

2021 Retos Vitales

para una nueva era

**Los próximos desafíos de la supercomputación,
un país que no computa no compite**

Mateo Valero Cortés



Claves para entender y mejorar el mundo



Reial Acadèmia Europea de Doctors
Real Academia Europea de Doctores
Royal European Academy of Doctors

BARCELONA - 1914



ENTREVISTA AL DR. MATEO VALERO CORTÉS, POR LA DRA. CECILIA KINDELÁN AMORRICH, PROFESORA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA. ACADÉMICA CORRESPONDIENTE DE LA REAL ACADEMIA EUROPEA DE DOCTORES (RAED).

Los próximos desafíos de la supercomputación, un país que no computa no compite



Dr. Mateo Valero Cortés

Director General del Barcelona Supercomputing Center (BSC)
Académico de Honor Electo de la Real Academia Europea de Doctores (RAED).

Las palabras que mejor definen al Profesor Mateo Valero son *trabajo, excelencia y generosidad*. Desde hace casi 47 años es profesor e investigador de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y es reconocido internacionalmente como la persona que más ha contribuido al desarrollo de la arquitectura de computadores de altas prestaciones en Europa. Este campo de investigación cubre desde el diseño de procesadores individuales, teléfonos móviles o videojuegos, hasta el de los supercomputadores más rápidos del mundo. El Profesor Valero fue pionero en la creación y promoción de centros de investigación en supercomputadores paralelos en España, lo cual nos ha permitido disponer de computadores con centenares de miles de procesadores, cuyo trabajo coordinado puede llegar a proporcionar decenas de miles de billones de operaciones por segundo.

Mateo Valero ha sido el único español reconocido con el Premio Eckert-Mauchly, el mayor galardón a nivel internacional en Arquitectura de Computadores, un premio que está considerado como el Nobel en el campo de la Informática, por su extraordinario liderazgo en construir un centro de investigación de arquitectura de computadores de talla mundial y por el resto de sus contribuciones. Además, en el año 2008, la Comisión Europea lo seleccionó como uno de los 25 científicos más influyentes en el área de tecnologías de la información y comunicaciones (TIC). Se le conoce como



El Dr. Mateo Valero es una inspiración para los alumnos del CEIP Mateo Valero, de su pueblo natal Alfamén, Zaragoza. Cortesía de Lab24-RTVE.

«el hombre 4.000», ya que esta cifra se corresponde con el número mínimo de horas que trabaja al año.

Los inicios de este investigador no fueron fáciles, pero, en sus propias palabras «el hecho de nacer en Alfamén, un pueblo pobre de Zaragoza, pero rodeado de un entorno de cariño, donde mis padres me inculcaron la importancia de los valores y del esfuerzo ha marcado mi evolución y me ha llevado a proponer la creación y dirigir el Barcelona Supercomputing Center (BSC)». Según nos cuenta, en su infancia tuvo la suerte de que su vecino, que era el practicante del pueblo (que combinaba esta profesión con la de barbero para ganar algo más de dinero) le enseñó matemáticas cuando era pequeño, luego en la escuela su maestra siguió incentivando su interés por aprender y animó a sus padres a que hicieran un esfuerzo para que pudiera continuar su formación interno en el colegio de los escolapios. En el año 2005, esa escuela, la única que hay en el pueblo, fue bautizada posteriormente con su nombre: CEIP Mateo Valero.

Aunque lo que realmente le gustaban eran las matemáticas, estudió en Madrid Ingeniería de Telecomunicaciones. En Barcelona fue donde continuó su carrera, realizando su tesis doctoral, ya como profesor de la Escuela de Ingenieros de Telecomunicación. Con 31 años fue catedrático numerario y decano de la Facultad de Informática de Barcelona.

Cuando le pedimos compartir su fórmula del éxito, asegura meticulosamente: «Si tengo algún secreto es, además del trabajo y esfuerzo constante, el de la ética y la alegría». Sin considerarse más inteligente que nadie, reconoce que identificar a las personas adecuadas en el momento oportuno es un buen aliado del éxito. «Desarrollar el comportamiento ético que me enseñaron mis padres, dar ejemplo con mi implicación y transmitir alegría e ilusión

a los equipos que he liderado, podrían ser las características que definen mi estilo de trabajo; hay que predicar con el ejemplo», nos comenta.

