

# The cosmopolite challenge of supercomputing

## El reto cosmopolita de la supercomputación

Diego Armando Villamizar Correa  
*Estudiante de Ingeniería de sistemas*  
*Universidad Industrial de Santander*  
diegovillamizar231@gmail.com

Joan Sebastián Franco Casadiego  
*Estudiante de Ingeniería de sistemas*  
*Universidad Industrial de Santander*  
jsebas.franco16@gmail.com

Valentina Goyeneche Calderón  
*Estudiante de Ingeniería de sistemas*  
*Universidad Industrial de Santander*  
vgoyenehec@gmail.com

Maximiliano Garavito Chtefan  
*Estudiante de Ingeniería de sistemas*  
*Universidad Industrial de Santander*  
hipermaximus@gmail.com

### Abstract

High-performance computers or supercomputers are those with the ability to develop millions or billions of calculations per second, which makes them well above a common computer and this allows them to solve problems that entail a high computational complexity. Thanks to this processing potential in the handling of flops it results relevant to evaluate the methods they use to process large amounts of data, the applications they have had throughout the years around the world and how Colombia is in the computer High performance (HPC) field.

Keywords — supercomputers, computational complexity

### Resumen

Las computadoras de alto rendimiento o supercomputadoras son aquellas con la capacidad de desarrollar millones o billones de cálculos por segundo, lo cual, las hace estar muy por encima de un ordenador común y esto les permite solucionar problemas que conllevan una alta complejidad computacional. Gracias a este potencial de procesamiento en el manejo de flops resulta relevante evaluar los métodos que estas utilizan para tratar grandes cantidades de datos, las aplicaciones que han tenido a través de los años alrededor del mundo y como se encuentra Colombia en el campo de la computación de alto rendimiento (HPC).

Palabras clave — supercomputadoras, complejidad computacional

## I. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la computación siempre se ha buscado que las máquinas sean capaces de resolver de manera automática procesos o problemas que para los seres humanos generan dificultades o que requieren de una gran cantidad de tiempo y recursos. La primera computadora programable fue diseñada y fabricada en el año 1936 por el ingeniero alemán Konrad Zuse bajo el nombre de Z1 [1], esta computadora y las demás conocidas como la primera generación fueron utilizadas myormente con própositos militares.

Con el paso de los años y debido a la creciente necesidad de que las computadoras desarrollaran procesos más complejos de una manera mucho más rápida y con una mayor cantidad de datos se crearon las supercomputadoras en la década de los sesenta, estas eran capaces de encontrar soluciones a dichos inconvenientes en un tiempo mucho menor al de una computadora convencional de aquella época, a lo largo de la historia las supercomputadoras han sido utilizadas para la predicción del clima, simulaciones (físicas, químicas y matemáticas), transporte, astrofísica, nanotecnología, macroeconomía, inteligencia, salud, entre otro muchos usos.

Las supercomputadoras en la actualidad son capaces de desarrollar millones o billones de procesos por segundo dependiendo de cual se hable, por ejemplo la supercomputadora más potente en la actualidad le pertenece a los Estados Unidos y es llamada "Summit", dicha computadora tiene un rendimiento de 200 petaflops, lo cual quiere decir que es capaz de realizar 200.000 billones de operaciones por segundo, sus usos van desde aplicaciones astrofísicas, temas de salud como los genomas o la cura del cáncer, hasta la integración de la inteligencia artificial (IA) y descubrimientos científicos [2].

En los últimos años, Colombia ha estado invirtiendo en centros de computo con potentes supercomputadoras en diferentes universidades con el propósito de ayudar a la investigación o contribuir con proyectos que requieran una alta potencia

