

LAS TIC COMO PALANCA DE CAMBIO DE LA CIENCIA

Victor Canivell

Cercle per el Coneixement

27 de Diciembre, 2010

1. Introducción

Las tecnologías de la información y las comunicaciones se han convertido en una infraestructura fundamental de muchas ramas de la ciencia, permitiendo el análisis de problemáticas y sistemas científicos de escalas exponencialmente crecientes, así como de grados de complejidad cada vez más importantes.

No sólo se trata de poder hacer más cálculos en sí, sino que los avances de la llamada ciencia de la computación, base de las tecnologías de la información y las comunicaciones, están influyendo en las nuevas herramientas conceptuales y tecnológicas utilizadas en la ciencia de sistemas complejos en campos como la biología, la medicina, los ecosistemas, las redes sociales, las redes de comunicaciones, la economía, etc.

A su vez, el avance en el conocimiento de dichos sistemas complejos en biología y química permite vislumbrar un horizonte de computación molecular que abra nuevas fronteras en las capacidades de la computación y las comunicaciones. Se trata de sistemas adaptativos y autónomos que desarrollan respuestas coherentes a cambios en su entorno de gran complejidad, mucho más allá de lo que somos capaces de hacer con las tecnologías actuales.

Por otro lado se vislumbra el horizonte de la computación cuántica que podría dar lugar en pocos lustros a capacidades de cálculo ilimitadas respecto a las actuales.

Por ello no sólo son las TIC una palanca de avance fundamental de la ciencia, sino que, además, la ciencia es una palanca de avance fundamental de las TIC, en un círculo virtuoso acelerado de grandes implicaciones. En ambos casos se trata de avances espectaculares en nuestra comprensión del mundo que nos rodea, de nuestra capacidad de desarrollo tecnológico, y, por ende, de nuestro desarrollo económico y social.

Estamos en el albor de una nueva manera de hacer ciencia. Es por ello crucial que la sociedad conozca las bases y el potencial de estos avances.

Catalunya dispone de buenas infraestructuras técnicas TIC para la ciencia. Si aspiramos a convertirnos en una sociedad del conocimiento, con valor añadido en la generación de conocimiento, hemos de seguir invirtiendo en actualizarlas y en dar la formación a los jóvenes científicos para que las puedan aprovechar.

Está demostrado que en el medio plazo hay una clara correlación entre el nivel de desarrollo científico y el de capacidad económica y bienestar social.

2. Las TIC como palanca de impulso de la Ciencia

La física de materiales condujo hace medio siglo al desarrollo de los semiconductores, los transistores y los microprocesadores, los cuales han digitalizado y revolucionado las tecnologías de la computación y las comunicaciones (TIC). El progreso ha sido prodigioso. Es inimaginable hoy un mundo sin teléfonos móviles, sin internet, sin todos los sistemas electrónicos que regulan nuestros aparatos domésticos, automóviles, hospitales, industrias y un largo etcétera. Y estamos acostumbrados a su constante evolución siguiendo la llamada Ley de Moore (dos veces más de velocidad de cálculo y de capacidad de memoria cada 18 meses al mismo coste, es decir un orden de magnitud cada lustro desde hace cincuenta años).

Pero, más allá de estos avances, es importante reconocer que en estos momentos son estas mismas tecnologías de la información y comunicaciones las que están revolucionando el avance de la ciencia. Y esta revolución tiene más de una dimensión: en primer lugar, la obvia, la de permitir el tratamiento de cada vez mayores cantidades de datos a mayores velocidades. Así ayudan a los científicos a “hacer” más ciencia más rápidamente. Pero más allá de estos avances de escala, las ciencias de la computación están influyendo en “cómo” se hace la ciencia. Los conceptos, teoremas y herramientas desarrollados en el seno de las llamadas ciencias de la computación se están adaptando como nuevas herramientas en las ciencias dedicadas al estudio de sistemas complejos, especialmente en las ciencias biológicas, así como en el estudio del clima, de fuentes energéticas, del cerebro, de los orígenes del universo, de los orígenes de la vida, etc.

Estamos pues ante una nueva revolución. Las revoluciones científicas no son nada frecuentes, pero suelen ocurrir cuando se inventa una nueva herramienta conceptual (como el cálculo) o una nueva herramienta tecnológica (como el telescopio). Veamos algunos ejemplos.

