

TALLER Y LABORATORIO

UN FUTURO PRÓXIMO: PROYECTO CLUSTER
BBB PARA EL CÁLCULO MATEMÁTICO

INTRODUCCIÓN

Con la palabra “*cluster*” se denomina a una agrupación de ordenadores (nodos) organizados en red para disponer de una alta capacidad de cálculo para poder resolver un problema de gran tamaño en un tiempo razonable. Este tipo de problemas suelen requerir un gran ordenador de un precio muy caro o, simplemente, un superordenador. La capacidad de cálculo se incrementa paralelizando el problema y, para ello, el problema debe ser paralelizable. El método de trabajo de un *cluster* consiste en dividir el problema en subproblemas o problemas más pequeños que son calculados en los diversos nodos del *cluster*. En la UNED tenemos como ejemplo un *cluster* barato. Está en el Departamento de Informática y Automática y fue desarrollado por el Dr. Sebastián Dormido Canto combinando quince ordenadores PC “antiguos”. Con un *cluster* no tan barato se pueden conseguir una capacidad de cálculo equiparable a la de un superordenador, pero...

Otro ejemplo es el *cluster* en los que participó Rebollo en su creación en el año 2001, uno de los sistemas más potentes basados en Linux en Europa en su época. Se construyó en el Instituto de Astrobiología del I.N.T.A (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) para tratar con ecuaciones de mecánica de fluidos. Estaba construido con veinte servidores ALPHA DS10 con Linux como nodos esclavos y un nodo maestro central constituido por un servidor ALPHA DS20. Cada aplicación paralela aprovechaba la potencia de cada núcleo de cada procesador de cada servidor Alpha y de la red SERVERNET.

Los ordenadores del *cluster* se conectan mediante una red de control y otra red de cálculo. En general, se suele desear poder disponer del mayor ancho de banda del momento y con la menor latencia posible para la conexión de la red de cálculo, pero estos deseos no siempre son baratos normalmente.

PROYECTO DE CLUSTER BBB

Este proyecto surge después de algunas conversaciones del estudiante del Grado en Física (Mariano Rebollo Abeilhé, de 74 años) y su tutor de las asignaturas de Cálculo I y Álgebra (Miguel Delgado Pineda). La idea germinal del proyecto fue poder utilizar herramientas matemáticas totalmente gratuitas (sin pagar licencia) en los nuevos y asequibles ordenadores tipo SBC, de los cuales el más representativo es el modelo Raspberry Pi.

El tutor sugirió en su momento la necesidad de realizar algún tipo de proyecto donde se pudiera aprovechar la experiencia profesional del estudiante. “No se puede perder, sin registro UNED, los conocimientos acumulados en más de 50 años de profesional en el campo de la informática, más concretamente en hardware”.

La discusión de ideas fue perfilando poco a poco el objetivo principal: Desarrollar un *cluster* para cálculo cumpliendo los siguientes objetivos secundarios. Ese *cluster* será:

1. Muy económico.
2. Basado en estándares.
3. Modificable con facilidad.
4. Ampliable fácilmente.

Además deberá cumplir con los siguientes objetivos terciarios:

5. Clonable con mucha facilidad.
6. Utilizable con distintos sistemas operativos: Linux, Android, Windows...
7. Se deben poder desarrollar de forma cruzada las aplicaciones en otras plataformas, como por ejemplo PCs.
8. Ser tolerante a fallos.
9. Permitir lenguajes de programación adecuados para realizar aplicaciones en paralelo.
10. Con el menor consumo posible y una disipación de calor controlable.
11. Gestionable fácilmente, en forma local o a través de la red.
12. Menor tamaño posible.

Este *cluster* no necesitará un espacio dedicado donde se tenga control de temperatura, humedad... como ocurre

con otras soluciones más caras. Así pues, para cumplir con esta lista de objetivo es impensable utilizar los equipos ofertados por los diferentes proveedores (marcas). Por ello, aprovecharemos el desarrollo actual del hardware libre.

Este tipo de hardware tuvo un gran impulso inicial cuando una empresa inglesa desarrolló un ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito. Esta fue la respuesta a la petición del Gobierno Británico de que cada estudiante del Reino Unido poseyera un ordenador a un bajísimo precio. Esa máquina fue denominada **Raspberry Pi**. Inicialmente, constaban de un procesador de 32 bits con tecnología ARM, es decir, con procesadores de bajo consumo, sin unidad de punto flotante, con un almacenamiento en tarjeta micro SD, con conexión para red local, con periféricos de entrada/salida de propósito general y, también, con otros periféricos especiales (convertidores analógicos/digitales, controlador de video). Si bien el tamaño de la memoria no era espectacular, sin embargo, permitía soportar algunos tipos de sistema operativo.