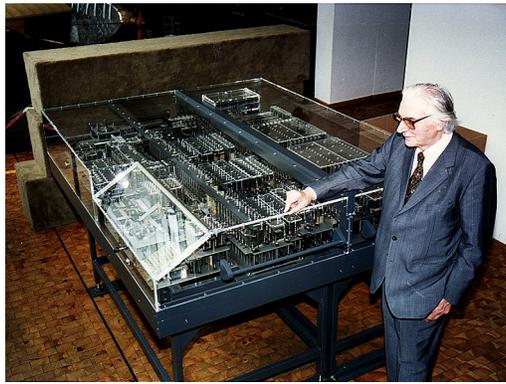


Figura 1. Z1, primera computadora programable

computacional. Aún así, Colombia se encuentra todavía demasiado lejos de las grandes potencias de la computación como Estados Unidos o China, es más, la supercomputadora más potente en América Latina se encuentra en México y es llamada "Abacus" la cual cuenta con un rendimiento de 400 millones de millones de operaciones por segundo [3], esta se encuentra muy por encima de la supercomputadora más potente de Colombia, la Guane-1 que es capaz de realizar 14 millones de operaciones por segundo [4].

## II. ESTADO DEL ARTE

Para potenciar el rendimiento energético además de la capacidad de procesamiento en las supercomputadoras el nuevo paradigma que se usa es la implementación de nuevos tipos de procesadores como lo son los GPUs. Las GPUs o unidades de procesamiento gráfico es un procesador dedicado a hacer procesamiento de imágenes y operaciones de coma flotante que, por lo general, actúa como coprocesador o, en otras palabras, ayuda a liberar la carga de datos que procesar a la CPU. Teniendo esto en cuenta se puede ver a la GPU como un potenciador de operaciones de cálculo por segundo en coma flotante (FLOPS) que es la medida general que se usa para medir el rendimiento de una supercomputadora.

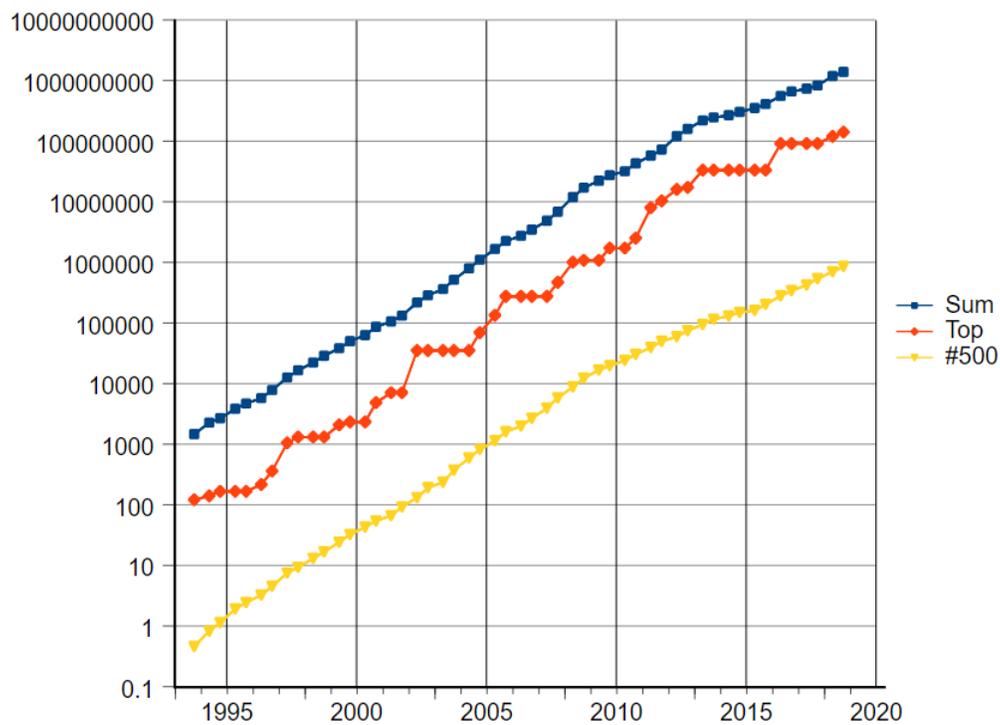


Figura 2. TOP 500, ranking de supercomputadoras

Como logramos ver en la imagen el crecimiento en FLOPS ha ido aumentando significativamente con el paso de los años hasta superar hoy en día los 100 petaFLOPS y esto por supuesto ha sido ayudado a la integración de las GPUs que, hoy en día, las que más potencian el rendimiento son las tarjetas gráficas de NVIDIA conocidas como NVIDIA V100 basadas en la arquitectura Volta, esta arquitectura con respecto a su predecesora (PASCAL) presenta varias mejoras como por ejemplo el uso de transistores de 12 nm.

