



COMPUTACIÓN DE ALTO DESEMPEÑO

Estado del arte en Argentina y en los países del G20

Russo, Antonio J. (antonio.russo@unc.edu.ar)¹

¹Centro de Computación de Alto Desempeño - Universidad Nacional de Córdoba

5 de julio de 2016

Resumen

La Computación de Alto Desempeño (CAD) representa una disciplina estratégica para que empresas, centros de investigación y entes gubernamentales puedan generar nuevos conocimientos, susceptibles de convertirse en productos y servicios innovadores. El presente documento contiene: en primer lugar, una descripción sucinta de las tecnologías que conforman la CAD y sus posibles usos, en segundo lugar, un análisis comparativo de la situación en nuestro país con respecto a los otros países miembros del grupo denominado G20. Por último se presentan algunas propuestas para el desarrollo de este sector en el país.

1 Introducción

1.1 Computación de Alto Desempeño

El término Computación de Alto Desempeño (CAD) del inglés *High Performance Computing* (HPC) no posee, al momento de la redacción del presente documento, una definición universalmente aceptada en el ámbito académico. A menudo, los actores que conforman la disciplina de la computación moderna tienen la tendencia a utilizar la sigla CAD ya sea para referirse a ciertas prácticas en ingeniería de software que para hablar de algunos tipos de infraestructuras hardware.

El Profesor Jack Dongarra de la Universidad de Tennessee (USA), considerado como uno de los referentes a nivel mundial en la materia, nos propone la siguiente definición: «*High-performance computing most generally refers to the practice of aggregating computing power in a way that delivers much higher performance than one could get out of a typical desktop computer or workstation in order to solve large problems in science, engineering, or business*» [1].

Sin embargo, una definición mas precisa de la CAD debería incluir todas las tecnologías de procesamiento en paralelo de un gran volumen de información, de manera rápida y fiable.

Completando la definición de Dongarra, podemos afirmar que la CAD es una práctica que consiste en concebir, desarrollar e instalar sistemas de computación dedicados al tratamiento de problemas industriales o académicos complejos que poseen la capacidad de :

- realizar varios miles de millones de operaciones de coma flotante por segundo - *FLloating-Point Operations Per Second* (FLOPS);

-
- almacenar varios terabytes de datos, pudiendo acceder a los mismos en todo momento con un rendimiento cercano al de un dispositivo de memoria masiva de un ordenador personal;
 - paralelizar las tareas entre los procesadores disponibles y comunicar los cambios de estado en tiempo real de manera eficiente en términos de escalabilidad;
 - opcionalmente, visualizar una representación tridimensional de los resultados obtenidos a partir de los cálculos efectuados.

Un **cluster computacional (o de cálculo)** es una infraestructura que posee las capacidades listadas anteriormente. De manera simplificada, es posible representar un cluster computacional como una red de ordenadores que trabajan conjuntamente y en paralelo con el objetivo de resolver problemas complejos. Los ordenadores que forman parte de esta red, se denominan nodos de cómputo y pueden comunicar entre sí a gran velocidad como así también acceder a un espacio de almacenamiento de datos compartido.

Una **supercomputadora** se define como un cluster computacional que posee la capacidad de ejecutar aplicaciones paralelas con alto volumen de intercambio de datos entre procesos y una potencia de cálculo, medida en FLOPS, que le permite ingresar en la lista **TOP 500**.

1.2 La lista TOP 500

Una base estadística fiable y disponible abiertamente, que ofrezca información pertinente sobre las supercomputadoras, es un instrumento de gran utilidad para los fabricantes y sus clientes potenciales. Con el fin de proporcionar esta base estadística, un grupo de académicos estadounidenses y europeos crearon en 1993 la lista TOP 500. En dicha lista, se publican a pedido de los propietarios los 500 sistemas informáticos más potentes del planeta. Desde su creación, la lista se actualiza dos veces al año y se pone a disposición del público en la página web <http://www.top500.org>.

Las supercomputadoras se clasifican por orden descendente, dependiendo del rendimiento obtenido durante la ejecución del test *High Performance LinPack* (HPL). El test HPL, un estándar de facto disponible para casi todas las arquitecturas de procesadores, consiste en resolver sistema de ecuaciones lineales denso que, de acuerdo con los parámetros utilizados en el momento de la ejecución, proporciona el mejor rendimiento para un cluster computacional determinado en función de la potencia de cálculo expresada en número de FLOPS [2].

