

# Supercomputación basada en la arquitectura ARM

Silvia Juliana Moreno Roa  
Ingeniería de Sistemas  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Santander  
silvia.moreno2@correo.uis.edu.co

Andres Felipe Rodriguez Granados  
Ingeniería de Sistemas  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Santander  
andres.rodriguez8@correo.uis.edu.co

Yenny Katherine Sarmiento Ortiz  
Ingeniería de Sistemas  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Santander  
yenny.sarmiento1@correo.uis.edu.co

*Abstract—The supercomputer K created by the company Fujitsu, although no longer heads the list of the best supercomputers in the world, continues being the highest technology standard Japanese. By 2020, a new successor named POST-K, which bases its system on an architecture called ARM, seeks to surpass all aspects of its predecessor, thanks to an efficient improvement of processing and energy use that significantly broadens the fields of research and reach.*

*Keywords—component; formatting; style; styling; insert (key words) HPC, ARM, POST-K system, K system, Fujitsu, XMP, SPARC, Middleware*

*Resumen—La supercomputadora K creada por la compañía Fujitsu, aunque ya no encabeza la lista de las mejores supercomputadoras en el mundo, sigue siendo el más alto estandarte tecnológico japonés. Para el año 2020, una nueva sucesora denominada POST-K, que basa su sistema en una arquitectura denominada ARM busca superar en creces todos los aspectos de su antecesora, gracias a un mejoramiento eficiente de procesamiento y uso energético que amplía significativamente los campos de investigación y alcance.*

## I. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico de la supercomputación ha permitido el desarrollo de campos investigativos en pro de la humanidad. Los alcances de estas investigaciones dependen de factores estrictamente relacionados al rendimiento y capacidades de cálculo, los cuales constantemente están aumentando, alcanzando rendimientos que antes se creían imposibles.

Este artículo investigativo describe a la supercomputadora K, la cual es una de las más eficientes a nivel mundial, desarrollada en alianza por la empresa tecnológica Fujitsu junto con el instituto de investigación de ciencias RIKEN ubicada en la ciudad de Kobe, Japón.

La supercomputadora K desarrollada a partir de una

arquitectura de procesadores SPARC, logró ser la mejor supercomputadora en el mundo por dos veces consecutivas en el año 2011, sin embargo, para el desarrollo de la nueva generación, esta alianza de Fujitsu y RIKEN optó por desarrollar la POST-K basándose en una arquitectura de procesadores ARM que aprovechan de mejor manera el consumo energético y a su vez, aumentan el rendimiento de manera significativa. La alianza espera que la supercomputadora POST-K esté en funcionamiento en el año 2020, y citando textualmente lo que sostienen: La POST-K será cien veces más rápida que su predecesor, esperan dominar el ranking de las supercomputadoras nuevamente.

## II. ESTADO DEL ARTE

*Para poder enumerar las principales innovaciones del sistema K se mostrará cómo ha ido mejorando este sistema con el pasar del tiempo.*

K es un superordenador que se basa en una arquitectura de memoria distribuida con más 80.000 nodos de la computadora. Se utiliza para una variedad de aplicaciones, incluyendo la investigación sobre el clima, la prevención de desastres y la investigación médica. Su sistema operativo se basa en el kernel de Linux, con controladores adicionales diseñados para hacer uso del hardware del equipo.

Cada rack está equipado con cerca de 100 CPUs. En el edificio de la computadora hay 800 o más estantes instalados para la supercomputadora K. En esta instalación, varias características se han implementado para eliminar eficientemente el calor generado durante los cómputos; y permitir la configuración óptima del sistema dentro de las instalaciones. La estructura de las instalaciones siempre asegura el rendimiento del ordenador K y que es configuración según sea necesario para el funcionamiento estable.



Figura 1. Super K computadora

**Arquitectura de Nodo:** la supercomputadora K se compone de 88.128 de 2.0GHz ocho-core SPARC64 VIIIfx procesadores contenidos en 864 gabinetes, para un total de 705.024 corazones, fabricados por Fujitsu, con tecnología CMOS de 45 nm. Cada gabinete contiene 96 nodos informáticos, además de 6 nodos de I/O. Cada nodo de computación contiene un solo procesador y 16 GB de memoria. Sistema de enfriamiento de agua de equipo está diseñado para minimizar la falta velocidad y consumo de energía.