Fibonacci en el siglo XIII publicó el tratado “Liber Aci” en el que estableció una nueva rama de las matemáticas, el álgebra. El algebra permitió pasar de las matemáticas de palabras a la matemática de los símbolos. Hasta ese momento en Europa las matemáticas se escribían como palabras. Fibonacci “descubrió” el sistema numérico, que de hecho nació en la India hace 3.000 años, y que llegó a la Europa de la época a través del legado de la cultura árabe. El algebra permitió nuevos tipos de cálculos que cambiaron la sociedad, a través del estudio por ejemplo de los planetas, y de su impacto en el comercio y la religión. Unos 400 años más tarde Newton, en sus esfuerzos por entender las leyes de la naturaleza en base a las tasas de cambio del movimiento, usó el algebra para el desarrollo de una nueva rama de las matemáticas: el cálculo (coincidiendo con los trabajos de von Leibniz). Esta nueva herramienta permitió describir muchas nuevas leyes de la naturaleza: tasas de cambio o dinámicas del calor, del sonido, de la luz, de los fluidos, de la electricidad, del magnetismo, etc. De manera parecida, el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas, como el telescopio de Galileo y el microscopio, ambos del siglo XVII, los rayos X del siglo XIX, las máquinas secuenciadoras de DNA de los años ‘60 también han transformado nuestra comprensión del mundo y del universo.

El impacto de las TIC en el desarrollo de la ciencia, en el alcance sus resultados y en el impacto de sus herramientas y métodos para entornos complejos, tendrá una importancia al menos igual de significativa en las próximas décadas como lo ha sido estos últimos cincuenta años: impactará nuestra longevidad, nuestra calidad de vida, lo que sabemos de nosotros, de nuestro

planeta, de nuestro universo, de cómo afrontar las enfermedades, de cómo gestionar los recursos de nuestro planeta, etc.

Las TIC está cambiando la forma de hacer ciencia, proporcionando avances a través de nuevos tipos de experimentos. Estos experimentos generan nuevos tipos de datos, de complejidad y volúmenes exponencialmente mayores. Uno de las cuestiones a resolver es cómo usar, explotar y compartir esta avalancha de datos.

Ejemplos de estas avalanchas de datos se dan por ejemplo en el caso del nuevo laboratorio “Large Hadron Collider” del CERN en Ginebra. Está previsto que produzca varios PetaBytes (diez elevado a 15 número de bytes, o PB) anuales. Para ello se ha implementado una arquitectura de tratamiento de estos datos de tipo “grid” que engloba una red internacional de centros de computación con más de 100k CPUs para analizar en cascada las informaciones y patrones más relevantes a las investigaciones en curso. La acumulación de grandes volúmenes de datos, medidos en PB y en ExaBytes (mil PB), se da con gran frecuencia en la ciencia actual, y no sólo en la física de altas energías, sino también en las técnicas de “high throughput” de genómica, proteómica, química combinatoria, estudios del clima, astronomía, etc. Pero además, y más allá de estos problemas de escala de volumen de datos, hay otros tipos de problemáticas como es la de tratar datos mucho más heterogéneas y con orígenes mucho más dispersos, como son los casos de biomedicina, astronomía y otros. Se trata de conceptualizar la amplitud y la profundidad de las relaciones y posibles relaciones en el seno de los datos correspondientes.

Ello requiere herramientas cada vez más potentes para acceder, manipular, visualizar e interpretar estos datos de una manera eficaz, superando las barreras actuales de heterogeneidad de datos, plataformas y aplicaciones. Las técnicas que se están desarrollando incorporan conceptos de hardware como redes de equipos básicos tipo PC, y redes de agrupaciones de estos equipos para hacer cálculos hasta la fecha únicamente realizables en equipos de supercomputación. Como la cantidad de datos generados en este tipo de entornos excede la velocidad y capacidad de almacenamiento y las velocidades de las redes, se impone complementar las grandes bases de datos centrales con jerarquías federadas de bases de datos especializadas y más pequeñas. Por otro lado las nuevas herramientas de software incluyen conceptos como la semántica, o metadatos, es decir datos que describen los datos, su calidad, dónde y cuándo se han creado, su propiedad intelectual, etc. Y no es sólo para consumo humano, sino que de hecho lo utilizan fundamentalmente los “web services” entre aplicaciones para integrar, transformar y/o hacer cálculos con los datos subyacentes. La gestión de los datos científicos requiere pues avances en los sistemas de gestión de bases de datos que incluyan esta información semántica.

