

Biotecnología Computacional

C.O.S.Sorzano, C. Bocos de Prada

Resumen—La biotecnología computacional es un concepto novedoso en el que se combinan dos disciplinas científicas actualmente en fuerte expansión. Por un lado la biotecnología con todas sus implicaciones económicas y sociales. Por otro, las técnicas computacionales como único recurso sólido para hacer frente a la ingente cantidad de datos producidos en todas las ciencias en general, y en biotecnología en particular. La Univ. San Pablo está lanzando un máster oficial de postgrado sobre esta nueva disciplina (biotecnología computacional). En este artículo se exponen sus principales aspectos, sus conexiones con disciplinas ya existentes y, en especial, con el mundo de la ingeniería.

Términos—Biotecnología, Análisis de datos, Procesado de señales, Genómica, Proteómica

I. INTRODUCCIÓN

La biotecnología es una de las ciencias modernas de mayor repercusión social actualmente como así lo demuestra que haya sido cuatro veces portada de la revista Time desde 1998: agosto de 1998 (sobre la ubicuidad de la bacteria *Escherichia Coli* y sus efectos en nuestra salud), julio de 2000 (sobre el arroz transgénico y sus implicaciones de nutrición de la población mundial), febrero de 2004 (sobre las conexiones entre procesos inflamatorios y ataques al corazón, cáncer o alzheimer), y agosto de 2006 (sobre la investigación con células madre). Sólo en el día 30 de marzo de 2007, news.google.com registró 317 noticias sobre "biotechnology". Desde el punto de vista científico, la biotecnología ha sido portada múltiples veces de revistas científicas de carácter general tan prestigiosas como Science (la última vez en octubre de 2006) y Nature. De hecho, Nature reconoce tanto valor a esta nueva disciplina que creó en 1983 una publicación nueva denominada "Nature Biotechnology". La asociación de ingenieros de telecomunicación y electrónicos más extensa del mundo (IEEE) también dedicó la portada de septiembre de 2004 de IEEE Spectrum (una revista con el objetivo de difundir entre sus asociados las últimas tendencias de la ingeniería) a la biotecnología. La sociedad de procesado de señales de la IEEE también tiene una revista de divulgación general entre sus asociados (IEEE Signal Processing Magazine) que en mayo de 2006 dedicó un número especial

completo al procesado de imágenes moleculares y celulares, y en enero de 2007 un número especial de procesado de señales genómicas.

Desde un punto de vista económico el índice bursátil NASDAQ reconoce la naturaleza propia de las compañías biotecnológicas y creó en 1993 el índice NASDAQ Biotechnology como una forma de medir la capitalización en bolsa de estas empresas de manera específica. La primera empresa biotecnológica, Genentech, se fundó en San Francisco en 1976 [1]. Según el informe de 2006 de la asociación EuropaBio [1], al final de 2004 había en Europa 2.163 empresas cuya actividad estaba directamente relacionada con la biotecnología (sólo en 2004 se crearon 119 nuevas empresas), con un total de 96.500 empleados (de los cuales 42.500 se dedicaban a tareas de investigación y desarrollo (I+D)). El conjunto de las empresas europeas gastó 7.600M€ en I+D e ingresó 21.500M€. La referencia mundial en biotecnología es EE.UU. que a finales de 2004 contaba con 1.991 empresas, 190.500 empleados (82.000 dedicados a I+D), ingresó 41.500M€ y gastó 21.000M€. En España, según el informe de la fundación Genoma España sobre las "Perspectivas económicas de la Biotecnología en España" [2] en 2004 había del orden de 100 empresas con actividad biotecnológica, empleando a más de 1.500 personas y con una facturación de 391M€. Más importante aún que estas cifras es el hecho de que entre 2000 y 2003, el sector creció a un ritmo del 25% anual. En este mismo periodo, España contribuyó con un 4% de la producción científica mundial [3] siendo el 4º país europeo detrás de Reino Unido, Alemania y Francia.