Conocimientos tales como el número de sistemas instalados, la localización geográfica de las su-

percomputadoras y las principales características hardware, pueden facilitar las colaboraciones y el intercambio de datos y de software. Además estos datos proporcionan a los responsables de las organizaciones una mejor comprensión del mercado de la CAD a nivel mundial.

1.3 Computación científica

Los avances tecnológicos y el desarrollo continuo de casi todas las áreas de la ciencia y la ingeniería, requieren el diseño de nuevas soluciones para el procesamiento de grandes cantidades de datos con el objetivo de poder resolver un número elevado de problemas complejos en un plazo razonable. La computación científica es la disciplina que se ocupa del diseño de modelos matemáticos y métodos numéricos para resolver de manera eficiente estos problemas complejos mediante el uso de computadoras. Debido a los requisitos en términos de capacidad de cálculo y de memoria, los problemas abordados por la computación científica serían inmanejables sin recurrir a la utilización de computadoras paralelas.

El paralelismo es una consecuencia de la limitación física que presupone el aumento continuo de la velocidad de reloj del procesador: como la disipación de energía aumenta cuadráticamente respecto a la velocidad del reloj, los chips tienden a calentarse de sobremanera y fundirse si la velocidad del reloj alcanza un umbral determinado. Con el fin de superar esta limitación y poder realizar más operaciones por segundo, los fabricantes de chips producen procesadores que incorporan múltiples núcleos de procesamiento. Siguiendo el mismo principio, los fabricantes de computadoras producen máquinas paralelas mediante la integración de varios servidores.

Las supercomputadoras son máquinas paralelas que, además de disponer de una gran capacidad de cálculo, también poseen las tecnologías necesarias para compilar y ejecutar aplicaciones capaces de explotar, de manera transparente para los usuarios, ciertos mecanismos estandarizados de paralelización adaptables a diferentes arquitecturas de hardware.

1.4 La importancia de las supercomputadoras

La CAD representa una disciplina estratégica para que empresas, centros de investigación y entes gubernamentales puedan generar nuevos conocimientos, susceptibles de convertirse en productos y servicios innovadores. La CAD está cambiando las reglas existentes en materia de competitividad económica y liderazgo científico.

Las supercomputadoras son imprescindibles para modelar fenómenos complejos a través de la implementación de modelos matemáticos cuyos resultados se obtienen gracias a la utilización paralela de varios miles de procesadores. Por ejemplo, un modelo cuya resolución implique 24 horas de cálculo en una computadora hogareña, tomaría sólo unos pocos segundos en una supercomputadora. O bien, se podría resolver en menos de 24 horas el mismo modelo, con un caso de base 12.000 veces mayor evaluando la sensibilidad sobre más de 5.000 parámetros.

Estas ganancias de tiempo (o de fiabilidad) pueden reducir los costos en cada una de las etapas de desarrollo de un producto (diseño, optimización, validación) y potencialmente afectan muchas áreas de aplicación industrial como los sectores automotriz y aeroespacial, energético, químico, financiero y sectores de punta como el estudio de los nano-materiales, la bio-medicina o la bio-genética aplicada a la producción de alimentos.

Las industrias desarrolladas de los países centrales continúan ganando competitividad en el mercado global gracias a la introducción de saberes y conocimientos científicos en los procesos de producción de bienes y/o servicios. Por este motivo, recurren de manera masiva a la simulación numérica con el fin de optimizar la cadena de valor de sus productos. Un ejemplo concreto de optimización económica gracias al uso de simulación numérica lo constituye la empresa nacional de electricidad francesa *Électricité de France* (EDF). EDF opera actualmente 58 reactores nucleares que lo convierten en el principal productor de electricidad a nivel europeo. La empresa emplea la simulación numérica para garantizar la seguridad, aumentar la vida útil o mejorar el rendimiento de las instalaciones nucleares e hidráulicas, como así también para agilizar el transporte, la distribución y la facturación de la electricidad.