Los principios que subyacen el desarrollo de las TIC se conocen como “ciencia de la computación” (“computer science”). Esta ciencia de la computación está contribuyendo en gran manera al avance de la ciencia, de las ciencias naturales. Pero va más allá que esto, está en gran medida reformulando las ciencias naturales. Las ciencias naturales se definen en relación al mundo en el que vivimos y que intentamos describir y predecir en base a estudios empíricos y postulados de teorías y leyes. La ciencia de la computación es más difícil de describir, no tiene las bases empíricas de las ciencias naturales, no se trata sólo razonamientos simbólicos (matemáticas) y no es sólo un compendio de principios de ingeniería y tecnología.

Se puede decir que la mejor caracterización de la ciencia de la computación es la manera en que sus practicantes resuelven problemas, diseñan sistemas e interpretan el comportamiento humano en el contexto de dichos sistemas. Por ello se habla del “computational thinking”. Se trata de plantearse cuestiones como, “cuán difícil será de resolver”, “cuál es la mejor manera de resolverlo”, como reformular un problema complejo en otro que sabemos cómo resolver, quizá por reducción, transformación o simulación. Se trata de encontrar la representación más adecuada para un problema, en encontrar la modelización que lo hace tratable. Se trata de usar la abstracción y descomposición al analizar una tarea compleja o diseñar un sistema complejo. Se trata de tener la confianza de poder usar, modificar e influenciar un sistema complejo sin comprender todos sus detalles. Se trata de modularizar algo en anticipación a múltiples usuarios y/o de “pre-fetching” y “caching” futuros. Se trata de juzgar el diseño de un sistema en base a su simplicidad y elegancia. Se trata de pensar de manera recurrente. Se trata de pensar en términos de prevención, protección y recuperación ante los peores escenarios (violación de condiciones de contorno, entornos impredecibles) a través de redundancia, contención de daños y corrección de errores. En resumen, se trata de resolver problemas y diseñar sistemas usando los principios básicos de la ciencia de la computación.

Hemos hecho énfasis en que las nuevas fronteras que las TIC ayudan a desarrollar en el mundo de la ciencia están relacionadas con la complejidad. Muchos de los aspectos más importantes de nuestro mundo se representan como sistemas complejos: biología, medicina (como redes intercelulares, sistemas de órganos, epidemiología), en entorno (ecosistemas, etc.), sistemas sociales (como transportes, ciudades, redes sociales), redes de comunicaciones, sistemas económicos, etc. Pero a pesar de que en general se entiende la complejidad como el resultado del comportamiento complejo de muchos elementos simples, de hecho en muchos casos se trata de lo contrario: sistemas altamente complejos que producen comportamientos coherentes. Probablemente una de las fronteras científicas más apasionantes a resolver es la de entender y predecir cómo dichos sistemas complejos producen comportamientos coherentes.

Para ello una de las áreas más importantes trata de la codificación del conocimiento científico. Por ello se entiende la traducción del conocimiento en una representación codificada, en términos de datos y programas, susceptible de ser manipulada y analizable mecánicamente. Este proceso ya se ha llevado a cabo en muchas áreas de la ciencia, pero está llegando en otras. La biología es uno de los campos en que este tipo de codificación se ve como fundamental.

En su estadio más básico tenemos la codificación del genoma: las estructuras del DNA de diferentes organismos se representan como largas cadenas con un alfabeto de cuatro letras. De esta manera se puede almacenar, buscar, comparar y analizar usando una gran variedad de herramientas computacionales. Ya en el año 2000 a través del proyecto del Genoma Humano se secuenciaron los tres mil millones de parejas de letras de DNA correspondientes. Se tardó trece años y costó tres mil millones de dólares. Debido a los avances en el coste de la secuenciación de DNA, hoy en día se vislumbran costes de sólo mil dólares en plazos de una hora. Este avance en la velocidad y la disminución de los costes de secuenciación de DNA es el equivalente a la ley de Moore para la computación. Y la combinación de ambos avances es lo que permite dar pasos de gigante en la biología de este siglo XXI.