Desde un punto de vista estratégico, Europa apuesta claramente por una economía basada en una sociedad del conocimiento sobre dos pilares fundamentales: la biotecnología y las tecnologías de la información (http://ec.europa.eu/research/biosociety/policy_aspects/eu_bio_tech_strategy_en.htm). Estas dos tecnologías evolucionan muy rápidamente y Europa reconoce que la única manera de ocupar un lugar importante en el mundo es por medio de la inversión en investigación y desarrollo (las empresas del sector dedican de hecho la mitad de sus recursos humanos y económicos). A nivel español, el plan nacional de I+D 2004-2007 [4] define la biotecnología y la biomedicina como área prioritaria de investigación. Y a nivel de la Comunidad de Madrid, el "Libro blanco de la innovación en la Comunidad de Madrid" declara la biotecnología y la biomedicina como una de las áreas especialmente activas en la Comunidad (junto con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y la Física de Partículas) y alrededor de las cuáles se nuclea el Parque Científico de Madrid.

C.O.S. Sorzano, Dept. Ingeniería de Sistemas Electrónicos y de Telecomunicación, Escuela Politécnica Superior, Univ. San Pablo – CEU, Campus Urb. Montepríncipe s/n, 28668 Boadilla del Monte, Madrid. (coss.eps@ceu.es)

C. Bocos de Prada, Dept. Bioquímica y Biología Molecular y Celular, Facultad de Farmacia, Univ. San Pablo – CEU, Campus Urb. Montepríncipe s/n, 28668 Boadilla del Monte, Madrid. (carbocos@ceu.es)

Por último, desde la perspectiva de la ingeniería, los ingenieros vemos en la biotecnología un campo de continua expansión, con problemas técnicos atractivos, desafiantes y en la frontera de nuestro conocimiento (uno de los artículos editoriales de Proceedings of the IEEE de mayo de 2006 se titulaba "Engineering in the age of biology" [6]). IEEE tiene una sociedad específica de ingeniería en la medicina y la biología (IEEE EMBS). En IEEE Spectrum se realizan proyecciones periódicas de la tecnología del futuro. En la revisión de 2006 [7] se identifica la biotecnología como una de las tecnologías clave para los ingenieros de telecomunicación y electrónicos. En la misma línea, en una encuesta realizada a 646 ingenieros de IEEE y publicada en febrero de 2007 [8] se les preguntaba dónde aconsejarían ellos que los nuevos egresados desarrollaran actividades de I+D. Las tres primeras opciones propuestas por los encuestados eran: biomedicina, comunicaciones inalámbricas, y energía.

II. ¿QUÉ ES LA BIOTECNOLOGÍA?

Vemos, pues, que la biotecnología es una disciplina importante tanto desde una perspectiva económica y laboral, como desde una perspectiva científica y de conocimiento. Sin embargo, en este momento cabe preguntarse qué es la biotecnología que genera tanta expectación. Desde este artículo intentaremos dar unas breves indicaciones introductorias a los tipos de problemas que se tratan de resolver desde esta disciplina.

La biotecnología puede definirse como el estudio científico del empleo de células vivas para la obtención y mejora de productos útiles (Real Academia Española). Aunque la definición parece estar muy alejada del mundo de la ingeniería y más cerca del mundo de la biología, en este artículo demostraremos que realmente es una materia interdisciplinaria en la que deben concurrir conocimientos de diversas ciencias entre las que la ingeniería juega un importante papel.

Las aplicaciones de la biotecnología en esa búsqueda de productos útiles son múltiples. A continuación mostramos algunas de ellas:

- Terapias regenerativas: existen multitud de dolencias en las que un órgano ha sido dañado o ha ido deteriorándose hasta dejar de cumplir su función. Tal es el caso de algunos tipos de diabetes, leucemias, isquemias, enfermedades neurodegenerativas, etc. Todas ellas tienen el denominador común de estar causadas por la falta de un tejido especializado que realice la función fisiológica normal, o por la existencia de éste en un estado deteriorado. Las terapias regenerativas tratan de paliar estos problemas por medio de la regeneración del tejido dañado o por implantación del tejido que falta.
- Terapias personalizadas: las terapias actuales frente a enfermedades, incluso comunes, suelen ser

terapias genéricas que no tiene en cuenta la especificidad genética del agente patógeno y del paciente. La idea de las terapias futuras es la de diseñar una terapia particularizada a cada paciente y cada enfermedad utilizando las bases genéticas y moleculares de ambos. De esta forma, se minimizarían los efectos secundarios para el paciente y se maximizaría el efecto curativo de la terapia.