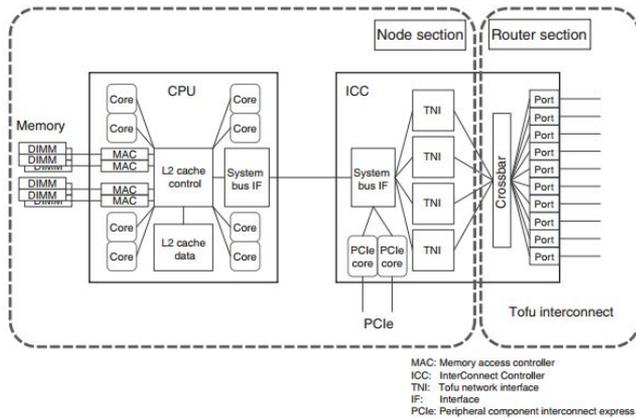


Figura 2. Diagrama conceptual de las secciones de nodo y el router.

**Sistema de archivos:** El sistema adopta un sistema de archivos local y mundial de dos niveles con funciones URL, distribuidos y proporciona a los usuarios una función automática de puesta en escena para mover archivos entre sistemas de archivos locales y globales. Fujitsu desarrolló un sistema de ficheros paralelo optimizado basado en Lustre, llamado el sistema de archivo de Exabyte de Fujitsu (FEFS), que es escalable hasta varios cientos petabytes.

**Consumo de Energía:** K reportó el mayor consumo de energía total de cualquier superordenador TOP500 de 2011 (9.89 MW, el equivalente de casi 10.000 hogares suburbanos), es relativamente eficiente, logrando 824.6 GFlop/kWatt. Se trata de 29.8% más eficiente que el de China NUDT TH MPP

(en el puesto #2 en 2011) y 225.8% más eficiente que el de Oak Ridge Jaguar-Cray XT5-HE (en el puesto #3 de 2011). Sin embargo, eficacia de energía de K todavía queda muy por detrás el 2097.2 Flops/kWatt superordenador récord de IBM NNSA/SC Blue Gene/Q prototipo 2. Los costes de funcionamiento anuales del equipo se estiman en los 10 millones de dólares.

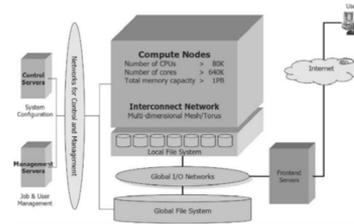


Figura 3. Comparación del Sistema

Después de 28 horas, todos los 68.544 nodos trabajaron sin ninguna falla en el Benchmark que se hizo en el año 2011, donde a continuación en la tabla 1, se mostrará de forma más específica.

	Junio 2011	Noviembre 2011	Unidad
Top Ranking	500	1	Rango
No. de Cores	548 352	705 024	Unidades
Rendimiento	8162.00	10 510.00	TFlops
Energía	9898.56	12 659.9	kW
Green500 ranking	6	32	Rango
Rendimiento de potencia	824.56	830.18	MFLOPS/W

Tabla 1. Benchmark Super computadora K 2011.

TOP 10 Sites for November 2016

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
7	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705,024	10,510.0	11,280.4	12,660
1	National Supercomputing Center in Wuxi China	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRCCP	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371

Figura 4. Comparativamente tenemos el Ranking del año 2016 en el mes de Noviembre en el que se evidencia de forma directa los avances de la computadora super K. Y la segunda imagen presenta la tecnología que hoy está ocupando el primer puesto en computación, debido a que supera 15 veces

en cores a la super K.

### ARM

Antes de entrar a mostrar lo que es ARM sus características y aplicaciones actuales, debemos tener una noción de lo que existía antes de su diseño.

**CISC:** Pertenece a la primera corriente de construcción de procesadores y nació de la mano de Intel, creador en 1971 del primer microchip que permitió la creación de la informática personal, más exactamente en 1972 cuando nació el 8080(primer chip capaz de procesar 8 bits), algunos ejemplos de CISC son Motorola 68000, Zilog Z80 y toda la familia Intel X86.

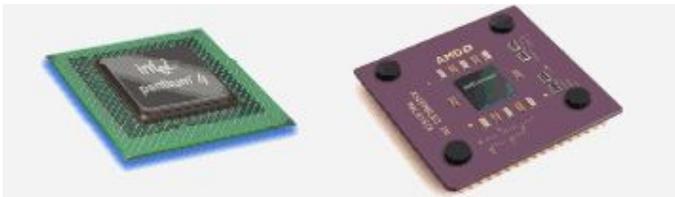


Figura 5 . Procesador CISC

Luego de CISC vendría lo que se conoce como RISC, esto debido a que CISC dificulta el paralelismo en instrucciones, por lo que en la actualidad este tipo de arquitecturas de alto rendimiento implementan un sistema que convierte dichas instrucciones complejas en varias instrucciones simples RISC, llamadas por lo general microinstrucciones.