El siguiente nivel es el de la proteómica. En este caso las estructuras de datos son más complejas: se trata de cadenas con alfabetos de veinte letras (de aminoácidos) más información posicional tridimensional y más algunas anotaciones complementarias. Esta representación ahora está suficientemente estandarizada, y por ello ya se puede tratar con nuevas herramientas.

Más allá hay que codificar las vías metabólicas y de señalización. En este caso lo que hay que almacenar, buscar, comparar, analizar e interpretar son las redes interacciones bioquímicas. Cómo hacerlo es un tema de actualidad.

El problema general más complicado será cómo almacenar, buscar, comparar, analizar etc. los procesos biológicos. Se trata de interacciones dinámicas entre múltiples componentes discretos, como la división de las células.

Todo ello nos lleva a reflexionar acerca de la manera de hacer avanzar la ciencia, a partir de primeros principios y/o a partir de inferencias estadísticas. Se trata de vías complementarias y/o alternativas según los casos. Nos recuerda la dicotomía entre los procesos automáticos de traducción, los clásicos basados en el diccionario y los de tipo Google que se basan en el análisis de cantidades ingentes de traducciones de textos previos. En este caso, en el fondo se trata del mismo proceso, pero el segundo es mucho más ágil. Hasta cierto punto es un símil del mundo científico. El valor de las teorías científicas se determina generalmente por su habilidad en realizar predicciones. Pero muchas de las teorías tratan fenómenos tan alejados de nuestra experiencia e intuición diarias, que se hace difícil sino imposible su comprensión "lógica". Las ecuaciones, los cálculos y las predicciones funcionan de manera pasmosa, pero no somos capaces de "entenderlo" más allá de dichas ecuaciones matemáticas. Piénsese sino en las grandes teorías de la física del siglo XX, como la relatividad y la mecánica cuántica. La certeza de sus predicciones es impresionante, pero no es posible entenderlas de manera intuitiva. Explican fenómenos alejados de nuestras escalas y experiencias. Y en las circunstancias más próxima a nuestra experiencia se transforman en las llamadas leyes de la mecánica clásica, que sí consideramos intuitivas en la actualidad. Pero incluso éstas no eran intuitivas en las épocas que fueron formuladas. Nadie en su sano juicio diría a priori que la manzana de Newton y la Tierra se atraen mutuamente y que ambos se mueven en una elipse alrededor de su centro de gravedad, lo que en la práctica quiere decir que la manzana cae verticalmente. Sólo se puede llegar a aceptar estudiando las trayectorias de los astros, y para ello hay que saber cómo se pueden medir. Así que en los dominios de la ciencia en que se conocen bien las ecuaciones, para realizar predicciones se requiere simplemente utilizar las técnicas numéricas más adecuadas. Sin embargo incluso en estos casos se pueden plantear muchas cuestiones debido a la eficiencia, exactitud numérica y validación del modelo matemático y del modelo de cálculo informático utilizado.

Hay que reconocer de todas maneras que en la mayor parte de los campos de la ciencia no es posible llevar a cabo una simulación a partir de primeros principios con los recursos actuales de las TIC; ello es debido a la complejidad del tema o a la ausencia de modelos suficientemente precisos para el problema en cuestión. En estos casos se utilizan métodos estadísticos, incluidos los llamados "machine learning".

Mientras que la estadística clásica se centra en el análisis de los datos para probar las hipótesis planteadas, el objetivo de las técnicas de “machine learning” es la de utilizar métodos estadísticos para hacer predicciones. Esto se ha utilizado con éxito en casos como el de la modelización molecular, para descubrir los principios estructurales de las familias de plegamientos de proteínas, o en el de las predicciones de la toxicidad de pequeñas moléculas. Una de las líneas de desarrollo de los nuevos lenguajes de programación será sin duda el de la inferencia probabilística, en el que se incluyen conceptos tales como la incertidumbre en su base; con ello se acelerará la utilización de los principios del “machine learning”. La investigación de algoritmos y los principios del “machine learning” pueden contribuir a la investigación e uno de las áreas más importantes de la investigación científica, la de la comprensión de cómo se procesa la información en los sistemas biológicos, y en particular en el cerebro.

Las dos maneras de realizar predicciones, las basadas en primeros principios, y las basadas en modelos estadísticos de los datos observados, no tienen por qué ser excluyentes, y de hecho hay mucho a ganar en usarlas de manera complementaria para el estudio de sistemas complejos. Por ejemplo en casos como la biología de poblaciones, un estudio completo probablemente requiere una combinación de elementos que provienen de la dinámica no lineal, de la ciencia de la complejidad, de la teoría de redes, de la teoría de procesos estocásticos y del “machine learning”.