- Diseño de nuevos fármacos y vacunas: la biotecnología también está relacionada con el diseño de nuevas moléculas que puedan ser utilizadas como fármacos y vacunas que o bien curen las enfermedades o las prevengan. Cada vez más, el diseño de los nuevos fármacos requiere de una integración mayor de diversas fuentes de información (experimentales, documentales, de simulación, etc.) y cada vez más este tipo de diseños implica una mayor complejidad.
- Nanotecnología: a esta palabra se acogen muchas aplicaciones diferentes. En el contexto que nos concierne una de las aplicaciones de la nanotecnología persigue el diseño de nanosensores que detecten pequeñas concentraciones de determinadas sustancias químicas (productos tóxicos, presencia de agentes bacterianos, productos de combustión, explosivos, etc.) Estos nanosensores pueden tener aplicaciones industriales o de salud si son implantados a pacientes. Una segunda aplicación más a largo plazo es el diseño de nanorobots que se introduzcan en el cuerpo humano y, por ejemplo, lleven los medicamentos a su lugar de aplicación o detecten la presencia de determinados agentes patógenos. Institutos tan relevantes como la NASA está trabajando en esta línea de nanorobots (<http://www.ipt.arc.nasa.gov>). Por último, la nanotecnología también hace referencia al diseño de máquinas moleculares. Por ejemplo, se pueden diseñar nanobombas o nanomecanismos a base de moléculas orgánicas (<http://www.ipt.arc.nasa.gov/gallery.html>).
- Modificaciones genéticas de animales y plantas: otras de las aplicaciones de la biotecnología es la modificación genética de animales y plantas con el fin de que se adecuen mejor al medio donde crecen (por ejemplo, para el aprovechamiento de terrenos salinos), sean más resistentes a plagas, o tengan una mayor producción. Las implicaciones económicas de estas modificaciones son enormes para el sector primario, y pueden tener importantes repercusiones sociales (como, por ejemplo, permitir la agricultura en zonas en vías de desertización). Sin embargo, tampoco debemos ocultar la preocupación social ante este tipo de técnicas novedosas y sus posibles efectos

medioambientales (no tanto por perniciosos sino por desconocidos).

- **Alimentación:** la biotecnología sirve a la industria alimenticia para reconocer genéticamente distintas especies (muy importante en las denominaciones de origen), detección de alimentos modificados genéticamente (transgénicos), control de calidad de alimentos (por ejemplo, detección del mal de las vacas locas), mejora en la distribución de alimentos (verduras que se estropeen menos durante el transporte), modificaciones génicas que complementen la dieta de poblaciones (por ejemplo, se han modificado batatas en África para que aumenten su contenido proteico y suplementen así la dieta media de grandes poblaciones), mejora de la calidad de los aceites (los aceites con alto contenido de ácido graso $\omega 3$ ya son comerciales), mejoras y conservación de las levaduras utilizadas en la fermentación de la cerveza y el vino, etc.
- **Diseño de biomateriales:** los biomateriales son materiales formados a partir de sustancias y tejidos orgánicos o que son compatibles con ellos. Una de sus aplicaciones principales se encuentra en el diseño de prótesis e implantes óseos, cardiovasculares, oftalmológicos, dentales, etc. Los biomateriales también tienen aplicaciones no clínicas como puede ser el diseño de nanoconexiones en circuitos electrónicos (DNA nanowires) o el diseño de puertas lógicas (organic logic gates, organic transistors).
- **Biocombustibles:** el consumo creciente de energía a nivel mundial junto con los efectos sobre el clima del uso de combustibles fósiles están llevando a una búsqueda de alternativas más duraderas y con menos efectos perniciosos sobre el medio ambiente. En esta línea se sitúan los biocombustibles que son combustibles producidos a partir de plantas. Aunque cualquier combustión siempre conlleva la producción de CO_2 , éste habría sido previamente capturado de la atmósfera por la planta por lo que la producción neta de CO_2 se reduce enormemente. La tarea en este punto es el diseño de biocombustibles cada vez más eficientes.
- **Soluciones a problemas medioambientales:** la biotecnología también juega un papel fundamental en la depuración de aguas (en la que una de las fases es realizada a partir de microorganismos), la paliación de desastres ecológicos como el derrame de sustancias tóxicas (por ejemplo, hidrocarburos o petróleo) que son eliminadas por bacterias en un entorno controlado, uso de nuevos fertilizantes, etc.