HITOS HISTÓRICOS EN EL MUNDO DE LA COMPUTACIÓN

Alrededor del año 1950 se producen tres acontecimientos que cobran especial relevancia por su trascendencia. En 1947, William Bradford Shockley (1910-1989) –junto con John Bardeen (1908-1991) y Walter Brattain (1902-1987)– inventan el transistor, la invención que constituye, probablemente, la mayor revolución silenciosa del siglo XX.

Para entender su trascendencia señalaremos que el funcionamiento de la gran mayoría de los equipos que utilizamos a diario (televisores, teléfonos móviles, ordenadores...) están basados en las propiedades de los transistores con los que están contruidos. Con frecuencia se dice que el transistor representa para el siglo XX lo que la máquina de vapor significó para el XIX.

Desde su creación en el laboratorio, los físicos han permitido reducir drásticamente el tamaño de los transistores. La denominada Ley de Moore expresa que aproximadamente cada 2 años se duplica el número de transistores en un microprocesador (ley empírica, formulada por el cofundador de Intel, Gordon E. Moore, el 19 de abril de 1965, cuyo cumplimiento se ha podido constatar hasta hoy). Esta reducción ha permitido diseñar procesadores más rápidos y pequeños y con ello, se ha incrementado la influencia de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Además, y desde hace años, los arquitectos de computadores, vieron que se podían construir sistemas en los que más de un procesador trabajara conjuntamente; son los llamados sistemas multiprocesadores. A los computadores paralelos más rápidos del mundo se les llama supercomputadores, y están contruidos con millones de procesadores, cada uno de ellos muy rápidos, que se conectan a través de una red de interconexión que les permite inter-

cambiar bits a muy alta velocidad, y por lo tanto, colaborar en la ejecución de un mismo programa paralelo.

Los transistores son los ladrillos que utilizan los arquitectos de computadores, como Mateo Valero, para hacer casas y edificios, es decir, para construir procesadores y memorias e interconectarlos. Para visualizar el avance, el profesor Valero explica cómo en unos 8 centímetros cuadrados de silicio (arena de la playa debidamente tratada) nos encontramos hoy en el año 2021, con chips que tienen hasta cuarenta mil millones de transistores y que además están trabajando a dos gigahercios dando velocidades de cálculo de miles de millones de operaciones por segundo.

Si echamos la vista atrás y comparamos el supercomputador más potente de hoy en día, con el procesador más rápido que existía hace unos 75 años (no había sistemas multiprocesadores en esa época), nos damos cuenta de que la diferencia de velocidad entre uno y otro es de 10^{18} . Este número, según nos explica el Profesor Valero nos lo tenemos que imaginar muy grande, y se puede descomponer en 10^7 , porque hay 10 millones más o menos de procesadores en los supercomputadores más rápidos y 10^{11} que es la velocidad a la que se ha aumentado cada procesador individual.

Ahora el tamaño de los transistores está en siete nanómetros y próximamente aparecerán dos generaciones nuevas, pasando a reducirse a cinco nanómetros y luego a tres. En unos cinco o seis años, podríamos llegar a pasar por debajo de tres nanómetro; a partir de aquí el tamaño de los transistores sería tan pequeño que el número de átomos de silicio sería tan reducido que aparecerían fenómenos cuánticos. Esto impide hacer un transistor con esta tecnología, llegando al final de la miniaturización con lo cual la única forma que tenemos de ir más rápido será uniendo más procesadores que trabajen conjuntamente y especializando a los procesadores para adaptarlos a las necesidades de los usuarios. Por ejemplo, hacer aceleradores de redes neuronales o hacer aceleradores de redes neuromórficas.

Una de las ideas que se está defendiendo para continuar esta carrera es la de los computadores cuánticos, pero según el profesor Valero, por mucho potencial que tengan y por mucha gente buena que está investigando, todavía están «en el invierno polar», ya que se usan para aplicaciones muy concretas y cualquier procesador normal resulta más veloz. Sin duda alguna, los computadores cuánticos tienen un reto muy grande que el profesor Valero lo asemeja al desafío de entender el cerebro, o a producir energía de fusión.

Otro de los acontecimientos relevantes a los que nos referíamos anteriormente es que en 1953 se descubre la estructura de la doble hélice del ADN. Se intenta secuenciar, en numerosas ocasiones, pero aún en el año 2.000 no se había podido llevar a cabo y Estados Unidos había invertido más de mil millones de dólares sin conseguir resultados. Gracias a los avances en la tecnología, esto ya es posible y la secuenciación de un genoma se puede hacer en cuestión de pocas horas con secuenciadores muy pequeños y a un coste bajo, abriendo infinitas posibilidades a la medicina personalizada.