### III. HISTORIA DE LAS SUPERCOMPUTADORAS

#### A. De 1943-1969

En este período de tiempo aparecen computadoras como Colossus la primera computadora electrónica programable, la cual utilizaba válvulas de vacío y fue usada para descifrar código. El Manchester Mark, primer supercomputador británico el cual sentó las bases de muchos conceptos usados actualmente, contaba con una RAM basada en la tecnología de tubos de rayos catódicos y poseía solo 32 posiciones o palabras, cada palabra constaba de 32 bits, esto quiere decir que tenía un total de 1024 bits de memoria. El MIT, primer computador que operaba en tiempo real, usaba pantallas de video como salida y fue también el primer simulador de vuelo. El IBM 704, primera computadora con hardware de punto flotante. El LARC, primera supercomputadora real diseñada para multiprocesamiento, con 2 CPUs y un procesador I/O separado. Por último, la CDC 6600 diseñada por Seymour Cray con la compañía Control Data Corporation (CDC), esta era 10 veces más rápida que cualquier otra computadora diseñada anteriormente [19].

Year	Name	Peak speed	Location
1943	Colossus	5000 char/sec	Bletchley Park, England
1945	Manchester Mark I	500 inst/sec	Manchester, England
1950	MIT Whirlwind	20 kIPS	MIT, USA
1956	IBM 704	20 kIPS 12 kFLOPS	
1959	IBM 7090	210 kFLOPS	USAF, USA
1960	LARC	500 kFLOPS (2 CPUs)	Lawrence Livermore Lab. USA
1961	IBM 7030	1.2 MIPS 600 kFLOPS	Los Alamos Lab. USA
1965	CDC 6600	10 MIPS 3 MFLOPS	Lawrence Livermore Lab. USA
1969	CDC 7600	36 MFLOPS	Lawrence Livermore Lab. USA

Cuadro I  
COMPUTADORAS Y SU VELOCIDAD (1943-1969)

#### B. De 1970-1990

Durante este tiempo encontramos supercomputadoras importantes como la CDC Star-100 que contaba con un procesador vectorial, un alto coste de instalación y la cantidad de algoritmos que podían ser vectorizados era muy bajo. El Cray-1, supercomputador de Cray Research que tenía un procesador vectorial sin comprometer el escalar, utilizaba transistores ECL, poseía una memoria RAM de 8 MB y una velocidad de reloj de 80 MHz. La CDC Cyber-205, corrigió los errores cometidos por la Star-100 y utilizaba memoria semiconductora y el concepto de memoria virtual. El Cray X-MP, contaba con procesador de vectores paralelos, una velocidad de reloj de 120 MHz y una memoria RAM de 8-128 MB, tenía un mejor soporte de encadenamiento, aritmética paralela y acceso a la memoria compartida con múltiples tuberías por procesador. El Cray-2, impuso un diseño de procesador 4-8 completamente nuevo y compacto, poseía de 512 MB hasta 4 GB de memoria principal [19].

Year	Name	Peak speed	Location
1974	CDC Star-100	100 MFLOPS (vector) ~2 MFLOPS (scalar)	Lawrence Livermore Lab. USA
1975	Cray-1	80 MFLOPS (vector) 72 MFLOPS (scalar)	Los Alamos Lab. USA
1981	CDC Cyber-205	400 MFLOPS (vector) peak, avg much lower	
1983	Cray X-MP	500 MFLOPS (4 CPUs)	Los Alamos Lab. USA
1985	Cray-2	1.95 GFLOPS (4 CPUs) 3.9 GFLOPS (8 CPUs)	Lawrence Livermore Lab. USA
1989	ETA-10G	10.3 GFLOPS (vector) peak, avg much lower (8 CPUs)	
1990	Fujitsu Numerical Wind Tunnel	236 GFLOPS	National Aerospace Lab, Japan