Como vemos, la biotecnología tiene una gran capacidad para mejorar nuestras condiciones de vida tanto en la salud como la alimentación, energía, nuestra relación con el medio

ambiente, etc, y como así se ha recogido en diversas publicaciones específicas editadas por la Sociedad Española de

Biología Biotecnología (<http://www.sebiot.org/espa/publicaciones.htm>). El impacto económico de todas estas actividades es claro y es por ello que muchos países (entre ellos España) ven en la biotecnología una de las tecnologías de mayor futuro y están apostando fuertemente por ella. De hecho, así se ha constatado en los diferentes Informes de Vigilancia Tecnológica que de forma específica ha elaborado la Fundación Genoma España para cada una de las áreas anteriormente mencionadas (http://www.gen-es.org/02_cono/02_cono.cfm?pag=0310).

III. LA BIOTECNOLOGÍA ES UNA CIENCIA INTERDISCIPLINARIA

El rango de aplicaciones de la biotecnología parece apuntar claramente un predominio de las ciencias de la vida en esta disciplina. Ciertamente, esta tecnología se fundamenta en el empleo de técnicas de biología molecular, bioquímica, tecnología del ADN recombinante (es decir, ADN que se produce a partir de dos fuentes biológicas independientes), secuenciación (la determinación de la composición lineal del ADN, ARN o proteínas), genotipado (caracterización de un organismo a partir de su material genético), transcriptómica (cómo este material genético se traduce a proteínas), proteómica (qué conjunto de proteínas y en qué orden se expresan en el interior de las células en diferentes situaciones fisiológicas), metabolómica (estudio del estado fisiológico de la célula en cada instante), biología estructural (cómo se organiza espacialmente y cuál es la forma de cada uno de los agentes implicados), biología de sistemas (las células y los componentes celulares se organizan en subsistemas con función propia y que interactúan con otros subsistemas), biología sintética (cómo podemos nosotros añadir subsistemas al conjunto global o interferir con los ya existentes), ingeniería de proteínas y biomoléculas (cómo podemos diseñar componentes para dichos subsistemas que tengan una determinada función), etc.

A pesar de que la lista anterior de técnicas empleadas desvela, como no puede ser de otra forma, una relación fundamental con la biología, las ciencias farmacéuticas, y la medicina, todo este avance científico sería inimaginable sin el concurso de otras ramas de la ciencia como son las matemáticas, la física, la electrónica, la ingeniería, o la computación. Efectivamente, los experimentos llevados a cabo en biotecnología son posibles gracias a aparatos que explotan nuevos conocimientos físicos (como puede ser la construcción de un microscopio electrónico o de rayos X, o el espectrógrafo de masas). Del mismo modo, estos aparatos serían impensables sin los avances en ingeniería y electrónica que permiten la construcción y el control preciso de estos dispositivos. Los avances producidos en la miniaturización de componentes microelectrónicos han tenido un impacto de primer orden en la capacidad de analizar miles de genes (por medio de lo que se conocen como DNA arrays y oligochips de