En el ámbito académico, los resultados de las simulaciones numéricas son sumamente útiles a la hora de producir conocimiento científico objetivado mediante la publicación de artículos. La mayoría de los gobiernos de los países del G20 han comprendido esta dinámica y financian de manera intensa programas de adquisición y/o desarrollo de supercomputadoras. Un ejemplo de ello lo constituye la reciente promoción por parte del gobierno de los Estados Unidos de la *National Strategic Computing Initiative* (NSCI) para el desarrollo acelerado de un sistema exaflopico (1.000.000 de Teraflops) ¹.

Cabe destacar que, en términos de desarrollo del sector de la CAD las políticas adoptadas por la República Popular de China no cesan de modificar el panorama a nivel mundial. A modo de ejemplo se recuerda que en noviembre de 1996, la República Popular de China poseía una sola supercomputadora

¹http://science.energy.gov/~media/ascr/ascac/pdf/meetings/201512/Szulman_ASCAC_Briefing_120915.pdf

clasificada en la posición 298. En la actualidad, existen 168 supercomputadoras instaladas en territorio chino de las cuales 10 se ubican entre las primeras 100 posiciones incluyendo el primer y el segundo puesto.

Desde junio de 2013, la República Popular de China lidera la clasificación TOP500. Hasta mayo de 2016 este liderazgo se ha llevado a cabo con la supercomputadora *Tianhe-2*. A partir de junio del corriente, la supercomputadora número uno del planeta ha pasado a ser *Sunway TaihuLight*. Esta supercomputadora representa un hito e inaugura una nueva era en la CAD, pues ha sido desarrollada integralmente en China, incluyendo los procesadores *Sunway SW26010 260C*. De hecho, es la primera vez que un país logra ejercer su soberanía tecnológica produciendo un sistema de estas magnitudes de manera autónoma.

En la actualidad verificamos una carrera a la capacidad de cálculo entre las superpotencias y la temática ocupa un lugar importante en las agendas políticas y diplomáticas de los países desarrollados. Un país que no posee la capacidad de cálculo para resolver sus propios problemas no tendrá mas alternativa que adquirir las soluciones que otros le provean. Uno de los aspectos mas importantes de la soberanía en el siglo XXI lo constituye la posibilidad de producir modelos matemáticos y contar con los medios materiales para resolverlos. En este momento la disponibilidad de potencia de cálculo acorde a las propias riquezas aumenta de manera exponencial la capacidad de un país para producir conocimiento.

2 Estado del arte

2.1 La situación mundial

En la actualidad, sólo 29 países poseen al menos una supercomputadora clasificada en la lista TOP 500 de junio de 2016. Con excepción de Argentina, México, Indonesia y Turquía, todos los países miembros del G20 poseen al menos una supercomputadora en este ranking. **Argentina es el único país del G20 que no ha logrado posicionar una supercomputadora en el TOP500 en ninguna de sus 47 ediciones.** Turquía, Indonesia y México lograron clasificar al menos una supercomputadora en los últimos 10 años.

Cuadro 1: Potencia de cálculo agregada de supercomputadoras

Posición	País	Potencia de cálculo agregada teórica (Tflops) ¹	Porcentaje de la lista TOP500	G20
1	China	367.633,91	43,48 %	Si
2	Estados Unidos	246.389,83	29,14 %	Si
3	Japón	48.596,13	5,75 %	Si
4	Alemania	39.211,96	4,64 %	Si
5	Francia	27.511,09	3,25 %	Si
6	Reino Unido	22.610,75	2,67 %	Si
7	Arabia Saudita	12.798,14	1,51 %	Si
8	Italia	10.307,51	1,22 %	Si
9	Suiza	10.137,29	1,20 %	No
10	Corea del Sur	8.628,44	1,02 %	Si
11	Polonia	7.566,13	0,89 %	* ue
12	Rusia	7.338,23	0,87 %	Si
13	India	5.901,04	0,70 %	Si
14	Australia	4.320,45	0,51 %	Si
15	Finlandia	3.774,03	0,45 %	* ue
16	Suecia	3.693,90	0,44 %	* ue
17	Austria	3.036,26	0,36 %	* ue
18	Países Bajos	2.900,28	0,34 %	* ue
19	República Checa	2.011,64	0,24 %	* ue
20	Brasil	1.897,51	0,22 %	Si
21	Irlanda	1.499,44	0,18 %	* ue
22	Dinamarca	1.320,48	0,16 %	* ue
23	Singapur	1.285,94	0,15 %	No
24	Bélgica	1.027,00	0,12 %	* ue
25	España	1.017,04	0,12 %	* ue
26	Sudáfrica	1.006,39	0,12 %	Si
27	Canadá	838,86	0,10 %	Si
28	Nueva Zelanda	768,00	0,09 %	No
29	Noruega	458,60	0,05 %	No

^{ue} Participan en el G20 en calidad de miembros de la Unión Europea.