El coste monetario de la tarjeta era de unos 50 €, aunque había que añadir el costo de una fuente de alimentación con su cable y una tarjeta micro SD. Además, en algunos casos es necesario añadir algún elemento más, dependiendo a lo que se destine dicha placa.

El éxito de este tipo de solución hizo emerger nuevas soluciones análogas de otros fabricantes (una treintena) donde participan algunas grandes empresas del sector electrónico, como por ejemplo Intel, Texas Instrument o Samsung. En definitiva, el estado del arte en este sector avanza constantemente principalmente por la aplicación de estos procesadores a la telefonía móvil.

Para la fabricación del *cluster* se descartan las soluciones de mercado menos económicas (Intel, Samsung, Texas y Panda) y las opciones se reducen a dos tipos de placas: los sistemas Raspberry Pi 3 B y Pine 64 pro. El motivo es claro, ninguna de ellas sobrepasan los 50 € pero, además, estas placas son de última generación. Aprovecharemos las características de la solución Raspberry Pi puesto que Rebollo ya las ha utilizado en otros proyectos personales desde hace más de tres años. No cabe duda de que conocer el producto es un punto importante ante el inicio de un proyecto.

LA PLACA BASE RASPBERRY PI 3 B

Es el elemento básico del futuro-actual *cluster*. Contienen un procesador de 32 bits y de cuatro núcleos. Es

capaz de funcionar a mayor frecuencia de la indicada (*overclocking*), aunque debido a la cantidad de transistores que integra, el control de la disipación es crucial y conlleva un aumento de complejidad y de costes.

La memoria RAM está limitada a 1 GB (tecnología DDR2), aunque entendemos que no es la más adecuada para la realización de un sistema *cluster*. El procesador contiene cuatro núcleos con una memoria de 256 MB por núcleo. La tecnología DDR2 proporciona un tiempo de acceso a la memoria de 170 ns y con un tiempo de refresco de 6 ms. Desconocemos si hay información técnica sobre si el controlador de memoria soporta *interleaving*.

La placa incluye un conector para tarjetas micro SD, de hasta 32 GB, lo que permite disponer de un primer almacenamiento adecuado. Además, al incorporar cuatro conectores USB 2 y un puerto USB 3 se permite conectar otros tipos de almacenamiento externo masivos como discos duros o discos de estado sólido. De esta forma se cubren las necesidades de almacenamiento del proyecto y copias de seguridad (*backups*). Esa placa soporta una gran cantidad de periféricos de entrada y salida, haciendo uso del puerto serie UART RS232, GPIOs, I2C...

En una placa como esta, está contenido un potente sistema para gráficos con salida vía HDMI y un conector para pantallas de cristal líquido de varios tipos. Además, incluye una entrada para cámara de TV y un sistema de salida de audio estereofónico.

Con respecto a las comunicaciones vía red, la placa dispone una conexión Ethernet a 10/100 Mbits para cables RJ45 Tipo6 y lleva embebido un sistema WIFI para conexiones inalámbricas.



Figura 1. Foto de la placa Raspberry Pi 3.

TOPOLOGÍA DEL CLUSTER

El *cluster* constará de las placas mencionadas Raspberry Pi 3B, apiladas sobre placas de metacrilato para que la ampliación del *cluster* no requiera más que el añadido de módulos SBC. Véase el esquema del *cluster* Beowulf de la figura 2.

Para que puedan correr aplicaciones en paralelo, el sistema constará de un Nodo Maestro que repartirá el trabajo a realizar por cada nodo. El nodo maestro recolectará los paquetes que le envíen los Nodos Esclavos y será el gestor general del sistema. La comunicación con el exterior del *cluster* la realiza un único nodo con comunicación; el nodo maestro. Todos los nodos esclavos tienen una única misión: Calcular. Los nodos esclavos ejecutan el trabajo enviado por el nodo maestro y le avisan a éste de cualquier evento que se produzca en ellos, como finalizar trabajo, pedir datos, enviar estado...

Los nodos corresponden a cada núcleo de cada módulo SBC. En una primera aproximación al *cluster* (actual) el sistema tiene una placa con un nodo maestro y una placa esclava con los nodos esclavos. Estos nodos se ampliarán (futuro) según se obtengan más placas Raspberry.

La conexión entre sí de los nodos se realiza por medio de dos redes:

1. Una red de cálculo por la que se envían, a los distintos nodos esclavos, los paquetes con los datos a procesar. Cada nodo ejecutará la parte del proceso que le corresponda.
2. Una red de control que informa a cada nodo esclavo cuál es su trabajo, le pasa los bloques a realizar y le pide estado de cada uno.

Por la red de cálculo viajarán los paquetes de datos requeridos por las aplicaciones y, por ello, es la red que requiere los recursos más importantes. Esta red debe tener muy baja latencia, un gran ancho de banda y mucha rapidez y para ello se usará la red Ethernet cableada a 1000 Mhz y estará basada en protocolo TCP/IP.