DNA). Estas técnicas de análisis de expresión de genes, de proteínas e incluso de las variaciones genéticas de los individuos son técnicas de análisis denominadas masivas o en paralelo. Por otra parte, los datos experimentales recogidos deben ser analizados y modelados de forma que se pueda extraer información útil a partir de la ingente cantidad de datos producidos. Ésta es una tarea que debe ser abordada desde un paradigma de modelado estadístico (inferencia, regresión, diseño de experimentos) y de aprendizaje automático (redes neuronales, redes bayesianas, redes lógicas, clasificación y análisis de conglomerados, reglas asociativas, gramáticas formales, etc.) Por otra parte, la teoría de sistemas (ampliamente desarrollada por los ingenieros de telecomunicación para modelar canales de comunicaciones) encuentra una expansión natural en el análisis de los sistemas biológicos y sus subsistemas. Desde el punto de vista de sistemas se puede decir que durante mucho tiempo (y aún no se ha terminado) se ha adoptado una estrategia de ingeniería inversa en la que se trata de descubrir el funcionamiento de un sistema biológico altamente no lineal. Sin embargo, comienza a haber trabajos sobre ingeniería de diseño en los que se intenta añadir subsistemas que interactúen con los ya existentes y nos permitan modificar su funcionamiento. Evidentemente, todos los modelos empleados se fundamentan en diversos paradigmas matemáticos por lo que los problemas biológicos han atraído también a muchos matemáticos. Finalmente, todas las tareas de modelado y análisis de los datos serían imposibles sin la ayuda de potentes ordenadores con una gran capacidad de cálculo, la existencia de bases de datos (muchas veces distribuidas por todo el mundo), la integración de diversas fuentes de datos, la existencia de programas que permitan el manejo sencillo de tanta información, etc. El diseño de programas y la implementación de algoritmos matemáticos y de aprendizaje automático ha venido a denominarse bajo el nombre genérico de bioinformática.

IV. BIOTECNOLOGÍA COMPUTACIONAL

La pregunta que le puede surgir al ingeniero en este momento es si la biotecnología puede realmente ser computacional. La respuesta es un rotundo sí a la vista de las evidencias:

- El ordenador más potente del mundo en la lista de supercomputadores publicada en noviembre de 2005 fue "Blue gene" un ordenador diseñado por IBM junto el Departamento de Energía estadounidense y el Lawrence Livermore National Laboratory en California. Este supercomputador era capaz de realizar 360 Teraflops de pico y se dedicó al cálculo de la estructura atómica tridimensional de proteínas.
- Google, una empresa de tecnología de la información pura y para nada sospechosa de sesgo biotecnológico, da a sus empleados charlas

periódicas en las que se forman en las tecnologías que pueden ser importantes para el desarrollo de su trabajo. Entre las charlas ofrecidas se encontraban: "Keeping Up With The Human Genome" (7 de diciembre de 2006, <http://video.google.com/videoplay?docid=-3068967863312207867>), "Mysteries of the Human Genome" (23 de octubre de 2006, <http://video.google.com/videoplay?docid=-4253577361254801147>), "Grid-based Integrated Bioinformatics Systems for High Throughput" (15 de septiembre de 2006, <http://video.google.com/videoplay?docid=86918197086997488>), "Open Source Drug Discovery for Neglected Diseases" (7 de abril de 2006, <http://video.google.com/videoplay?docid=-6203430655396416135>).

- La revista Nucleic Acids Research publica todos los años una colección de bases de datos en biología molecular. En su edición de 2007 [9] se cuentan 968 bases de datos con un incremento de 110 bases de datos más que en el año 2006. Además, cada una de estas bases de datos tiene un crecimiento exponencial en el número de entradas (véase por ejemplo el crecimiento de Genbank <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/genbankstats.html>).
- El número de revistas científicas sobre campos intermedios entre la computación y la biotecnología es amplio, valgan como ejemplo: IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, Journal of Computational Biology, Bioinformatics, BMC Bioinformatics, In silico Biology, Journal of Mathematical Biology, Journal of Molecular Graphics and Modelling, Journal of Biotechnology, y la recientemente creada, Biotechnology, the Journal.
- Desde hace algunos años, diversas iniciativas se han venido sucediendo para la utilización altruista de múltiples ordenadores personales funcionando como un supercomputador en el diseño de fármacos para la lucha contra el cáncer, diabetes, Parkinson (p. ej., Intel® Philanthropic Peer-to-Peer Program, programa de 2001 que actualmente ha sido reemplazado por otros), contra enfermedades infecciosas (<http://www.d2ol.com/>), contra enfermedades infantiles <http://www.childhooddiseases.org>), etc.
- La enorme cantidad de información existente en la red acerca de genes y proteínas, por ejemplo en la literatura científica, está haciendo imprescindibles sistemas informáticos que la recojan y la organicen para facilitar su manejo (p. ej., <http://www.pdg.cnb.uam.es/UniPub/iHOP/>).