Este tipo de avances permite plantearse la realización de experimentos autónomos, que son de especial importancia en situaciones en que sería imposible llevarlos a cabo, sea por el volumen de información a analizar, sea por la incapacidad de la instrumentación científica en comunicar todos sus datos con los centros de decisión debido a limitaciones de ancho de banda, como por ejemplo en sondas espaciales o robots utilizados en entornos remotos u hostiles. Dichas técnicas computacionales permiten decidir de manera autónoma a partir de las observaciones previas qué pruebas realizar a continuación, cuándo realizarlas y cuándo suspenderlas. La mayoría de las sondas y robots enviados a entornos remotos sólo dispone de un ancho de banda limitado, lo que no le permite enviar todos los datos recogidos. Así dicho robot puede decidir localmente qué curso de pruebas realizar de manera autónoma. En la misma línea se está llevando a cabo grandes avances en redes inalámbricas y tecnologías de sensores en los chips, de manera a poder realizar grandes proyectos de monitorización del entorno ambiental.

La distinción entre lo natural y lo artificial se está difuminando cada vez más debido a los avances en la intersección entre las TIC, la biología, la química y la ingeniería. Estos avances tienen el potencial de revolucionar no solo nuestra capacidad de modelizar, entender y reparar sistemas vivientes complejos, pero también de construir nuevas piezas biológicas que lleguen a ser la base de organismos completamente nuevos.

Los temas tratados hasta aquí reflejan el rol de las TIC en transformar e incluso revolucionar la ciencia, es decir su rol de palanca de impulso de la ciencia.

Los componentes de esta revolución son conceptos, herramientas y teoremas de la ciencia de la computación que se están transformando en nuevas herramientas conceptuales y tecnológicas de gran aplicabilidad en la ciencia, especialmente las ciencias que investigan

sistemas complejos, y muy en particular en las ciencias biológicas. Hay quien defiende que estamos en el albor de una nueva manera de hacer ciencia.

3. La ciencia como palanca de las TIC

Pero no únicamente las TIC revolucionan la ciencia. Existe la posibilidad de que pueda ocurrir, en base a dichos avances, justamente lo inverso: que dichos avances de la ciencia, especialmente en biología y química, pueden crear las bases de una revolución fundamental en el área de la computación y las TIC. Es decir, la ciencia puede convertirse en un futuro próximo en una palanca de impulso de las TIC, revolucionando sus bases.

3.1. El potencial de la computación cuántica

La ley de Moore ha permitido pasar, de trabajar a escala de una micra, a trabajar a escalas de un nanómetro. Pero al seguir miniaturizando, y de mantenerse dicho ritmo de mejoras, hacia 2030 entraremos en los dominios de la física cuántica. Con ello lo que ganaremos ya no será más velocidad al procesar la información, ya no será una mejora cuantitativa como la que hemos tenido en las últimas décadas, sino que se producirá un cambio cualitativo, una manera totalmente nueva de procesar la información. En estos entornos se reemplazan los dígitos habituales, los 0s y los 1s, por los llamados bits cuánticos o “qubits”. Estos elementos, que pueden ser electrones, fotones, átomos o moléculas se rigen por la física cuántica, y como tales tienen la propiedad de existir a la vez como 0 y como 1 en el fenómeno llamado de la superposición. Ello permite a la computación cuántica procesar muchos cálculos a la vez. Se trata de que un ordenador cuántico podría ejecutar en un solo paso la misma operación sobre N veces 2 números distintos codificados en forma de superposición de esos N bits: esto es lo que se conoce como paralelismo cuántico. En los ordenadores actuales los problemas se resuelven secuencialmente, mientras que en uno cuántico los problemas pueden combinarse e introducirse en el ordenador simultáneamente, ejecutándose al mismo tiempo. Por ello se llega a hablar de un horizonte de capacidades de cálculo ilimitadas en comparación con las actuales.

