



**Carlos Óscar Sánchez Sorzano**  
Profesor adjunto y coordinador del área de teoría de la señal y las comunicaciones de la Universidad San Pablo CEU



**Carlos Bocos de Prada**  
Profesor adjunto y director de la sección de bioquímica y biología molecular. Universidad San Pablo CEU

## Biotecnología Computacional

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 y de ingeniería como único recurso sólido para hacer frente a la ingente cantidad de datos producidos. Con una sólida formación científica, no es extraño encontrar ingenieros de telecomunicación investigando en este campo.

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).

### La importancia social de la biotecnología

Por poner un ejemplo, 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. La asociación de ingenieros de telecomunicación y electrónicos más extensa del mundo (IEEE) también dedicó a la biotecnología 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). 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. 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\\_biotech\\_strategy\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/biosociety/policy_aspects/eu_biotech_strategy_en.htm)). Estas dos tecnologías evolucionan

zan prospecciones periódicas de la tecnología del futuro. En la revisión de 2006 [6] 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 [7] se les preguntaba

teínas), 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 interaccionan 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.

.....

### **“La asociación de ingenieros de telecomunicación y electrónicos más extensa del mundo (IEEE) también dedicó a la biotecnología la portada de IEEE Spectrum de septiembre de 2004”**

.....

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.

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.

### **La biotecnología de los ingenieros**

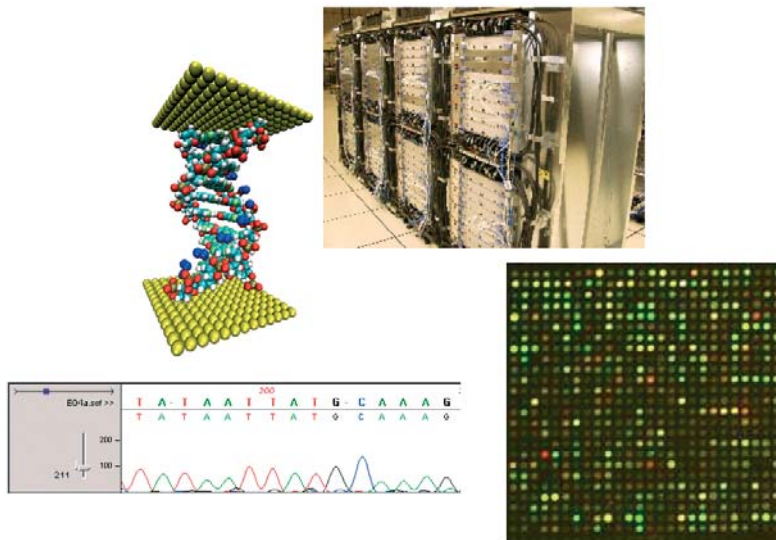
Por último, desde la perspectiva de la ingeniería, los ingenieros vemos en la biotecnología un campo de continua expansión, con problemas técnicos atractivos, desafiantes y en la frontera de nuestro conocimiento (uno de los artículos editoriales de *Proceedings of the IEEE* de mayo de 2006 se titulaba “*Engineering in the age of biology*” [5]). IEEE tiene una sociedad específica de ingeniería en la medicina y la biología (IEEE EMBS). En IEEE Spectrum se reali-

### **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 pro-

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



existentes y nos permitan modificar su funcionamiento. Evidentemente, todos los modelos empleados se fundamentan en diversos paradigmas matemáticos por lo

minarse bajo el nombre genérico de bioinformática.

## Conclusiones

Como se ha mostrado a lo largo de este artículo, la vertiente ingenieril de la biotecnología es uno de los campos intelectualmente más excitantes y atractivos a los que nos podemos enfrentar como ingenieros. La biotecnología no sólo tiene una relevancia científica sino también económica y social y se perfila como una de los factores económicos que pueden revolucionar nuestro siglo XXI. ♦

**“En nuestro país, según el informe de la fundación Genoma España, entre 2000 y 2003, el sector creció a un ritmo del 25% anual”**

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 interaccionen con los ya

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 deno-

## Referencias

- [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] F. T. Ulaby, “Engineering in the age of biology”, *Proc. IEEE*, 2006, 94, 863-864.
- [6] M. Gorbis, D. Pescovitz, “Bursting Tech bubbles before they balloon”, *IEEE Spectrum*, 2006, 43, 50-55.
- [7] S. Cass, “Careers: where the jobs are”, *IEEE Spectrum*, 2007, 44, 51-57.