¹ Fuente: <http://top500.org/list/2015/11/>

Como se puede apreciar en el cuadro 1, el grado de concentración es sumamente elevado, los 5 primeros países detienen más del 86 % de la potencia de cálculo instalada, mientras que los 15 miembros del G20 (excluyendo la Unión Europea) concentran el 95,21 % de la potencia de calculo teórica publicada en la lista TOP 500.

A nivel del grupo 3 del G20, hasta la edición pasada de la lista TOP500 México poseía una super-

computadora clasificada, pero sólo Brasil mantiene una política de inversión sustentable con objetivos a largo plazo y actualmente detiene 4 supercomputadoras equivalentes al 0,22 % de la potencia instalada, ubicándose por encima de países como Canadá, Noruega, Dinamarca y España.

En relación al Producto Bruto Interno (PBI), el nivel de inversión en infraestructuras de CAD es bastante heterogéneo y puede clasificarse en 3 grupos. Un primer grupo lo conforman los países cuyo ratio de potencia instalada supera los 10 Tflops por unidad de PBI. De este grupo forman parte los países tradicionalmente líderes en la materia como Estados Unidos, Suiza, Alemania, Francia y Japón y los países que han decidido invertir de manera agresiva para atrapar el retraso y ocupar una posición de liderazgo. Claros ejemplos de estas políticas son China, quien pasó de detener el 3,4 % de la potencia instalada en junio de 2006 al 43,48 % en junio de 2016 y Arabia Saudita que poseía 4 supercomputadoras intermedias en junio de 2006 y 5 supercomputadoras en junio de 2016, 2 de las cuales clasificadas en el TOP 100.

Cuadro 2: Relación entre potencia de cálculo instalada y PBI. Inversión agresiva.

Posición	País	Potencia de cálculo agregada teórica (Tflops)	Producto Bruto Interno (Nominal) ¹	Tflops instalados por unidad de PBI
1	China	367.633,91	10.983	33,47
2	Arabia Saudita	12.798,14	653	19,59
3	Finlandia	3.774,03	230	16,40
4	Polonia	7.566,13	475	15,93
5	Suiza	10.137,29	665	15,24
6	Estados Unidos	246.389,83	17.947	13,73
7	Japón	48.596,13	4.123	11,79
8	Alemania	39.211,96	3.358	11,68
9	Francia	27.511,09	2.422	11,35

¹ Las unidades de PBI están expresadas en billones de dolares estadounidenses. Fuente: "World Economic Outlook Database". Fondo Monetario Internacional. Abril de 2016.

El segundo grupo está mayormente conformado por países que han mantenido su presencia en la lista en los últimos 20 años como Rusia, Australia, Corea del Sur, Italia, Reino Unido y Suecia o países que han decidido desarrollar la CAD desde hace algunos años manteniendo constante el nivel de inversión.

Cuadro 3: Relación entre potencia de cálculo instalada y PBI. Inversión sostenida.

Posición	País	Potencia de cálculo agregada teórica (Tflops)	Producto Bruto Interno (Nominal) ¹	Tflops instalados por unidad de PBI
10	República Checa	2.011,64	182	11,05
11	Austria	3.036,26	374	8,12
12	Reino Unido	22.610,75	2.849	7,93
13	Suecia	3.693,90	493	7,49
14	Irlanda	1.499,44	238,03	6,30
15	Corea del Sur	8.628,44	1.377	6,26
16	Italia	10.307,51	1.816	5,68
17	Rusia	7.338,23	1.325	5,54
18	Dinamarca	1.320,48	295	4,47
19	Nueva Zelanda	768,00	172	4,47
20	Singapur	1.285,94	292,73	4,39

¹ Las unidades de PBI están expresadas en billones de dolares estadounidenses. Fuente: "World Economic Outlook Database". Fondo Monetario Internacional. Abril de 2016.