El tercer acontecimiento al que nos referíamos ocurre alrededor de 1956, cuando unos pioneros de las ideas, al ver el avance del transistor y el incremento de la velocidad de los computadores apuestan por realizar programas para que simulen el comportamiento del cerebro humano en algunas actividades. A esto se le llamó inteligencia artificial, y durante muchos años, por falta de tecnología adecuada y suficientes datos no pudo demostrar su increíble potencial.

Como resumen de este recorrido histórico podríamos decir que cuando el transistor aparece y sustituye a la válvula, se aprovecha desde el primer momento esta tecnología para favorecer el diseño de procesadores. Cuando se descubre la doble hélice del ADN, aún no se disponía de una tecnología suficientemente desarrollada, por lo que no se podía utilizar el enorme conocimiento descubierto y con la inteligencia artificial ocurrió lo mismo, no se pudo avanzar hasta que la tecnología salió en su ayuda. En palabras del profesor Valero, «el desarrollo de la supercomputación y el hecho de poder

disponer de infinidad de datos para entrenar a las redes neuronales ha provocado que la «Inteligencia Artificial salga del armario», y que se empiecen a ver resultados espectaculares».

El avance en los computadores ha sido constante durante muchos años, «mejores ladrillos, muchas y buenas ideas para colocarlos, que necesitan buenos algoritmos y buen software para, como resultado, obtener máquinas prodigiosas al servicio de la Ciencia y de la Ingeniería; esos «locos cacharros» que nos hacen soñar», nos explica.

Y gracias a la tecnología, después de unos miles de años, estamos en puertas de cumplir el sueño de Hipócrates de «tratar pacientes y no enfermedades» porque la computación, el secuenciamiento y la inteligencia artificial son tres componentes claves para algo tan importante y novedoso como el gran reto de la medicina personalizada.

RETOS DENTRO DE LA SUPERCOMPUTACIÓN

Los retos que existen en relación con los supercomputadores son de varios ámbitos. Primero, nos enfrentamos a averiguar cómo reducir la energía que gastan. Es cierto que desde que aparecieron se ha ido reduciendo mucho el consumo de energía, por ejemplo 20.000 millones de operaciones se pueden hacer con un sólo vatio y esto sigue bajando. Pero preocupa como seguir reduciendo todavía más este consumo, porque encontramos que el computador más rápido del mundo, que se localiza en Japón, consume casi 30 megavatios de electricidad. Es decir, 35 computadores como ese, consumirían toda la electricidad de una central nuclear como Vandellós, que es un gigavatio.

Otro reto que el profesor Valero menciona es el de conseguir comunicar centenares de millones de computadores. «Vamos por unos pocos millones de procesadores y tenemos que pasar a más de 100 millones, para construir supercomputadores que superen la velocidad del Exaflop o 10 elevado a

18 operaciones por segundo. Esto es todavía más complicado porque una vez que los tienes conectados, la fiabilidad, es decir, la probabilidad de que alguno falle es muy alta, por lo que tenemos que diseñar mecanismos para que automáticamente el supercomputador y el software que está ejecutando se recuperen, como hace el cerebro, y establezcan conexiones dinámicas, para que el programa siga con una correcta ejecución.

También tenemos otros problemas como el reto de integrar las increíbles memorias que usan las últimas tecnologías. Ellas van a cambiar la forma de construir los futuros supercomputadores así como la forma de programarlos. Pero en palabras del profesor Valero, «el gran elefante blanco es la computación cuántica».

Como se exponía anteriormente, los supercomputadores son básicos para el futuro, sea para el desarrollo de la medicina personalizada o para poner freno a la crisis climática al poder predecir el cambio climático y permitir simular nuevas fuentes de energía verde o nuevos materiales. Los supercomputadores generan resultados muy rápidos en todo aquello que se pueda simular, es decir, presentarse a través de fórmulas físicas o matemáticas precisas. Los supercomputadores son una herramienta más, porque como dice el profesor Valero, «Sin personas con ideas no vamos a ningún sitio, pero, por otro lado, sólo con personas que piensen no iremos muy lejos». Existe mucha experiencia en hacer laboratorios donde las ideas se evalúan y los resultados cambian las ideas. Así pues, el computador constituye una tercera pata para la ciencia que complementa la de las ideas y los laboratorios. En el caso del cambio climático el computador es casi la única herramienta para predecir su evolución.