Figura 6. Procesador RISC

Dos características importantes de RISC son:

1. Instrucciones de tamaños fijos y presentados en un reducido número de formatos.
2. Sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden

a la memoria de datos.

La siguiente imagen muestra una comparación básica entre CISC y RISC.

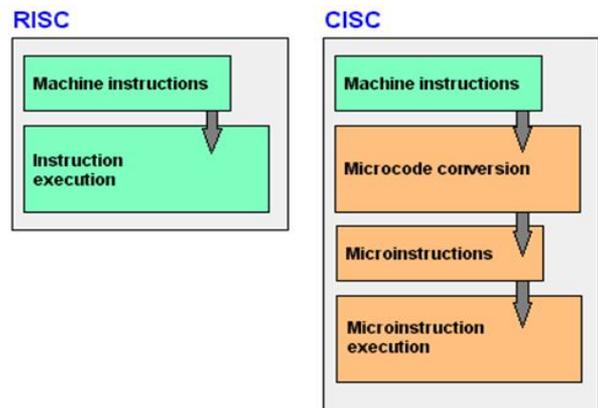


Figura 7. Comparación de CISC y RISC

El objetivo principal de crear máquinas con la arquitectura RISC es posibilitar la segmentación y el paralelismo en la ejecución de instrucciones y reducir los accesos a memoria. Aunque comúnmente el procesador más usado en equipos de escritorio es el X86, este está basado en CISC, y sus versiones más nuevas traducen las instrucciones de CISC X86 a instrucciones más simples basadas en RISC para su uso interno.

**ARM:** es una arquitectura basada en RISC que tiene un enfoque de uso reducido de transistores, garantizando un alto rendimiento y alta eficiencia energética desarrollada por ARM Holdings, que ha tenido un gran crecimiento en los últimos años. Fue llamada Acorn RISC Machine y más adelante Advanced RISC Machine. Para conocer un poco sobre el nacimiento de ARM nos remontaremos a los años 1983 donde se inició el desarrollo de ARM, como un proyecto de la empresa Acorn Computers Ltd. La razón era que Acorn tenía una larga línea de ordenadores personales basados en una arquitectura similar a la del MOS 6502, por lo que desarrollar uno con el que los desarrolladores se sintieran cómodos era muy útil. Roger Wilson y Steve Furber, fueron los pioneros en el desarrollo de la tecnología y en abril de 1985 presentaron su primer chip llamado ARM1 que ya es obsoleta, y en 1986 lanzó la primera versión utilizada comercialmente se bautizó como ARM2.



que producen los procesadores finales, basados en la licencia original y optimizada para la aplicación que requiera el productor.

- Una característica única del juego de instrucciones es la posibilidad de añadir shifts y rotar en el procesamiento de datos (aritmético, lógico y movimiento de registros), por ejemplo, la instrucción en C "a += (j << 2);" puede ser mejorada como una única instrucción en el ARM, permitiendo la reubicación del registro.

La relativa simplicidad de los procesadores ARM los hace ideales para aplicaciones de baja potencia. Como resultado de esto, se han convertido en los dominantes en el mercado de la electrónica móvil e integrada, usados en microprocesadores y microcontroladores pequeños, de bajo consumo y relativamente bajo costo.

En 2005, alrededor del 98% de los más de mil millones de teléfonos móviles vendidos utilizaban al menos un procesador ARM. Desde 2009, los procesadores ARM son aproximadamente el 90% de todos los procesadores RISC de 32 bits integrados. En la actualidad la empresa británica ARM Holdings con sede en Cambridge ya no construye sus propios dispositivos solo los diseña y son otros los encargados de hacer dichos bocetos una realidad. Dentro de los principales clientes de ARM están Qualcomm, Samsung, MediaTek, Huawei e incluso Apple.