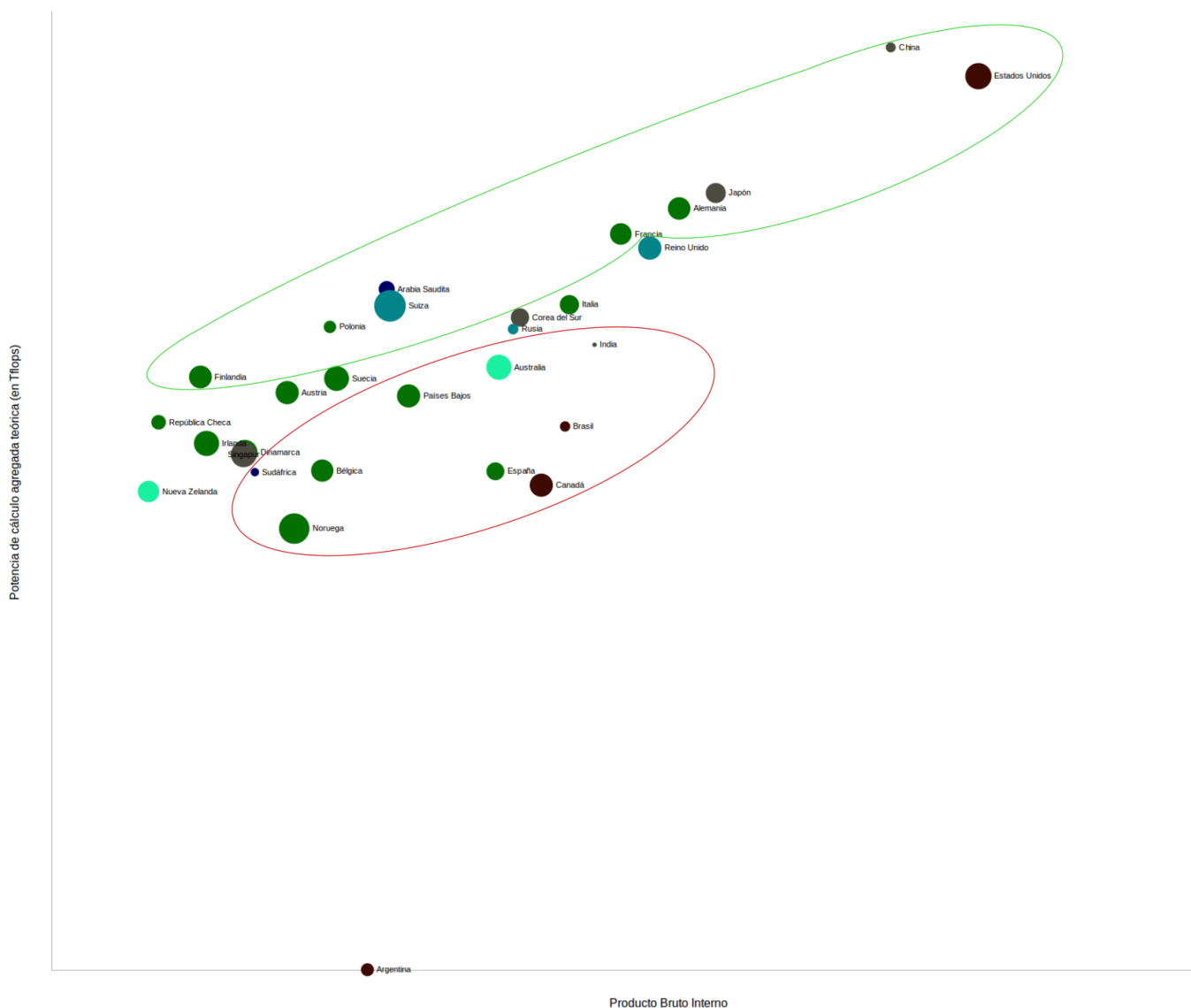
Mientras que el tercer grupo está conformado por países que han declinado su presencia en la lista en los últimos 20 años como España, Canadá, Países Bajos y Australia o países que han decidido hacer uso de supercomputadoras sin realizar una inversión acorde con sus capacidades económicas.