Cuadro II  
SUPERCOMPUTADORAS Y SU VELOCIDAD (1970-1990)

### C. De 1991-2010

En estos años las supercomputadoras más importantes e innovadoras fueron la Intel ASCI-Red, desarrollada como simulador de armas nucleares, diseñada para ser escalable, cuenta con procesamiento paralelo que consta de 38x32x2 CPU (Pentium II Xeons), 4510 nodos de cómputo, 1212 GB de RAM distribuida y 12.5 TB de almacenamiento. La IBM ASCI-White, contaba con 512 máquinas, cada una con 16 CPU que en total sumaban 6 TB de RAM y 160 TB de almacenamiento. IBM Roadrunner, tenía 6480 CPUs de doble núcleo, 12960 PowerXCell 8i CPUS (uno por núcleo de Opteron para el manejo de cálculos), arquitectura híbrida que requiere que todo el software este escrito especialmente. La Cray Jaguar, supercomputadora para laboratorios del gobierno de los Estados Unidos, posee una arquitectura convencional y requiere 6.9 MW para funcionar, fue actualizada en 2009 de CPUs de cuatro núcleos basadas en AMD XT4 a Cray XT5 con 224256 núcleos [19].

Year	Name	Peak speed	Location
1995	Intel ASCI Red	2.15 TFLOPS	Sandia National Lab. USA
2000	IBM ASCI White	7.226 TFLOPS	Lawrence Livermore Lab. USA
2002	Earth Simulator	35.86 TFLOPS	Yokohama Institute for Earth Sciences, Japan
2005	IBM ASCI Blue Gene	70 - 478 TFLOPS	Lawrence Livermore Lab. USA
2008	IBM Roadrunner	1.105 PFLOPS	Los Alamos Lab. USA
2009	Cray Jaguar	1.75 PFLOPS	Oak Ridge Lab. USA

Cuadro III  
SUPERCOMPUTADORAS Y SU VELOCIDAD (1991-2010)

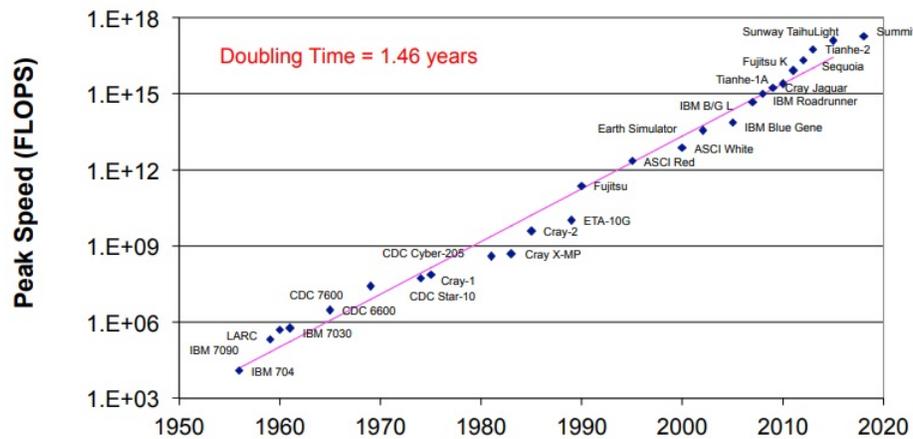
### D. De 2010-Actualidad

En los últimos años se destacan supercomputadoras como la Tianhe-1A, primera supercomputadora china en llegar al top 500, tenía un diseño híbrido entre CPU y GPU, sistema Blade con 14336 CPU Intel Xeon X5670 y 7168 GPGPU Nvidia Tesla M2050. La Fujitsu K, cuenta con un diseño convencional sin aceleradores, topología de toro sin interruptores y requiere de 12.6 MW para funcionar. La Tianhe-2, posee 3120000 cores en 16000 nodos, requiere una potencia elevada de 17.8 MW. La Sunway TaihuLight, construida únicamente con chips chinos, 40960 nodos con 10649600 cores, es dos veces más rápido y tres veces más eficiente que la Tianhe-2, tiene un consumo energético de 15.37 MW. Por último, la supercomputadora más actual y potente, Summit, cuenta con 2282544 núcleos en 4096 nodos y cuenta con una eficiencia energética de tan solo 8.8 MW [19].