En relación al auge de la inteligencia artificial por la existencia de muchos datos, y por la posibilidad de hacer cálculos, el profesor Valero muestra su inquietud y preocupación ante el uso que hacen algunas empresas de esta información. A los científicos sólo les interesa la información asociada a los datos y no necesitan saber a qué persona pertenece; aun así, antes de usar los datos clínicos, tienen que pasar por la evaluación de comités de ética

para asegurar su correcto uso. Las empresas que hay tras las redes sociales utilizan nuestros datos para hacer negocios. Según Mateo Valero, «estas redes nos han esclavizado sin hacer ninguna guerra, nos manipulan, nos moldean la cabeza, porque las personas tenemos comportamientos muy predecibles y estas redes han desarrollado unas técnicas tan sofisticadas por las que consiguen muchísima información para usarla comercialmente o para manipular a las personas. Recordemos el caso de las elecciones del 2016 en Estados Unidos». Según el profesor Valero, «no hay derecho que, para que estemos presentes en el mundo (virtual), tengamos que facilitar nuestros datos y que ciertas empresas hagan con ellos lo que quieran, ganando mucho dinero. Esto no es ético y espero que algún día, no muy lejano, deban responder ante la ley».

Por otro lado, estamos en un momento de crisis oriente - occidente respecto a la tecnología. Por primera vez, Estados Unidos se ha visto desbordado en las tecnologías de las comunicaciones, el 5G, y la inteligencia artificial. «Europa tiene que ponerse las pilas porque vamos bastante retrasados en estas tecnologías que son básicas para el futuro para desarrollar computadores y la Inteligencia Artificial». Sin embargo, en las comunicaciones estamos bastante bien, y como ejemplo tenemos a Nokia y Siemens con el 5G», comenta el profesor Valero.

Otro de los retos mundiales que hay sobre la mesa de la supercomputación y las energías renovables es el tema de la fusión; y ahí se utilizan también los supercomputadores. El proceso de fusión del hidrógeno es una tecnología que consiste en que cuatro núcleos de Hidrógeno (protones) se unen para formar un núcleo de Helio, esta es la fusión que genera energía en nuestro Sol. Esta tecnología, según Mateo Valero, «nos evitaría invadir nuestros campos con espejos y placas solares, porque tendríamos energía infinita. Aunque todavía es algo altamente complicado de conseguir, según los científicos».

Sin duda alguna, el mundo que conocemos cambiará más en los próximos 25 años que en los anteriores 2.000 y la investigación debe ayudar a elegir la dirección correcta. El profesor Valero es un luchador incansable a la hora de

defender que España dedique más recursos en I+D+i. Asegura que «Un país que no computa no compite. Los países más ricos hoy son los que más dinero invirtieron en investigación creando las condiciones necesarias para que los científicos pudieran investigar. Si un país no invierte en ciencia y en educación será incapaz de producir ideas competitivas para producir riqueza. Una buena herramienta para producir ideas es la computación y por eso quien no computa no compite. La educación es lo que permite a una sociedad tener una igualdad de oportunidades, además es el mejor antídoto contra la violencia y los problemas de salud. Aquí es donde nosotros, como país, nos estamos descuidando bastante».

EL BSC COMO CENTRO DE EXCELENCIA

El BSC está avanzando a pasos de gigante. A lo largo de su trayectoria se ha convertido en un punto de referencia digno de admirar, en primer lugar, por la colaboración institucional ya que cuenta con el respaldo del Gobierno de España, la *Generalitat de Catalunya* y la Universidad Politécnica de Cataluña y en segundo lugar por el potencial que aportan las 750 personas que trabajan allí. Concretamente, del total de su plantilla, el 40% son de 50 países diferentes lo que ha permitido al BSC posicionarse como pieza fundamental en Europa en temas como la medicina personalizada, el cambio climático, el desarrollo de aplicaciones de la Ingeniería y en ciencias de la computación, como uno de los primeros centros a nivel mundial. «Ahora nuestro reto es mantener este nivel y seguir desarrollando aplicaciones importantes en medicina personalizada, diseño de medicamentos y materiales, bioingeniería, pronóstico del tiempo y cambio climático. Nuestro objetivo es seguir haciendo investigación con las empresas y mantenernos alineados con la comunidad europea para persistir en la generación de riqueza», nos comenta el director del BSC.