Cuadro 4: Relación entre potencia de cálculo instalada y PBI. Inversión mínima.

Posición	País	Potencia de cálculo agregada teórica (Tflops)	Producto Bruto Interno (Nominal) ¹	Tflops instalados por unidad de PBI
21	Países Bajos	2.900,28	738	3,92
22	Australia	4.320,45	1.224	3,53
23	Sudáfrica	1.006,39	312,96	3,22
24	India	5.901,04	2.091	2,82
25	Bélgica	1.027,00	454,69	2,26
26	Noruega	458,60	389	1,18
27	Brasil	1.897,51	1.773	1,07
28	España	1.017,04	1.200	0,85
29	Canadá	838,86	1.552	0,54

¹ Las unidades de PBI están expresadas en billones de dolares estadounidenses. Fuente: "World Economic Outlook Database". Fondo Monetario Internacional. Abril de 2016.

Figura 1: Relación entre potencia de cálculo instalada y PBI. El tamaño de las burbujas correspondientes a cada país representan el PBI per capita. Conjunto línea verde: países de «inversión agresiva». Conjunto línea roja: países de «inversión mínima». Datos en escala logarítmica.



En la figura 2.1 se puede visualizar la ubicación de los países presentes en la 47ª edición de la clasificación Top500 en un plano cartesiano. En el eje de las ordenadas se representan los TFLOPS teóricos agregados por país y en el eje de las abscisas el PBI en dólares corrientes. Para dotarse de una supercomputadora la mayoría de los países deben contar con un stock de divisas pues, salvo la República Popular de China, ninguna nación es capaz de producir en su propio territorio todos los componentes

necesarios. Es por esta razón que se ha tomado la decisión de usar el PBI nominal en lugar del PBI por paridad de poder adquisitivo, ya que para poder entrar en la clasificación TOP500 es necesario contar con las divisas independientemente del poder de compra que las mismas representen fronteras adentro. Los datos se presentan en una escala logarítmica ya que los mismos cubren una amplia gama de valores. Se ha agregado al gráfico nuestro país a fin de ilustrar la situación de retardo que se verifica en la actualidad.

2.2 La situación en Argentina

Al momento de la redacción del presente documento, el cluster más potente de la Republica Argentina se encuentra en el Centro de Simulación Computacional para Aplicaciones Tecnológicas (CSC), dependiente del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET), ubicado en el Polo Científico-Tecnológico de Buenos Aires. Este cluster, conocido bajo el nombre de «Tupac» tiene una potencia efectiva aproximada de 48 TFLOPS² y ha comenzado a operar a fines de 2015 bajo la responsabilidad del Dr. Eduardo Dvorkin.

Si bien los clusters computacionales permiten efectuar un cierto numero de simulaciones numéricas, no se puede abordar plenamente este paradigma sin poseer una supercomputadora. «Tupac» es un cluster computacional que cubre parcialmente las necesidades de cómputo del sistema científico, pero éste no puede considerarse como una supercomputadora y debido a su escasa potencia de cálculo un numero importante de simulaciones no pueden efectuarse en el mismo.

Uno de los objetivos del presente documento es analizar la situación de nuestro país con relación a las supercomputadoras puesto que los demás países poseen también clusters computacionales que no clasifican en la lista TOP500 y por lo tanto no se incluyen en el cálculo de potencia agregada.

Por los motivos expuestos se considera que al día de la fecha Argentina no posee potencia de cálculo instalada. Siendo el único país del G20 (y probablemente del mundo) que teniendo los recursos humanos capaces de producir modelos matemáticos y métodos numéricos para resolver problemas complejos no dispone de la capacidad de cálculo necesaria para ejecutar los mismos.

El hecho de no poseer equipamientos acordes a las capacidades humanas resalta aun más esta problemática puesto que la formación de recursos humanos altamente calificados representa el 80 %

²TUPAC es un cluster híbrido conformado por procesadores X86_64 cuya potencia efectiva es de 22 TFLOPS y por unidades de procesamiento gráfico (GPU) que aumentan considerablemente la potencia de calculo global del cluster. Los resultados del test HPL no han sido publicados, por lo tanto estos valores pueden estar sujetos a futuras rectificaciones.

de la inversión. Es decir, estamos formando profesionales para los países desarrollados y perdiendo la oportunidad de convertirnos en líderes a nivel regional en el sector de la CAD.