La red de control está, y estará, basada en tecnología WIFI ya que su trabajo no es pesado. Se encarga del control de los nodos esclavos y se conecta al exterior para recibir los programas o las aplicaciones desarrolladas fuera del sistema (desarrollo cruzado por medio de *tool-chain*). Es decir, con ella se conecta el interface del sistema.

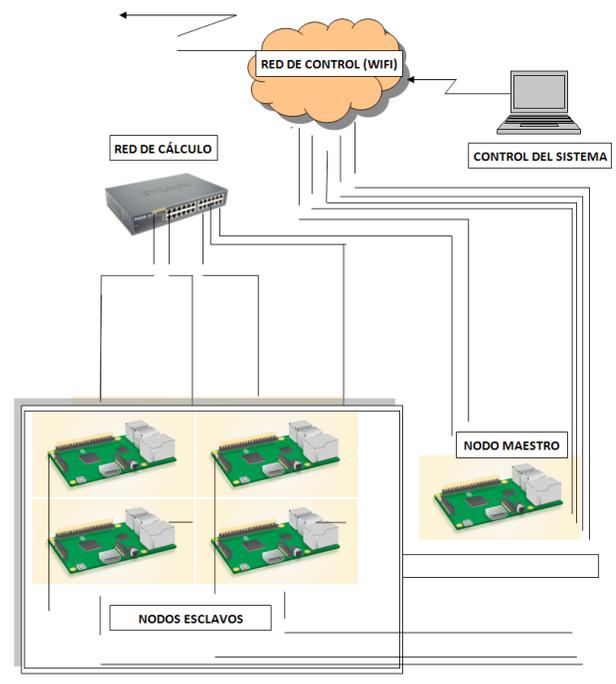


Figura 2. Esquema del cluster Beowulf.

LOS MIEMBROS DEL PROYECTO

Este Bonito proyecto se pensó para poder realizar un Buen trabajo de cálculo pesado mediante una solución muy Barata. Una vez que el lector sabe Qué es el proyecto y Cómo se desarrollará, nos queda hacerle saber Quiénes son los autores.

Delgado es un profesor del Departamento de Matemáticas Fundamentales de la Facultad de Ciencias con bastantes conocimientos informáticos, de algorítmica y de programación. Éste se encargará del desarrollo de las aplicaciones y la programación, mientras que Rebollo se encargará del hardware. Pero ¿Quién es Rebollo?

Rebollo es un estudiante del Grado en Física. Eso sí, un estudiante muy peculiar, principalmente, por dos razones. Mariano es un estudiante de 74 años que empezó los estudios del Grado en Física a los 73 y ha estado activo como profesional y empresario en el campo de la electrónica e informática. Según él comenta: *Ingresé por el acceso a mayores de 40 años UNED con una nota de 9 debida a mi experiencia profesional. Pero también afirma: Ahora me arrepiento no haber cursado el curso de acceso de mayores de 25 años UNED para estudiar las asignaturas básicas que necesito.* Quizá esta afirmación sea un reconocimiento implícito a la labor del Curso de Acceso de la UNED.

Rebollo ha conocido a casi todos los contemporáneos influyentes en el campo informático. Él ha trabajado con memorias formadas por toros de ferrita y ha conocido al que ideó establecer el hilo de inhibición en esas memorias. En fin, Rebollo es un acumulador de experiencia práctica del mundo de la electrónica digital. Precisamente ha estado trabajando varias décadas en Digital y en aquellas empresas que fueron comprando el legado de Digital y permanecía a su vez en nuevas empresas que compraban a la suya.

Reconoce que ha tenido una vida profesional muy bonita. Siempre ha estado estudiando y viajando, estando a la última en informática. Recuerda que empezó como auxiliar en el MEC, momento en el que hizo los estudios de secundaria y empezó a estudiar electrónica con los cursos a distancia almacenados en vídeo en el MEC. Ha pasado por distintas empresas como Telesincro (adquirida por Fujitsu), Digital, Compaq y HP. También creó una empresa para satisfacer algunos servicios de HP, es decir, para hacer lo mismo que hacía en esa empresa cuando era empleado. Como él dice *...cosas de la crisis y optimización de gastos*. No se jubiló hasta los 72 años, pues tenía responsabilidades con los 28 trabajadores de su empresa ya que los servicios a HP no se podían mantener sin su figura o la de un buen socio. Una vez estabilizada la conexión de su empresa con HP (siendo responsable otro compañero), era hora de jubilarse y empezar a divertirse, principalmente, estudiando aquello que le gusta.