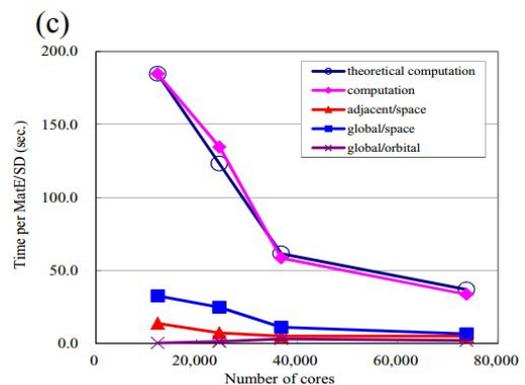
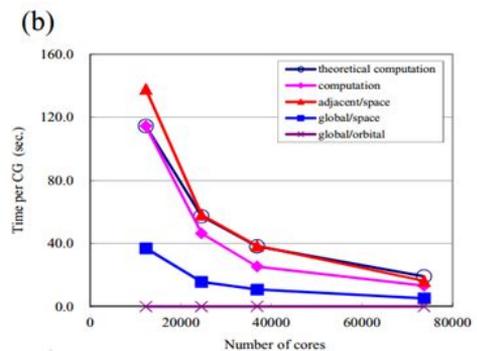
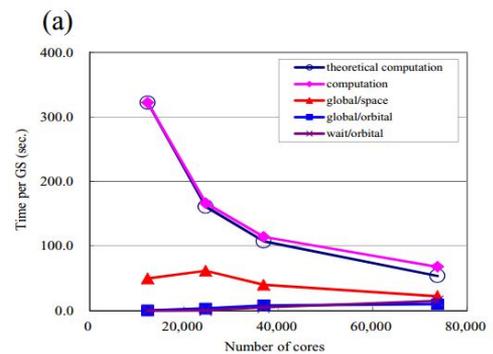
Figura 11. Microprocesador Apple A5 con ARM-Cortex A9

Los últimos diseños de la empresa han sido los ARMv8, presentes en los núcleos Kryo que comercializa Qualcomm desde el Snapdragon 820, y los Artemis, pronto presentes en el futuro Mediatek Helio X30 de 10 nanómetros.

### III. FUNCIONALIDADES DE LA SUPERCOMPUTADORA K

**1. El problema del billón-cuerpo gravitacional:** Como una entrada para el premio de 2012 Gordon-Bell performance, Se divulgaron resultados de simulaciones de N cuerpos astrofísicos de partículas de 1 trillón realizadas sobre el sistema completo de la supercomputadora K. Se trata de la

primera simulación de billones-cuerpo gravitacional en el mundo. La motivación científica, el algoritmo numérico, la estrategia de paralelización y el análisis de rendimiento. A diferencia de muchos anteriores ganadores del premio Gordon-Bell que utilizaron el algoritmo de árbol de simulaciones de N cuerpo astrofísicos, se utilizó el híbrido TreePM método, de similar nivel de precisión en el que la fuerza de corto alcance se calcula por el algoritmo de árbol, y la fuerza de largo alcance es solucionada por el algoritmo de particlemesh. Se desarrolló un núcleo de gravedad altamente optimizadas para las fuerzas de corto alcance y un algoritmo de comunicación novedosa para las fuerzas de largo alcance. El rendimiento promedio en nodos 24576 y 82944 del ordenador K son 1.53 y 4.45 Pflops, que corresponden al 49% y 42% de la velocidad de pico.



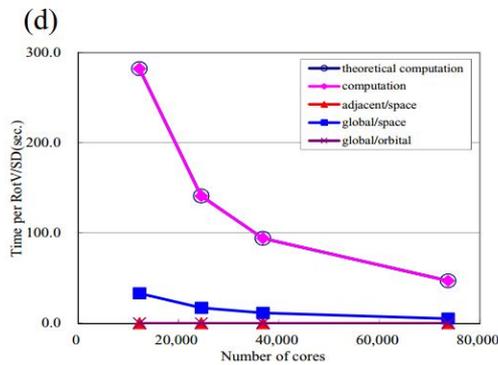


Figura 12. Cómputo y comunicación tiempo de (a) GS, (b) CG, (c) MatE/SD y (d) RotV/SD para diferentes números de núcleos. Demuestran la escalabilidad en la paralelización de los orbitarios.

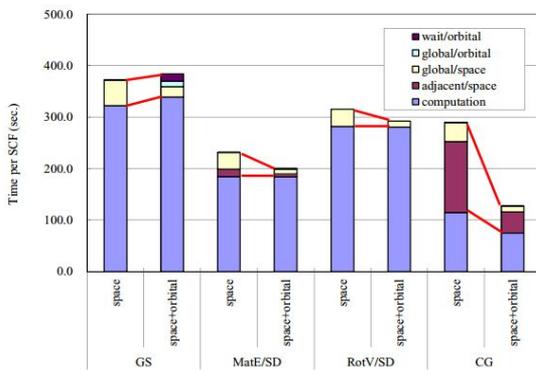


Figura 13. Comparación de tiempo de ejecución de GS, MatE/SD, RotV/SD y CG entre espacial paralelización y combinación de paralelización espacial y orbital.