En el cuadro 5 se ha desarrollado un ejercicio teórico que pretende calcular cuánto debería ser la potencia instalada en Argentina basándose en su PBI y comparando con otros países según su pertenencia a los 3 grupos de estrategias de inversión en supercomputadoras.

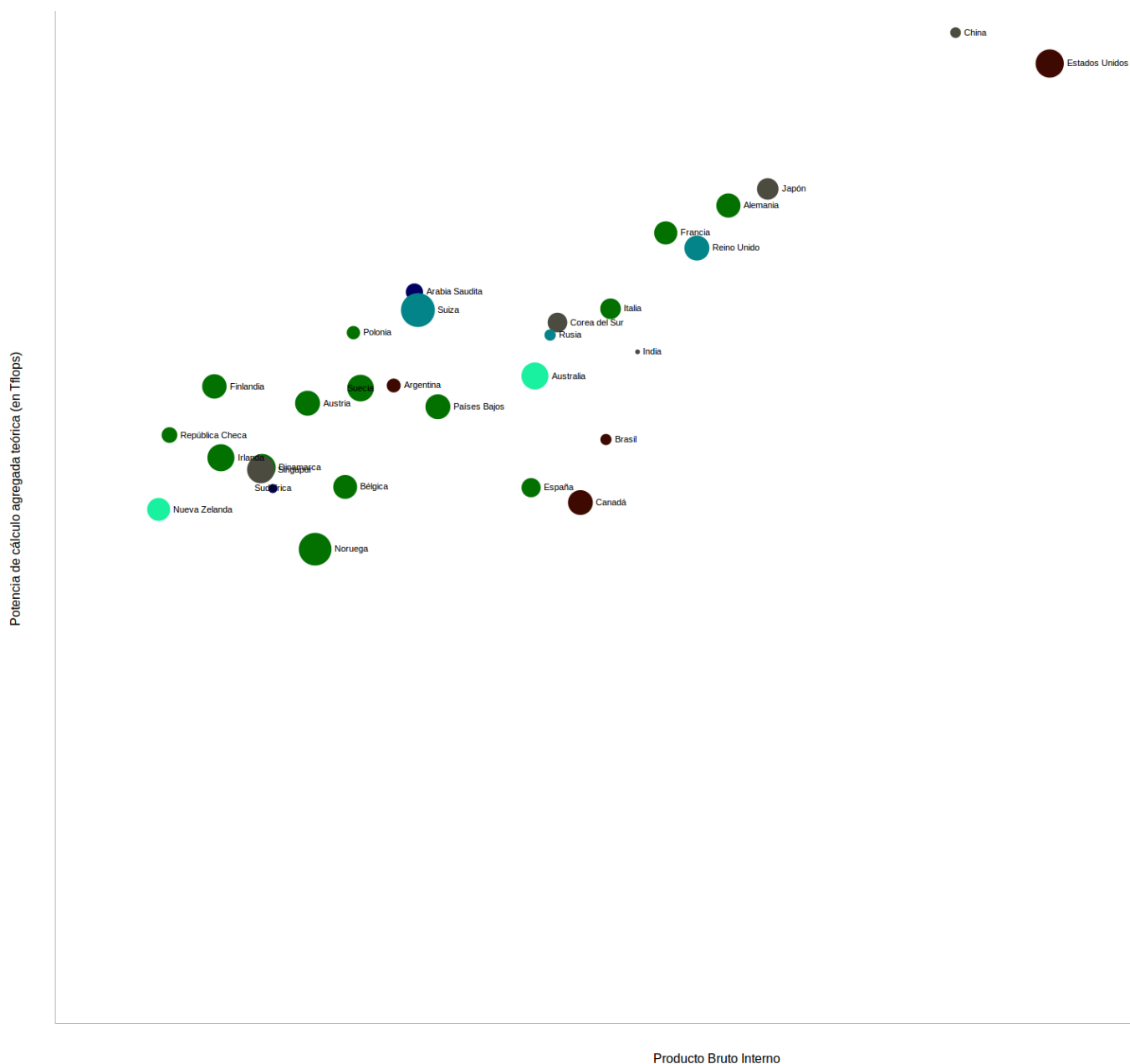
Cuadro 5: Inversión no ejecutada en potencia de cálculo en Argentina