Year	Name	Peak speed	Location
2010	Tianhe-1A	2.57 PFLOPS	National Supercomputer Centre, Tianjin, China
2011	Fujitsu K computer	8.2 – 10.5 PFLOPS	RIKEN Advanced Institute for Computational Science, Japan
2012	IBM Sequoia	20.1 PFLOPS	Lawrence Livermore Lab. USA
2013	Tianhe-2	54.9 PFLOPS	National Super Computer Center in Guangzhou, China
2015	Sunway TaihuLight	125.4 PFLOPS	National Supercomputing Center in Wuxi, China
2018	Summit	187.6 PFLOPS	Oak Ridge National Lab, USA

Cuadro IV  
SUPERCOMPUTADORAS Y SU VELOCIDAD (2010-ACTUALIDAD)

A continuación, se mostrará el crecimiento de la supercomputación desde sus inicios hasta la actualidad a través de la siguiente gráfica [19]:



Cuadro V  
CRECIMIENTO DE LAS SUPERCOMPUTADORAS

#### IV. APLICACIONES DE LAS SUPERCOMPUTADORAS

Históricamente las supercomputadoras han servido como herramientas de análisis, simulación y predicción; sea el Cray-1 para realizar predicción del clima o investigación en aerodinámica [5] en los 70s o análisis probabilístico y modelamiento de blindaje contra radiación por el CDC Cyber [6]. Sin embargo, en los últimos años ha empezado a ser fundamental en el área de inteligencia artificial y Big Data.

De esta manera, el supercomputo responde a la necesidad de resolver problemas cada vez más complejos y granulares, tales como simulaciones de la atmosfera, de reacciones químicas y dinámica molecular, de metamateriales, de fluidos, neuronas y procesamiento del genoma humano para facilitar el diagnostico de enfermedades; y, más recientemente, el supercomputo ha sido la base de la investigación en inteligencia artificial, principalmente Deep Learning, y del tratamiento de Big Data, para tratar problemas como la conducción automática o predicción del comportamiento humano. Por ejemplo, el Blue Gene/P de IMB ha sido usado para simular un numero equivalente a alrededor de un uno por ciento de la corteza cerebral humana, que contiene 1.6 billones de neuronas con aproximadamente 9 trillones de conexiones [7].

En temas relacionados, también cabe mencionar el Human Brain Project, basado en computación a exaescala, que busca avanzar el conocimiento en la neurociencia, la computación y medicina general relacionada al cerebro [8]. Las supercomputadoras también son la base del pronostico del clima en la actualidad, pues agencias como la Administración Nacional Oceanica y Atmosférica, del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, usan todos los días supercomputadoras para procesar cientos de millones de observaciones para hacer predicciones climáticas precisas. Además, El Programa Avanzado de Simulación y Computación actualmente utiliza supercomputadoras para mantener y simular las reservas nucleares de los Estados Unidos [9].



Figura 3. Blue Gene/P de IBM, usada para simular la corteza cerebral.

## V. ARQUITECTURA DE LAS SUPERCOMPUTADORAS

Los enfoques para la arquitectura de supercomputadoras han cambiado dramáticamente desde la introducción de los primeros sistemas, desde las primeras supercomputadoras compactas con paralelismo local, hasta los sistemas actuales de paralelización masiva. Es notable el crecimiento en la cantidad de procesadores en las supercomputadoras, pasando de unos pocos en la década de los 70, a miles hacia el final de la década de los 90 y llegando a la actualidad con cientos de miles dominando el paisaje del supercomputo con el massively parallel computing [10].