#### IV. FUNCIONALIDADES DE ARM

La mayor parte de los superordenadores más rápidos del mundo utilizan procesadores x86 de Intel o AMD, así como los procesadores SPARC que comercializan IBM y Oracle. Pese a ello, cada vez son más las empresas y centros de supercomputación que apuestan por investigar las posibilidades que ofrece ARM a este mercado.

Hacia el año 2012, se dio a conocer la noticia de que el centro de supercomputación de Barcelona (BSC) preparaba una gran actualización de sus servidores para construir el superordenador español que llevará por nombre 'Mont-Blanc', el primer ARM que entrará en el top-500 por potencia, encabezando además la lista de eficiencia energética Green 500. Sin embargo no se han obtenido dichos resultados.

Más adelante, en el año 2013 otra noticia similar, la compañía DELL trabaja en prototipos de supercomputación basados en ARM, procesadores de alta eficiencia energética que ya usan la mayoría de los smartphones y tablets. En el top 500 del año

2014 la supercomputadora Stanpida que ocupó el sexto lugar de dicha lista, uso miles de servidores Zeus de Dell.

En Agosto de 2016 Intel y ARM anunciaron un acuerdo que permitirá que Intel fabrique microprocesadores bajo la famosa arquitectura ARM. La importancia de este acuerdo radica en el hecho de que por años Intel y ARM han sido rivales, donde a pesar de que ARM, recientemente adquirida por SoftBank (empresa japonesa de telecomunicaciones e internet), no fabrica los procesadores, sí posee un diseño líder en la industria móvil que actualmente encontramos en compañías como Qualcomm, Samsung, Apple y otras.

Finalmente la más reciente aplicación de ARM consiste en desarrollar una nueva versión de la supercomputadora K, llamada POST-K usando la arquitectura ARM, tema que será tratado más adelante.

#### V. FUNCIONALIDADES DE LA SUPERCOMUTADORA POST-K

Un proyecto fundamentado por el Ministerio de Tecnología de Japón y la empresa Fujitsu, está siendo desarrollado para lograr la creación de la supercomputadora más potente, que se espera esté en funcionamiento para el año 2020. Bajo el nombre de POST-K, es la sucesora de la supercomputadora K, la cual gracias a su novedosa arquitectura ARM busca superar el límite de los exaflops (1000 petaflops equivalen a 1 exaflops). Su antecesora K llegando solo a 10 petaflops, daría como resultado a los argumentos que sostiene Fujitsu sobre su proyecto: *POST-K será 100 veces más potente que su antecesora.*

El tipo de arquitectura utilizado en la supercomputadora K era el SPARC64, pero debido a que no alcanzaba los rendimientos requeridos por la compañía, y debido a una necesidad urgente por optimizar el uso energético, *algo muy importante e influyente actualmente en el desarrollo de supercomputadoras*, decidieron apostar por la arquitectura ARM de 64 bits.

La supercomputadora POST-K está plenamente encaminada al HPC, *Computación de alto rendimiento*, por lo que Fujitsu adquirió la licencia de ARM para realizar todo tipo de modificaciones que permitan mejorar el procesamiento vectorial y aumentar las capacidades de operaciones de punto flotante, permitiendo de esta manera una libertad fuera de limitaciones en cuanto a lo que se refiere de arquitectura ARM y HPC.

En especificaciones sobre el hardware que usará la POST-K no se conocen detalles a la fecha, debido a que aún continúan en desarrollo. Sin embargo, se sabe con seguridad que usará una jerarquía de 3 niveles de almacenamiento que son: Discos de Silicio, Discos magnéticos, y almacenamiento

de archivos.

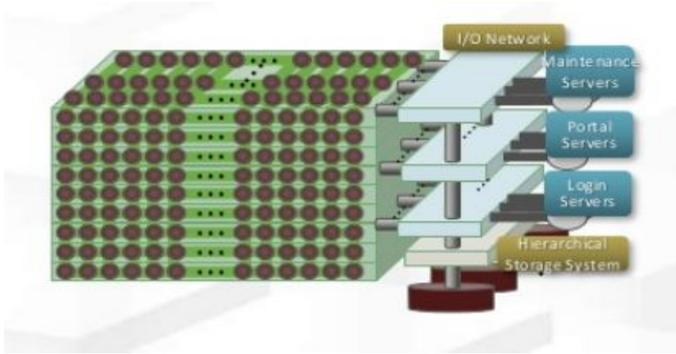


Figura 14. Esquema del hardware en la x|POST-K

La POST-K seguirá utilizando la interconexión de nodos presente en su antecesora. Usará un sistema de mallas 6D, denominado *Torus interconnect*. Debido a que les brinda un mejor desarrollo de comunicación, con mayor escalabilidad y mayor tolerancia a fallos.