Hay una pregunta inmediata ¿Por qué empezó los estudios de Física? Contesta que siempre le gustó *todo aquello que está por arriba de nuestras cabezas*, desde la astronomía, la aviación, la astrofísica y, en especial, la radioastronomía. En estos temas ha sido autodidacta, sin entrar en las cuestiones teóricas profundas. Ahora bien, también, le gusta *todo lo muy, pero que muy, pequeño: las partículas*. En definitiva, quiere aprender y lo necesita con una base más teórica y no le pone limitaciones a la hora de adquirir los conocimientos de las diversas materias.

Dice que estudia en la UNED porque no tenía otra posibilidad, pues *mi base matemática no me permitía ir a Aeronáuticos*, así pues, está en la UNED. Contento, aunque añora la clase y el trato directo con el profesor. *Aquí tenemos ciertos medios y algunos materiales. También, cierto apoyo telemático. Los tutores me contestan... pero, estamos más solos que la una y nos tenemos que buscar la vida*.

Otra pregunta, ¿por qué no ha iniciado los estudios de Informática de UNED? Contesta que, aunque le queda mucho que aprender cosas de Informática y sigue aprendiendo otras, reconoce que tiene mucha experiencia en el campo. Me dice de repente: *Sé perfectamente como arranca los sistemas operativos como Windows o Linux. A muchos "informáticos" les preguntaría cómo se inicia un PC*. Quizás en esos grados UNED le costara más adaptarse al desarrollo de las asignaturas.

Sobre el mundo del ordenador nos afirma sobre el uso inadecuado que se hace de ellos: *Conviene recordar que los ordenadores del mundo sólo trabajan un entre 5 y 10 % de su potencial rendimiento como máquina. Es decir, las máquinas están más tiempo paradas que haciendo algo práctico, aunque estén encendidas. Por otro lado, en el almacenamiento este desaprovechamiento es peor, pues solo se utiliza el 50 % de la teórica capacidad. Además de ese almacenamiento real, más del 60% es simple "basura" o información nada, o poco, útil*.

Al inicio de este artículo se indicó que Delgado y Rebollo se conocieron en las tutorías presenciales. ¿Por qué va un estudiante como Rebollo a las tutorías? La respuesta es clara: *Para adquirir base en algunas materias como Álgebra (Álgebra) y Cálculo (Matemáticas I), pues estas materias son muy duras sin ayuda, al menos para mí*.

¿Qué siente cuando se ve rodeado de jóvenes en esas tutorías? Nos indica que *inicialmente me daba vergüenza, algo sin sentido, pero ahora no me preocupa*. Ahora bien, mi ritmo no es el de los jóvenes, ni pretende serlo. En las tutorías, también, hay gente mayor que hace la carrera. *No me preocupa terminar el grado, simplemente, me interesa aprender*.

Reconoce que la UNED tiene mucho atractivo para él, más que una universidad presencial debido a sus preocupaciones personales y familiares o bien a los años que marca su DNI. *Con la gente de las tutorías, del curso pasado y este, hemos hecho un grupo sólido de gente de edad*.

Afirma, igualmente, que la UNED no presta todos los servicios ofertados de forma adecuados, sobre todo si estos se relacionan con lo que cuesta la matrícula. Pone como ejemplo una supuesta mejora para las prestaciones de INTECCA, pues a pesar de que es fantástico disponer de este servicio, estima que el 40% de lo que ha intentado ver no funciona: muchos vídeos no se ven y cree que no hay buen ancho de banda en algunos sitios.

Entiende que es complejo llegar a optimizar ciertos servicios en la UNED. Por ejemplo, no hay una buena descripción de metadatos para los vídeos en INTECCA. Tampoco los foros se quedan sin ser aludidos. Reconoce que siempre le han contestado en un tiempo razonable. No entiende el proceso docente en ciertas asignaturas, no entiende el motivo por el que unas utilizan Maxima, en otras Maple o GeoGebra, se utilizan algunos programas C y algunas herramientas sobre algo no estudiado, como ecuaciones diferenciales, en asignaturas de primer curso.

Reconoce que la UNED tiene factores a favor con ciertos grados de libertad, por ejemplo, *me puedo matricular, repetir y elegir mi preparación*. Afirma que sólo se ha examinado de dos asignaturas Álgebra (cuyo profesor

es Delgado) y Física I, y que sólo aprobó la segunda. También dice: *...me he planteado no examinarme más, pues no persigo un título. Si me presento es para obligarme a estudiar, soy sin duda un poco vago*. Quizá esta afirmación de pertenencia al conjunto humano de mayor cardinal sea lo único en lo que nos engaña, pues para ser vago hay que ser muy constante en “el no hacer”.

Este proyecto tiene un futuro interesante, por eso esperamos a que algunos jóvenes se adhieran a él.

Miguel Delgado Pineda

Dpto. de Matemáticas Fundamentales

Mariano Rebollo Abeilhé

Estudiante del Grado en Física