El principio básico detrás de la computación cuántica es el entrelazamiento (“entanglement”), que permite establecer correlaciones a distancia, y que permite la superposición de dos sistemas y que permite añadir qubits al proceso. El entrelazamiento es el elemento clave detrás de los algoritmos cuánticos y de la criptografía cuántica. Hoy ya disponemos de soluciones comerciales basadas en criptografía cuántica. Aún tardaremos algunas décadas en poder disponer de ordenadores cuánticos con capacidades equivalentes a los actuales, para lo que se estima que hay que llegar a ordenadores que gestionen 100.000 qubits – hoy estamos en las decenas. La dificultad principal a resolver es la del aislamiento total de los qubits del mundo exterior. Pero se trata de un terreno fascinante de investigación científica y tecnológica por su impacto en las TIC.

Es de destacar que la revista Science elija, como avance científico más destacado de 2010, el desarrollo de la primera “máquina cuántica”. Una máquina no es un ordenador, ni mucho menos, pero los avances son continuos y las oportunidades increíbles.

3.2. El potencial de la computación molecular

Los ordenadores tal como los conocemos hoy responden muy bien a las tareas para los que fueron concebidos. Pero cada vez más podemos imaginar aplicaciones de las TIC para la que no se adapta bien la tecnología actual. Un caso serían dispositivos de cálculo que operasen dentro de organismos vivos, o incluso dentro de una célula. Su diseño requiere una arquitectura completa de computación menor que la de un transistor. Y no existe ninguna limitación fundamental para esta tecnología, como se demuestra con el procesamiento sofisticado de información que ocurre en los organismos vivos. De manera similar, en el área de robótica, el procesamiento en tiempo real de datos complejos en una unidad pequeña, con bajo consumo energético y de poco peso de momento no es viable – pero las comunidades de insectos sociales, como las hormigas, nos demuestran lo que sería posible con dichos tipos de robots dada la tecnología adecuada.

El procesamiento de información es esencial para los sistemas biológicos,, tanto para mantener sus organizaciones intrincadas como para poder competir con formas de vida rivales. Por ello hasta los más simples organismos han desarrollado capacidades avanzadas de computación para abordar tareas complejas. Aún hemos de comprender adecuadamente los principios de estos sistemas naturales de computación informática, aunque el continuo avance de las ciencias biológicas nos muestra cada vez más detalles. Ello contribuye al desarrollo de los conceptos de la llamada computación molecular.

Los ordenadores actuales se han diseñado siguiendo un formalismo estricto independiente de su implementación física. Las características físicas de los componentes físicos están camufladas gracias a una ingeniería muy completa, lo cual es muy útil para la programación. Pero ello se traduce en un uso ineficiente de los substratos, lo que resulta en equipos relativamente voluminosos que se basan en grandes redes de puertas. En contraste el flujo de los cálculos de los ordenadores naturales está dirigido por las propiedades físico-químicas de sus materiales.

En particular las propiedades especiales de las macromoléculas permiten plantearse unidades de cálculo muy integradas. Las macromoléculas son suficientemente grandes como para tener formas específicas, pero a la vez son suficientemente pequeñas como para poder explorarse mutuamente por difusión. Son capaces de auto-ensamblarse a temperaturas relativamente altas. También pueden cambiar su forma, y con ello su función, en respuesta a cambios en su entorno físico-químico. A través de este tipo de procesos en su mayoría estocásticos, las macromoléculas pueden convertirse en componentes de cálculo mucho más versátiles y potentes. Se puede conseguir una colección casi exhaustiva de funciones básicas de cálculo a través de combinaciones de macromoléculas especializadas. Ya hay ciertos avances en este tipo de computación molecular. Ya se han ensayado en el laboratorio prototipos de fármacos inteligentes, en el sentido de que sean capaces de determinar desde dentro de la célula su estado de enfermedad y de actuar en consecuencia.

Esta nueva revolución complementará y extenderá los métodos establecidos en la actualidad. Hará posible muchos nuevos usos de las TIC y conducirá a nuevos materiales, componentes y dispositivos capaces de responder al entorno de manera adaptativa como ocurre en la naturaleza.

Este tipo de nuevos instrumentos conceptuales y tecnológicos tienen el potencial de acelerar el desarrollo de una era de innovación y su consiguiente crecimiento económico y social que podría eclipsar el conseguido estos últimos cincuenta años.

4. Las TIC y la ciencia en Catalunya: conclusiones

Se han implantado en Catalunya estos últimos lustros una buena infraestructura TIC de soporte a la ciencia, cuyos elementos paradigmáticos son el Barcelona SuperComputing Centre (www.bsc.es) con 94 TeraFlops y la Anella Científica (www.cesca.es) de un ancho de banda de hasta 10 Gbps, la cual permite conectar entre sí, y a nivel internacional, los diferentes centros de investigación científica y tecnológica.