El sistema operativo de la supercomputadora POST-K se basará en un kernel múltiple de Linux, permitiendo ejecutar versiones ligeras o pesadas de éste, según la necesidad. Existirá una lógica de intercambio de información, *middleware*, entre los 3 niveles jerárquicos de almacenamiento existentes.

La POST-K será de código abierto, *open source*, y contará con un nuevo lenguaje de programación denominado XMP, *XcalableMP*, el cual se basa en directivas que toman fundamentos del High Performance Fortran y OpenM para poder generar una visión global de administración de las memorias de la supercomputadora POST-K.

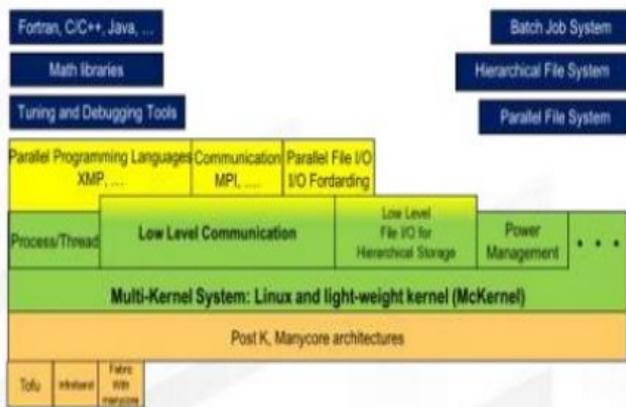


Figura 15 . Esquema del software en la POST-K

El funcionamiento del software en la supercomputadora POST-K destaca notablemente por su concepto de *open source*, permitiendo diseños contribuyentes entre desarrolladores y usuarios, para aumentar el campo de alcance en áreas de investigación y aplicación.

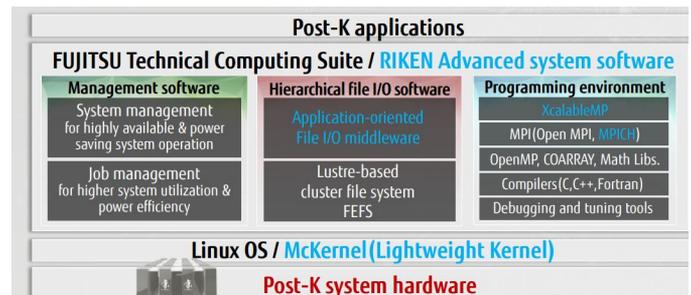


Figura 16 . Esquema del software estructurado en la POST-K

### Aplicaciones de la supercomputadora post-k

El proyecto POST-K busca alcanzar campos de investigación de manera más amplia y confiable de lo que se ha venido desarrollando con la supercomputadora K. Se espera que las simulaciones investigativas sean más precisas y considerablemente mucho más rápidas, permitiendo una expansión a gran escala, que no contribuyen solamente a la investigación en pro de Japón, sino en pro de la humanidad.

El aprovechamiento de la cooperación internacional es de vital importancia debido a que se toman las fortalezas de Japón y haciendo un uso estratégico de la cooperación internacional para incorporar tecnologías líderes en el mundo, se desarrollan software y mini-aplicaciones que se promueven como estándares mundiales.

Las áreas de investigación y aplicación más destacables que desarrollará la supercomputadora POST-K son:

- Eficiencia energética: Se espera desarrollar sistemas de energía limpia y renovable que, gracias al uso de la POST-K puedan efectuar conversiones y almacenamiento de datos simulados sobre la cantidad necesaria de producción para disminuir energías fósiles y de esta manera solidarizarse en la campaña contra el calentamiento global.
- Aumento del tiempo de vida promedio: Mediante la capacidad de la supercomputadora POST-K, se desarrollarán sistemas biomoleculares, los cuales se espera que logren la obtención de nuevos

medicamentos para el tratamiento de enfermedades, de igual manera incursionar simulación en sistemas de medicina preventiva que ayuden a prevenir enfermedades a gran escala de masas poblacionales.