Estrategia de Inversión	Media Aritmética en Tflops por unidad de PBI	Tflops que debería poseer Argentina
Agresiva	16,58	9.710
Sostenida	6,52	3.818
Mínima	2,16	1.265

¹ Basado en un PBI de 585,62 billones de dolares estadounidenses. Fuente: "World Economic Outlook Database". Fondo Monetario Internacional. Abril de 2016.

Si Argentina siguiera una estrategia de inversión agresiva similar a Polonia, país que posee un PBI nominal y un PBI per capita similares al nuestro, **debería contar al día de la fecha varias supercomputadoras por una potencia de cálculo teórica de 9.328 Tflops**. Mismo siguiendo una estrategia de inversión mínima hoy exhibiría una o varias supercomputadoras, teniendo en cuenta que que para poder acceder a la lista TOP 500 de junio de 2016 era necesario disponer de 300 Tflops de potencia efectiva.

Figura 2: Proyección de la potencia de cálculo instalada en Argentina si se realizara una inversión sostenida. El tamaño de las burbujas correspondientes a cada país representan el PBI per capita. Datos en escala logarítmica.



En la figura 2.2 se puede visualizar la ubicación de la República Argentina siguiendo una estrategia de inversión sostenida. Al cabo de un lustro de aplicación de esta política, nuestro país se encontraría al

mismo nivel que Australia, Suecia o Finlandia.

3 Principales ideas presentadas en el documento y propuestas

A los fines de tomar conciencia del atraso tecnológico que refleja el sector, se recuerdan a modo de conclusión los puntos mas significativos tratados en el presente documento:

- Las supercomputadoras son imprescindibles para modelar fenómenos complejos.
- Un país que no posee la capacidad de cálculo para resolver sus propios problemas no tendrá mas alternativa que adquirir las soluciones que otros le provean.
- Argentina es el único país del G20 que no ha logrado posicionar una supercomputadora en el TOP500 en ninguna de sus 47 ediciones.
- Si Argentina siguiera una estrategia de inversión agresiva similar a Polonia, debería contar al día de la fecha con varias supercomputadoras con una potencia de cálculo teórica de 9.328 Tflops, es decir el equivalente a **194 clusters computacionales** similares a «Tupac».

Para poder subsanar este atraso tecnológico, se requiere un plan de inversiones a corto y mediano plazo. Siguiendo los modelos exitosos implementados en otros países, como por ejemplo Suiza a través del *Centro Svizzero di Calcolo Scientifico (CSCS)*, dicho plan debería ser llevado a cabo por un Centro Nacional de Competencias en CAD que implique una reorganización estratégica de los recursos que se destinan actualmente al sector.

Este Centro debería basarse en un modelo que implique autonomía en la toma de decisiones e instancias ejecutivas flexibles y eficientes, capaces de adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos propios del sector. Dicha organización debería asimismo priorizar la vinculación tecnológica e intercambio con los principales Centros del mundo, una participación activa a la comunidad internacional de CAD y la transferencia tecnológica hacia las empresas radicadas en nuestro territorio interesadas en la simulación numérica.

En este momento, nuestro país cuenta con la ventaja de conocer los modelos adoptados por los diferentes países en su carrera a la capacidad de cálculo, pudiendo adoptar la estrategia más conveniente a nuestros recursos, ya sea en términos humanos que materiales.

Desde el punto de vista del desarrollo tecnológico, es un excelente momento para irrumpir en la escena internacional pues estamos asistiendo a una competencia agresiva entre los proveedores de

procesadores que se traduce en importantes ventajas comerciales, en particular para los nuevos clientes.

Referencias

- [1] D. Mrozek, *High-Performance Computational Solutions in Protein Bioinformatics*. Springer, 2014, foreword by Jack Dongarra.
- [2] J. J. Dongarra, P. Luszczek, and A. Petitet, “The linpack benchmark: Past, present, and future. concurrency and computation: Practice and experience,” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 15, 2003.