En los últimos cinco años, los *spin-off* que han surgido de la investigación realizada en el BSC han creado alrededor de 100 puestos de trabajo de alta cualificación y una inversión de unos pocos millones de euros. Estas

empresas de nueva creación ofrecen servicios avanzados en áreas tan diversas como la biomedicina, la seguridad de las industrias aeroespacial , y automotriz y en la computación cuántica.



Supercomputador Marenostrum en el interior de la Capilla de la Torre Girona. El BSC es un ejemplo de utilización óptima de los recursos de la supercomputación y un modelo de colaboración entre los investigadores. Fuente BSC

Para entender las aplicaciones que tiene la supercomputación señalaremos que el BSC se estructura en cuatro áreas fundamentales: Ciencias de la Vida, Ciencias de la Tierra, Área de Computación y el departamento de Aplicaciones Informáticas en Ciencia e Ingeniería. Cada sección trabaja para alcanzar nuevos retos. Así, por ejemplo, el principal interés de investigación del grupo de Ciencias de la Vida es comprender las complejas relaciones entre las secuencias del genoma y los fenotipos y cómo estas dos características evolucionan dentro y entre especies. Generalmente se utilizan enfoques filogenéticos y de evolución molecular a gran escala que permiten ver la evolución de los genomas desde la perspectiva de todos sus genes. Estos análisis se aplican a una variedad de cuestiones biológicas relacionadas con la evolución y función de los sistemas biológicos, que van desde moléculas individuales a comunidades biológicas enteras.

La misión del departamento de Ciencias de la Tierra es desarrollar e implementar modelos y soluciones de datos globales y regionales para la calidad del aire y el pronóstico del clima en todas sus aplicaciones.

El área de computación del BSC tiene como cometido influir en la forma en que se construyen, programan y utilizan las máquinas: arquitectura de sistemas y ordenadores, modelos de programación y herramientas de rendimiento, gestión de recursos, *Big Data* e inteligencia artificial.

Por último, el departamento de Aplicaciones Informáticas en Ciencia e Ingeniería del BSC trabaja con el objetivo de desarrollar un *software* científico y de ingeniería para explotar eficientemente las capacidades de la supercomputación (simulaciones biomédicas, geofísicas, atmosféricas, energéticas, sociales y económicas).

Durante la pandemia, la plantilla del BSC ha crecido, incorporando a 60 personas nuevas. En la lucha contra el coronavirus, el BSC está utilizando la potencia informática del superordenador MareNostrum 4, la inteligencia artificial y la bioinformática. Durante la pandemia, el BSC se ha puesto a disposición de los investigadores, aportando más horas de cálculo y más memoria para el estudio de la COVID-19. Según nos relata Mateo Valero, «se establecieron proyectos europeos con diferentes centros de computación con el objetivo de buscar vacunas y anticuerpos y, por otro lado, identificar qué fármacos podrían servirnos entre los existentes. Se han utilizado técnicas de inteligencia artificial para analizar las radiografías, aunque el ambicioso reto de hacer una simulación completa del cuerpo humano, que nos proporcionaría una gran información, todavía resulta un objetivo lejano.

Otra de las aportaciones del BSC durante la pandemia ha sido la creación de un nuevo sistema (*Flow-Maps*) para monitorizar los brotes de COVID-19 y el riesgo asociado a la movilidad, mediante la integración de información de salud y patrones de movilidad a nivel de población en un Sistema de Información Geográfica. La herramienta está sirviendo de apoyo a las administraciones, para la toma de decisiones; a los epidemiólogos, para alimen-

tar sus modelos con datos actualizados, y a los ciudadanos, para visualizar la relación de la pandemia, la movilidad y su riesgo asociado.



Ejemplo del estudio de caso donde se monitorizan los brotes de COVID-19 y el riesgo asociado a la movilidad de Barcelona. Fuente: BSC.

CONCLUSIONES

Sin duda alguna, las nuevas generaciones van a encontrar un mundo diferente al que nosotros conocemos. Desde el punto de vista de la investigación, la colaboración internacional será mucho más frecuente y la movilidad de los científicos aumentará. El hecho de disponer de un cierto exceso de información al alcance de un clic, hará necesario la presencia de buenos profesores que garanticen la fiabilidad de los contenidos. La formación seguirá siendo presencial pero la online cobrará mucha importancia también. «En este contexto -según Mateo Valero- el BSC seguirá con muchas ganas de generar riqueza y de seguir investigando para contratar a más científicos, puesto que, en este centro, todo lo que se genera se reinvierte en investigación por lograr un futuro mejor».