- Crecimiento industrial: La supercomputadora POST-K investigará en sistemas de procesos, de manera que se puedan optimizar procesos industriales, tales como el proceso de manufactura.
- Catástrofes Geofísicas: La supercomputadora POST-K mediante el uso de simuladores será capaz de representar con gran exactitud
- Avances Científicos: La supercomputadora POST-K permitirá investigar en áreas científicas de vital importancia para el continuo desarrollo de la tecnología, lo cual implica a su vez, un continuo desarrollo en los sistemas de supercomputación, y un auto beneficio para POST-K.
- Otro objetivo es dar respuesta a muchas teorías y cuestionamientos que debido a la incapacidad de procesamiento de las supercomputadoras actuales, no son posibles responder o demostrar.,tales como *la evolución del universo*.

Un avance científico muy importante que se espera lograr con la supercomputadora POST-K, es la mayor representación neuronal posible. Fundamentado como un reto de complejidades exponenciales, la supercomputadora antecesora K, sólo fue capaz de representar un 1% de la red neuronal, Se espera que si la POST-K supera la barrera de los exaflops, sea cien veces más eficiente que la supercomputadora K, por lo que teóricamente se esperaría que la supercomputadora POST-K diera el gigantesco avance en el afán tecnológico de entender e igualar la capacidad cerebral humana.

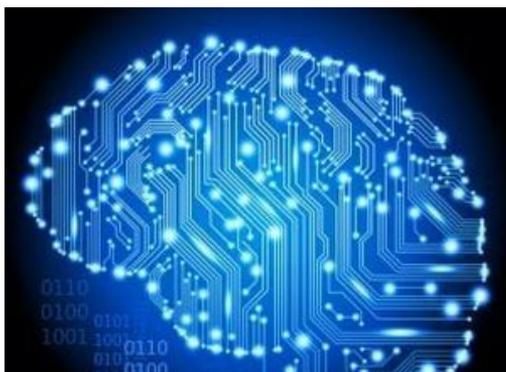


Figura. 17 Redes neuronales incursionadas como señales digitales

## CONCLUSIONES

- A través del tiempo las arquitecturas para las computadoras han ido adquiriendo nuevos formatos y mejorando su rendimiento lo máximo posible, desde CISC que fueron los primeros desarrolladores de procesadores, pasando por RISC y terminando en ARM, su idea siempre ha sido obtener el mayor rendimiento sin un gasto notable de energía. Es por eso que ARM es una tecnología que se ha retomado para dar poder a los nuevos dispositivos móviles; grande es la batalla que se presenta entre ARM y X86, ya que el fuerte principal de ARM es su bajo consumo de energía sin embargo X86 tiene su alto rendimiento a costa de un gran consumo de energía.
- La principal ventaja frente a sus competidores se basa en que su pequeño set de instrucciones, así como el reducido número de transistores que lo conforman. Todo ello lo convierte en un procesador ágil, sencillo de implementar, de muy bajo consumo y – lo que no es menos importante – a un costo muy reducido.
- Los procesadores de la familia **ARM** son unos de los más distribuidos, se puede decir que conforman el “corazón” de los gadgets más vendidos actualmente. Aparatos como el popular iPad, los teléfonos y tabletas Android o los populares Samsung Galaxy son tan solo parte de los aparatos con micro ARM incorporado.
- El avance en la computadora K ha sido evidente debido a que sus cambios más significativos fueron la cantidad de Cores, el aumento de energía y el aumento de TFlops en el Rpeak pero esto no ha sido suficiente ante el aumento inminente de la arquitectura de las supercomputadoras dejando a esta en el puesto número 7, dando paso a la supercomputadora Sunway que hoy ocupa el primer puesto superando en Cores 15 veces a la super K.
- Continuando el legado de la supercomputadora K, se busca aprovechar al máximo las tecnologías, los recursos humanos y las aplicaciones desarrolladas a través del nuevo proyecto llevado de la mano principalmente por la empresa Fujitsu. Desarrollando un sistema de alto rendimiento líder en el mundo, se tiene la intención de construir un sistema de propósito general que sea competitivo a escala internacional, que permita dar la máxima prioridad en la investigación de la resolución de problemas, sin

importar si son de carácter social o científico.

- (Final) Pero dejamos en claro, que Fujitsu en estos momentos busca reivindicar su titularidad como primer puesto al implementar una tecnología que usará ARM y super K para superar a cualquier otro equipo en donde primará el uso estratégico de la energía, que se sabe que la llamará POST-K.