Los sistemas con muchos procesadores normalmente se encuentran en dos categorías: el grid computing donde el poder de procesamiento de una gran cantidad de computadores es distribuido y oportunisticamente usado lograr una meta común [?]; por otro lado, se encuentran los clusters, sistemas masivamente paralelos centralizados, donde muchos computadores conectados tienen cada nodo asignado a una misma tarea y controlado y programado por software, a diferencia del grid computing [12].

El enfoque de clustering conecta nodos computacionales disponibles a través de cables de área local rápidos. Las actividades de los nodos computacionales se manejan a través de “clustering middleware”, una capa de software está encima de los nodos que permite a los usuarios tratar el cluster como una sola unidad de computo [13]. Además, debido a la cercanía y la cantidad de unidades de procesamiento, es necesario mencionar que un factor crítico en el diseño de los supercomputadores de cluster es el manejo de la temperatura, pues las altas temperaturas afectan el rendimiento y la vida útil de la máquina.

Por ejemplo, el Stampede2 del Texas Advanced Computing Center con 4200 nodos Intel Knights Landing, cada uno con 68 cores, 96GB de DDR RAM y 16GB de MCDRAM de alta velocidad. [14]



Figura 4. Stampede2, del Texas Advanced Computing Center.

Por otro lado, se encuentra el grid computing, que utiliza una gran cantidad de computadores en de administración diversa distribuida [12]. Es un enfoque oportunista que usa recursos cuando están disponibles. Un ejemplo exitoso es BOINC, una red oportunista de basada en voluntarios, que ha llegado a niveles de varios petaflops utilizando cerca de medio millón de computadoras conectadas a Internet.

Sin embargo, cabe mencionar que, si bien el grid computing ha tenido éxito en la ejecución de tareas paralelas, las aplicaciones más exigentes como dinámica de fluidos o simulación atmosférica han permanecido fuera del alcance.

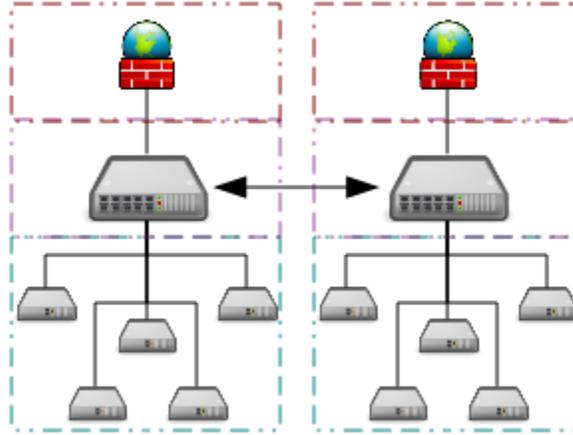


Figura 5. Ejemplo de arquitectura de un sistema computacional geográficamente disperso.

Por otro lado, se encuentra el grid computing, que utiliza una gran cantidad de computadores en de administración diversa distribuida. Es un enfoque oportunista que usa recursos cuando están disponibles [12]. Un ejemplo exitoso es BOINC, una red oportunista de basada en voluntarios, que ha llegado a niveles de varios petaflops utilizando cerca de medio millón de computadoras conectadas a Internet.

Sin embargo, cabe mencionar que, si bien el grid computing ha tenido éxito en la ejecución de tareas paralelas, las aplicaciones más exigentes como dinámica de fluidos o simulación atmosférica han permanecido fuera del alcance de este tipo de sistema.

## VI. "SUMMIT" LA SUPERCOMPUTADORA MÁS POTENTE

La supercomputadora Summit, con una capacidad de cálculo cercana a los 200 petaFLOPs, es el ordenador más potente del mundo desde el 8 de junio del 2018 pero ¿Cómo es capaz de todo esto?, lo logra haciendo uso de 4608 servidores de cómputo los cuales se usan para trabajar paralelamente, estos, a su vez, contienen dos procesadores IBM Power9 de 22 núcleos y seis aceleradores de unidades de procesamiento gráfico NVidia Tesla V100 cada uno por lo que incluso individualmente representan una buena capacidad de cálculo; ocupa 5600 pies cuadrados de superficie y hace uso de 185 millas de cables de fibra óptica.