Si se analiza el aspecto más computacional de la biotecnología, vemos que éste viene determinado básicamente por el manejo de la enorme cantidad de datos producida. Tanto desde el punto de vista de bases de datos como desde el punto de vista del modelado estadístico de dichos datos y la inferencia a nivel de sistemas que se puede realizar a partir de ellos. De hecho, todos los trabajos que se publican en estas revistas "conjuntas" tienen una fuerte carga de ingeniería (redes neuronales, redes bayesianas, teoría de la información, redes lógicas, clasificación, reconocimiento de patrones, etc.). Precisamente, el máster de postgrado ofertado por la Univ. San Pablo ("Computational Biotechnology") se centra en la formación de los alumnos en estas técnicas de procesamiento de datos así como en su formación biotecnológica de forma que se comprenda perfectamente su origen, su significado, las implicaciones biológicas, los requisitos experimentales, etc.

V. TRABAJO EN BIOTECNOLOGÍA COMPUTACIONAL

Después de esta presentación sobre el campo de la biotecnología computacional, uno cabe preguntarse cómo es el trabajo en una empresa biotecnológica y dónde se encuentra éste.

La revista americana Fortune elabora periódicamente la lista de las 100 mejores empresas en las que trabajar en EE.UU. Para elaborar esta lista se evalúan criterios de beneficios para los trabajadores, igualdad de oportunidades, crecimiento de la compañía, etc. En la lista de 2007 (http://money.cnn.com/magazines/fortune/bestcompanies/full_list), la primera empresa es Google, y la segunda Genentech (biotecnológica). Las empresas relacionadas con la biotecnología ocupan aproximadamente el 10% de la lista.

La agencia Reuters realiza un seguimiento de la capitalización bursátil y el tamaño de las empresas (<http://www.investor.reuters.com/business/BusRankingsCompanies.aspx?sectorcode=HEALTH&industry=BIOTRX&target=%2fbusiness%2fbussecindustry%2fbussecindfake%2fbusrankcomp>). Según esta compañía, la empresa biotecnológica media tiene una capitalización bursátil de 41.000M\$, unos ingresos brutos de 15.477M\$, y 23.674 empleados.

Monster.com es una empresa de recursos humanos muy utilizada en EE.UU. para la búsqueda de empleo. Una búsqueda con la palabra "biotechnology" devolvió 2.635 empleos el 1/2/2007 y 3.021 el 1/4/2007 lo cual puede dar una idea del crecimiento del sector así como de la cantidad de trabajo existente. Estos datos son confirmados por el buscador de empleo del grupo editorial Nature en el que se registran ofertas de empleo de muy alta cualificación (normalmente sólo para doctores) (<http://www.nature.com/naturejobs>). Una búsqueda con la palabra "biotechnology" el 1/2/2007 devolvió 393 ofertas, y la misma búsqueda el 1/4/2007, 618 ofertas.

En cuanto a localización geográfica, EE.UU. tiene una industria biotecnológica el doble de grande que Europa por lo que es lógico que haya una mayor cantidad de ofertas de trabajo en aquel país. En Europa, según el informe de la

asociación EuropaBio [1], los países con mayor cantidad de empleo en biotecnología son por orden: Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Francia.