## REFERENCIAS

- [1] Peña, Alejandro. 2013. Breve historia de RISC. Recuperado de <http://www.faq-mac.com/2003/10/breve-historia-del-risc-por-alejandro-pena/>
- [2] Acorn Computer. 15 mayo 2016. [https://es.wikipedia.org/wiki/Acorn\\_Computers](https://es.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers)
- [3] Arquitectura ARM. 24 Diciembre 2016. [https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_ARM#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_ARM#Historia)
- [4] Suarez Hernandez, Yeray. 2008, ARM vs Intel Atom. Descargado de [http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/clases-micros-para-com/mpc1011-trabajos/mpc1011-D%EDaz%20Hern%E1ndez%20Raquel\\_ARM%20vs%20Atom.pdf](http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/clases-micros-para-com/mpc1011-trabajos/mpc1011-D%EDaz%20Hern%E1ndez%20Raquel_ARM%20vs%20Atom.pdf)
- [5] ¿Que es la arquitectura ARM?. 12 febrero de 2012. Obtenido de <https://www.xataka.com/sistemas-operativos/que-es-la-arquitectura-arm>
- [6] TOP500. Noviembre 2016. <https://www.top500.org/lists/2016/11/>
- [7] Muro Garcia, Leonardo. (s.f). Arquitectura de Microprocesadores RISC y CISC. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos55/microprocesador-es-cisc-risc/microprocesadores-cisc-risc.shtml>
- [8] Evolución de familias ARM. (s.f). Tomado de <https://ochobits.wikispaces.com/Evoluci%C3%B3n+de+familias+ARM>
- [9] Perez, Enrique, X86 y ARM. 10 de diciembre 2012. Tomado de <http://omicron.elespanol.com/2012/12/te-explicamos-todo-sobre-x86-y-arm-diferencias-ventajas-y-para-que-sirve-cada-uno/>
- [10] DELL trabaja en prototipos de supercomputación basados en ARM. 01 abril 2013. Obtenido de <http://www.computerworld.es/innovacion/dell-trabaja-en-prototipos-de-supercomputacion-basados-en-arm>
- [11] Procesadores ARM. 23 Noviembre 2012. Tomado de <http://www.diverteka.com/?p=274>
- [12] K Computer . 23 Noviembre 2012. Tomado de <http://www.fujitsu.com/global/about/businesspolicy/tech/k/whatis/project/index.html>
- [13] K Computer . 23 Noviembre 2012. Tomado de [https://en.wikipedia.org/wiki/K\\_computer](https://en.wikipedia.org/wiki/K_computer)
- [14] K Computer . 23 Noviembre 2012. Tomado de <http://expansion.mx/tecnologia/2012/11/13/3-kcomputer-japon>
- [15] Mitsuo Yokokawa, Fumiyoshi Shoji, Atsuya Uno, Motoyoshi Kurokawa, Motoyoshi Kurokawa, Tadashi Watanabe, The K computer: Japanese next-generation supercomputer development project
- [16] Tomoaki Ishiyama, University of Tsukuba, Keigo Nitadori University of Tsukuba, Junichiro Makino, Tokyo Institute of Technology 4.45 Pflops astrophysical N-body simulation on K computer: the gravitational trillion-body problem.
- [17] Yukihiro Hasegawa, Jun-Ichi Iwata, Miwako Tsuji, Daisuke Takahashi, Atsushi Oshiyama, Kazuo Minami, Taisuke Boku, Fumiyoshi Shoji, Atsuya Uno, Motoyoshi Kurokawa, Hikaru Inoue, Ikuo Miyoshi, Mitsuo Yokokawa, Riken First-principles calculations of electron states of a silicon nanowire with 100,000 atoms on the K computer.
- [18] Overview of the K Computer System tomado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/4842/c920d133093b900b948ad199cd320c16557c.pdf> el 23 de enero del 2017.
- [19] Hiroyuki Miyazaki, Yoshihiro Kusano, Hiroshi Okano, Tatsumi Nakada, Ken Seki, Toshiyuki Shimizu, Naoki Shinjo, Fumiyoshi Shoji, Atsuya Uno, Motoyoshi Kurokawa, K computer: 8.162 PetaFLOPS massively parallel scalar supercomputer built with over 548k cores
- [20] K Computer, tomado de: <http://www.fujitsu.com/global/about/businesspolicy/tech/k/whatis/system/index.html> el 22 de Enero del 2017