Alrededor de estas infraestructuras de equipamiento y de sus equipos humano correspondientes, se han establecido clusters temáticos en áreas de investigación científica que dependen en gran medida de las TIC, tales como la física (como es por ejemplo el caso de la fotónica en el Institut de Ciències Fotoniques www.icfo.es o de la física de altas energías en el Instituto de Física de Altas Energías www.ifae.es), la química computacional y la biomedicina (como son por ejemplo los casos del Parc Científic de Barcelona www.pcb.ub.es con el Institut de Recerca Biomèdica www.irbbarcelona.org, del Parc de Recerca Biomèdica de Barcelona www.prbb.org con el Centre de Regulació Genòmica www.crg.es). Estos centros son de primera división internacional en cuanto a sus contribuciones y publicaciones científicas. Para poderlo ser necesitan el acceso a este tipo de infraestructuras TIC.

Y algunos de estos centros estarán en condiciones de desarrollar, a su vez, avances científicos que contribuyan a hacer saltar las nuevas fronteras de las TIC, por ejemplo en la computación cuántica o en la arquitectura de sistemas. Las colaboraciones del BSC con, entre otros, empresas como IBM, Intel, Oracle/Sun Y Microsoft, así como las del ICFO con, entre otros, el Instituto Max Planck de Garching hacen presagiar una posible eclosión en el avance de las TIC en base a estos avances científicos.

Un ejemplo de actualidad son los avances en biología sintética en la UPF de aplicación a la computación biológica: la biología sintética trata de diseñar sistemas biológicos complejos a base de combinar piezas (bioladrillos) que interactúan entre sí. El bioladrillo más obvio es una célula completa. Ricard Solé (Institut de Biologia Evolutiva, www.upf.edu/cexs/) y sus colegas han publicado en Nature en diciembre 2010 un nuevo procedimiento para implementar circuitos lógicos combinatoriales complejos, utilizando puertas lógicas elementales implementadas mediante células de levadura modificadas por ingeniería genética.

No es de extrañar que, en mi opinión, dos de los posibles candidatos a Nobel en la ciencia española, Ignacio Cirac (que colabora estrechamente con el ICFO) y Joan Massagué (co-director del IRB), estén ligados a estos centros de excelencia, que se apoyan y necesitan estas infraestructuras avanzadas de las TIC de la ciencia.

En definitiva, para poder hacer ciencia a primer nivel hemos de contar con este tipo de infraestructuras TIC, a la vez que hemos de embeber, en la formación de nuestros científicos, los esquemas conceptuales y las herramientas propias de la ciencia de la computación para que podamos sacar el máximo provecho de los avances de la ciencia y de las TIC en su continuo proceso de retroalimentación.

Como colofón a estas reflexiones es importante considerar las siguientes conclusiones:

1. Establecer la innovación científica entre las principales prioridades políticas, debido a su futuro impacto económico y social.
2. Estas prioridades han de ir acompañadas de una redefinición de la formación de los jóvenes científicos, en el sentido de su necesidad de conocer bien los métodos computacionales, desde la primaria hasta la universitaria. No se trata sólo de saber usar los programas informáticos actuales, sino de conocer las bases de la computación y sus métodos – para así ser capaces de usarlas, tanto para el desarrollo de las tareas actuales, como para contribuir a desarrollar nuevas formas de hacer ciencia y de desarrollar las TIC futuras.
3. Para realizar todo ello es crucial comunicar y hacer llegar la ciencia a la ciudadanía, alfabetizarla. La ciencia y las tecnologías que de la ciencia se desprenden son fundamentales en nuestra sociedad. Por ello el público ha de estar informado, entender sus bases y su potencial. Sólo de esta manera podemos asegurarnos de darles las prioridades adecuadas, y además de poder opinar y decidir, con conocimiento de causa, acerca de sus implicaciones éticas. La velocidad a la que las TIC permiten avanzar a la ciencia, y, viceversa, la velocidad a la que la ciencia biológica puede hacer avanzar las TIC en las próximas década, hace esencial establecer estas bases públicas de conocimiento y valoración. Nuestro desarrollo económico y social va a depender de ello.