Claramente, se puede observar que el campo de trabajo en biotecnología está expandido por todo el mundo y que además, la colaboración entre los países tanto a nivel de empresa como académico resulta esencial. Es por ello que, el máster de postgrado que sobre Biotecnología Computacional está ofertando la Universidad CEU San Pablo, será impartido íntegramente en inglés, incluida la parte correspondiente al proyecto fin de máster, lo que ayudará enormemente a la incorporación de los alumnos egresados en cualquier empresa biotecnológica del mundo.

VI. CONCLUSIONES

A lo largo del presente artículo se han expuesto los principales aspectos de la biotecnología como una tecnología moderna, de alto impacto social y económico, y con amplias posibilidades de trabajo. En particular, nos hemos centrado en mostrar aquellos puntos que comparte con la ingeniería y las ciencias de la computación y hemos demostrado cómo este nuevo campo de la ciencia se perfila como uno de los más atractivos tanto para aquellas personas de formación de corte más biológico, como para aquellos ingenieros y personas de formación técnica dispuestos a trabajar en una nueva área.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Univ. CEU San Pablo el apoyo mostrado durante la elaboración del máster en Biotecnología Computacional.

REFERENCES

- [1] EuropaBio, *Biotechnology in Europe: 2006 Comparative Study*, 2006.
- [2] Genoma España, *Perspectivas económicas de la biotecnología en España*, 2005.
- [3] Genoma España, *La biotecnología en España*, 2005.
- [4] Comisión interministerial de ciencia y tecnología, *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007, Vol. II: Áreas Prioritarias*.
- [5] Fundación COTEC, *Libro blanco de la innovación en la Comunidad de Madrid*, 2004.
- [6] F. T. Ulaby, "Engineering in the age of biology", *Proc. IEEE*, 2006, 94, 863-864
- [7] M. Gorbis, D. Pescovitz, "Bursting Tech bubbles before they balloon", *IEEE Spectrum*, 2006, 43, 50-55
- [8] S. Cass, "Careers: where the jobs are", *IEEE Spectrum*, 2007, 44, 51-57
- [9] M. Y. Galperin, "The Molecular Biology Database Collection: 2007 update", *Nucleic Acids Research*, 2007, 35, D3-D4

Carlos Óscar Sánchez Sorzano es Ing. de Telecomunicación (Univ. Málaga), Ing. Téc. en Informática de Sistemas (Univ. Málaga), Lic. en Matemáticas (UNED) y Dr. en Ingeniería Biomédica (Univ. Politécnica de Madrid). Es secretario del Departamento de Ingeniería de Sistemas Electrónicos y Telecomunicación de la Escuela Politécnica Superior, uno de los centros que forma parte de la Universidad CEU-San Pablo (Madrid). Es coordinador del Área de Teoría de la Señal y las Comunicaciones del departamento, coordinador del Laboratorio de Bioingeniería de la Univ. San Pablo, director de la Escuela de Verano "Advanced Data Analysis and Modelling", y uno de los directores del Máster de Biotecnología Computacional de la misma

Universidad. Realizó su doctorado en la Unidad de Biocomputación del Centro Nacional de Biotecnología (CSIC), y una estancia postdoctoral en el Grupo de Imágenes Biomédicas del Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL). En 2006 recibió el premio Ángel Herrera de investigación de la Fundación CEU.

Carlos Bocos de Prada es doctor en Ciencias Biológicas (Univ. Autónoma de Madrid y Univ. de Alcalá). Es director de la sección departamental Bioquímica y Biología Molecular de la Facultad de Farmacia de la Universidad CEU San Pablo (Madrid). Es también uno de los directores del Máster de Biotecnología Computacional de dicha universidad. Realizó su doctorado en el Hospital Ramón y Cajal y una estancia postdoctoral en el Center for Biotechnology, NOVUM, Karolinska Institute, Suecia. En el año 1999, colaboró en la obtención del premio Ángel Herrera de investigación de la Fundación CEU por el “Equipo de Bioquímica y Metabolismo” del que es miembro y que es dirigido por el Dr. Emilio Herrera.