Figura 6. SUMMIT, la supercomputadora más potente del mundo

Como se ve en la imagen, es una imponente máquina pero ¿a qué problemas se va a enfrentar?, entre los más importantes están analizar y simular explosiones de estrellas y otros fenómenos en el campo de la astrofísica, encontrar el material más eficiente mediante simulaciones de transporte de electrones en un material, analizar y extraer información útil relacionada con el cáncer y por último analizar el genoma o secuencia de ADN de animales para entender mejor su proceso evolutivo y así poder identificar los cambios físicos que conllevan a una mejor adaptabilidad de una especie para con su entorno.

### VII. SUPERCOMPUTACIÓN EN COLOMBIA

Colombia es un país cuyo presupuesto de inversión para ciencia y tecnología no llega si quiera al 1% del PIB [15], por lo cual el desarrollo de estas dos áreas ha tenido muchas brechas en comparación con otros países. Por otro lado, países como China han tenido grandes avances y desarrollo en estas áreas, y para lo que concierne a este artículo a sistemas de supercomputación, precisamente gracias al apoyo de planes nacionales de cinco años y el fuerte desarrollo económico del país, puesto que dichos sistemas soportan investigación científica, innovación tecnológica y revoluciones industriales mientras promueven el avance y expansión del sector TI. De manera, que dicho país ha invertido generosamente en supercomputación y los resultados han generado ingresos para autofinanciarse.

Si bien, quizás económicamente Colombia no está preparada para asumir los compromisos que requiere el desarrollo de la supercomputación, en cuanto a preparación científica no se puede decir lo mismo. Entre las aplicaciones que un sistema supercomputacional permite, en Colombia se ha tratado de innovar con los recursos que se tienen, por ejemplo para “large-scale computing”, campo en el que destacan en China tanto el Sunway TaihuLight como el Tianhe-2 han ganado puntajes de búsqueda (BFS) Graph500, nacionalmente se ha innovado en esta aplicaciones utilizando computación paralela como es el caso de un análisis y simulación de grafos realizado con PageRank [16]. Además, es necesario recordar que se cuenta con GUANE-1 una supercomputadora considerada como la más potente de Colombia que se encuentra en el Parque Tecnológico de Guatiguará [17], la cual sigue siendo un reto computacional pero que ya es usada diariamente para proyectos que conectan el HPC con redes externas de recogida de datos y otros, como modelaciones de la lava volcánica para predecir su comportamiento, simulación de resistencia de materiales o su reconstrucción en 3D, a modo de mosaico, con las cientos de imágenes por segundo que puede proporcionar un microscopio de última generación. [18]

Nodos	Procesador	Memoria RAM	Disco	GPU
8	2 Intel Xeon CPU E5645	104 GB	SAS de 200GB	8 Tesla M2075
3				8 Tesla S2052
5	2 Intel Xeon CPU E5640			

Figura 7. Especificaciones de GUANE-1.

### VIII. CONCLUSIONES

El desarrollo de la humanidad está estrechamente entrelazado con la resolución de problemas de todo tipo, pero para asuntos tangibles suelen reducirse a problemas matemáticos, muchas veces complejos y computacionalmente pesados. El supercomputo es la base para resolverlos: ya sea modelar el cerebro, preveer cómo reacciona un medicamento en el cuerpo, encontrar cómo se podría eliminar el error humano en la conducción de vehículos, hasta simulaciones del universo y el mundo cuántico para entender dónde estamos y a dónde vamos.

Con este fin, el estudio de la arquitectura de las supercomputadores a través del tiempo se hace necesario para poder innovar o contribuir en HPC, pues solo remitiendonos a los orígenes es posible encontrar errores y aciertos que orienten un mejor

desarrollo. Localmente, como país también es necesario tomar como modelos otros países que están destacando en dicha área, pues en cuanto a preparación teórica, Colombia sí cuenta con los investigadores y profesionales para asumir los retos que suponen los sistemas supercomputacionales, aunque desafortunadamente las políticas económicas tienen aún demasiadas falencias para apoyar como es debido esta clase de proyectos. Por lo que el apoyo como comunidad científica en cualquier oportunidad que se genere para apoyar la investigación e inversión en dichas iniciativas es imprescindible.

