de vigilancia discreta, con el análisis en tiempo real del estado de la plataforma.

- Plataforma en tiempo real de gestión autónoma bajo cargas de trabajo de producción, manejo de eventos no planificados con gracia, sin necesidad de intervención humana inmediata.

"Las cifras de rendimiento de aplicaciones de mérito serán los criterios más importantes. El plazo de ejecución de cualquier subcontrato que resulta de esta RFP será a través de 2019. Las propuestas deberán incluir la descripción de los paquetes de trabajo, con los precios de forma independiente que se centran en uno o más tecnologías de componentes específicas facilitadoras relacionadas con el diseño del sistema o nodo. Los oferentes deben describir

el camino por el cual su sistema o nodo de R&D podrían interceptar un sistema HPC exascale entregado en el plazo 2022-2023 ".

Aunque hay una gran cantidad de trabajo por hacer para cumplir con los objetivos de rendimiento de las aplicaciones indicadas en los documentos de ECP, es útil para ver la planificación de ruta temprana que confirma que hay al menos dos arquitecturas y al menos dos máquinas están previstas para el 2023 período de tiempo . Existen ya varios sistemas de pre-exaescala hemos cubierto en detalle, incluyendo Cumbre, Sierra, y Aurora (así como los sistemas de pre-exaescala más pequeños por adelantado de aquellos a preparar), y es probable que estos serán preparando el escenario arquitectónico para lo que está por venir.



## CONCLUSIÓN

Los principales obstáculos para la computación Exascale se encuentran del lado del software necesario para soportarlo, por lo tanto aún queda mucho trabajo para los desarrolladores, en cuanto al hardware se busca poder hacer los diseños más simples y resistentes a posibles fallos .

Ahora, si vemos que actualmente los desafíos técnicos a la largo no fuesen totalmente resueltos, es muy discutido si estos desafíos se reducirían sustancialmente por el dinero. Política, social y científicamente hablando esto sería viable si tomamos en cuenta que la



computación exascale es una puerta abierta a nuevas y atractivas oportunidades de progreso.

En nuestra opinión, el mayor reto para la informática exascale no podría ser de potencia ya que buscando nuevas tecnologías, en hardware, software y fondos económicos para costear el consumo energético esto podría dejar de ser visto como un obstáculo, el problema no obstante es bien encontrar una capacidad para justificar el presupuesto suficiente para pagar por el poder, o hardware más caro, etc. Sin embargo, más allá incluso de eso, hay una clase de retos para los que el dinero por sí solo no es suficiente.

Supongamos un gran presupuesto destinado un equipo exascale con buena capacidad de recuperación, suficiente de ancho de banda de memoria y todos los demás atributos de arquitectura necesaria fuesen entregados mañana, y no importa las facturas de energía. ¿Podríamos utilizarlo?, La respuesta sería, no. Debido a que muchos desafíos no necesitan sólo el dinero, sino también tiempo para resolver, y en la mayoría de los casos necesitan la investigación porque simplemente se conocen las soluciones.

Por otra parte también existen desafíos relacionados con el software.

Incluso si tenemos arquitecturas altamente favorables, el poder aprovechar estas arquitecturas requieren el disponer de tener algoritmos e implementaciones de software que pueden explotar esa escala de calcular de manera eficiente.

Hay un esfuerzo razonable en curso para identificar los problemas de software que los rodean en el uso de la informática exascale, pero el poder avanzar para superar este obstáculo requiere de recursos aparte del dinero como lo son mas específicamente tiempo y habilidades. Esto implica un gran número de ingenieros de software expertos, científicos con experiencia computacional, la investigación algoritmos numéricos y así sucesivamente.

En resumen, el poder es un problema para la informática exascale, y con las expectativas del presupuesto actual es probablemente el mayor reto técnico para el hardware. En términos de conseguir computación exascale, lo que demuestra el valor de una mayor inversión en la supercomputación es probablemente un reto más urgente. Pero el puesto de control superior para alcanzar el producto potencial enormemente beneficioso de computación exascale es el software. Hay muchos retos que ver con el ecosistema de software que llevará años, una gran cantidad de trabajadores cualificados, e inversión previsible para resolver sostenidos.

La computación Exascale se encuentra más cerca de lo que pensamos, las potencias mundiales en tecnología como China y Estados Unidos, están haciendo grandes inversiones en diversos proyectos para alcanzar la tecnología, matemática y software necesarios para soportar la computación Exascale, reconocidos laboratorios y organizaciones ponen todo su empeño para cumplir los planes propuestos para los años 2020-2024, pero solo queda ver si estos planes pueden o no ser llevado a cabo para el tiempo esperado

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] eXascale Infolab. (2016). *eXascale Infolab*. [online] Available at: <http://exascale.info/> [Accessed 17 Aug. 2016].
- [2] Exascale-projects.eu. (2016). *European Exascale Projects*. [online] Available at: <http://www.exascale-projects.eu/> [Accessed 17 Aug. 2016].
- [3] Exascaleinitiative.org. (2016). *Exascale Initiative*. [online] Available at: <http://www.exascaleinitiative.org/> [Accessed 17 Aug. 2016].
- [4] The Next Platform. (2016). *Exascale Timeline Pushed to 2023: What's Missing in Supercomputing?*. [online] Available at: <http://www.nextplatform.com/2016/04/27/exascale>

ale-timeline-pushed-2023-whats-missing-supercomputing/ [Accessed 17 Aug. 2016].

[5] Wikipedia. (2016). *Exascale computing*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Exascale\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Exascale_computing) [Accessed 17 Aug. 2016].

[6] Science.energy.gov. (2016). *Exascale Challenges | U.S. DOE Office of Science (SC)*. [online] Available at: <http://science.energy.gov/ascr/research/scidac/exascale-challenges/> [Accessed 17 Aug. 2016].

[7] IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News. (2016). *How the World's Most Powerful Supercomputer Inched Toward the Exascale*. [online] Available at: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/how-the-worlds-most-powerful-supercomputer-ined-toward-the-exascale> [Accessed 17 Aug. 2016].

[8] Top500.org. (2016). *The Four-Way Race to Exascale | TOP500 Supercomputer Sites*. [online] Available at: <https://www.top500.org/news/the-four-way-race-to-exascale/> [Accessed 17 Aug. 2016].