#### REFERENCIAS

- [1] Espeso, Pablo. España, 1936, la primera computadora programable de la historia. Xataka. Diciembre 2006. Recuperado de: <https://www.xataka.com/otros/1936-la-primer-computadora-programable-de-la-historia>
- [2] Editorial Nobbot. España, Así es Summit, la supercomputadora más potente del mundo. Nobbot. Junio 2018. Recuperado de: <https://www.nobbot.com/general/summit-supercomputadora/>
- [3] Redacción NMX. México, La más potente computadora de América Latina esta en México. NMX. Septiembre 2017. Recuperado de: <http://periodiconmx.com/ciencia/la-mas-potente-computadora-de-america-latina-esta-en-mexico/>
- [4] Echeverry, Manuel. Colombia, La supercomputadora más rápida de Colombia se encuentra en Santander. Xataka Colombia. Agosto 2015. Recuperado de: <https://www.xataka.com.co/otros-dispositivos/la-supercomputadora-mas-rapida-de-colombia-se-encuentra-en-santander>
- [5] "The Cray-1 Computer System"(PDF). Cray Research, Inc. Recuperado de: <https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci703s1c/archive/2008/resources/Russell.pdf>
- [6] "Abstract for SAMSY – Shielding Analysis Modular System". OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France. Recuperado de: <http://www.oecd-nea.org/tools/abstract/detail/iaea0837>
- [7] Kaku, Michio. Physics of the Future (New York: Doubleday, 2011), 91.
- [8] The Human Brain Project overview. Recuperado de: <https://www.humanbrainproject.eu/en/about/overview/>
- [9] "Supercomputers". U.S. Department of Energy. Recuperado de: <https://www.energy.gov/nnsa/missions/maintaining-stockpile>
- [10] Hill, Mark D.; Jouppi, Norman P.; Sohi, Gurindar (2000). Readings in computer architecture. San Francisco: Morgan Kaufmann. pp. 40–49.
- [11] Network-Based Information Systems: First International Conference, NBIS 2007. p. 375.
- [12] Prodan, Radu; Thomas Fahringer (2007). Grid computing experiment management, tool integration, and scientific workflows. Berlin: Springer. pp. 1–4.
- [13] Network-Based Information Systems: First International Conference, NBIS 2007. p. 375.
- [14] STAMPEDE2 TACC'S FLAGSHIP SUPERCOMPUTER. Recuperado de: <https://www.tacc.utexas.edu/systems/stampede2>
- [15] Bustamante, Nicolás. Colombia, lejos de alcanzar la meta de inversión en ciencia. El Tiempo. Abril 2018. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/presupuesto-de-inversion-en-ciencia-de-colombia-207254>.
- [16] Malagon, Edwin, et al. Analysis and simulation of graphs applied to learning with parallel programming in HPC. (2017). 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2017 CHILEAN Conference On, 1. Recuperado de: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2236/10.1109/CHILECON.2017.8229646>.
- [17] MINEDUCACION. El computador más potente de Colombia está conectado a RENATA. Abril 2012. Recuperado de: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-303041.html>
- [18] Infraestructura de GUANE. Marzo 2015. Recuperado de: <http://www.sc3.uis.edu.co/servicios/hardware/#tabs-1>
- [19] Probertm, Martt. High Performance Computing-History of the Supercomputer. 2018. Recuperado de: [http://www-users.york.ac.uk/~mijp1/teaching/4th\\_year\\_HPC/lecture\\_notes/History\\_of\\_Supercomputers.pdf](http://www-users.york.ac.uk/~mijp1/teaching/4th_year_HPC/lecture_notes/History_of_Supercomputers.pdf)
- [20] Summit GPU Supercomputer Enables Smarter Science. Recuperado de: <https://devblogs.nvidia.com/summit-gpu-supercomputer-enables-smarter-science/>